Узб
Сэк 2
Т-37

А.С.ТЎРАХОНОВ

МЕТАЛЛШУНОСЛИК ВА ТЕРМИК ИШЛАШ



А. С. ТЎРАХОНОВ

Уз Т. Кит
620.2
Т97

МЕТАЛЛШУНОСЛИК ВА ТЕРМИК ИШЛАШ

ЎзССР олий ва махсус ўрта таълим министрлиги олий техника ўқув юртларининг студентлари учун ўқув қўлланма сифатида тавсия этган

БИБЛИОТЕКА
Бух ТИ
№ Ч/135

БИБЛИОТЕКА
ТашПИ
№ 698645

«ЎҚИТУВЧИ» НАШРИЁТИ ● ТОШКЕНТ — 1968

г. БУХАРА
Биб-ка 2/3 v129 тд

Ушбу китоб олий техника ўқув юртларининг студентлари учун ўқув қўлланма бўлиб, унда металларнинг кристалл тузилиши ва кристалланиш процесси, металл ва қотишмаларнинг физик, механик ҳамда технологик хоссалари, металларнинг пластик деформацияси ва рекристалланиши, қотишмаларнинг умумий назарияси, темир—углерод қотишмалари, қотишмаларни термик ишлаш, қотишмаларнинг сиртқи қатламини пухталаш, легирланган пўлатлар ва, ниҳоят, рангдор металлар ва уларнинг қотишмалари тўғрисидаги маълумотлар баён этилган.

Китобдан сиртдан ўқувчи студентлар, машинасозлик саноатининг инженер-техник ходимлари ҳам фойдаланиши мумкин.

Рецензент: Тошкент Политехника институтининг Металлар технологияси кафедраси.

Илмий муҳаррир: техника фанлари кандидати, доцент *В. А. МИРБОБОЕВ.*

3—II—1
160. Ўқит. 1968.

МУНДАРИЖА

Сўз боши 7
Муқаддима 9

I БОБ. МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ ВА КРИСТАЛЛАНИШ ПОЦЕССИ

1-§. Металлар ва уларнинг асосий хоссалари 11
2-§. Металларнинг атом-кристалл тузилиши 12
3-§. Металлар кристалл панжараларининг турлари 14
4-§. Кристалл панжараларнинг базиси ва координацион сони . . 17
5-§. Кристаллографик текисликлар 19
6-§. Қаттиқ жисмлардаги боғланишларнинг турлари 20
7-§. Реал кристалларнинг тузилиши. Дислокациялар тўғрисида умумий тушунчалар 22
8-§. Кристалл жисмларнинг хоссалари 26
9-§. Металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари . . 28
10-§. Фаза ўзгаришларининг термодинамик асослари 30
11-§. Металлар аллотропияси 31
12-§. Металларнинг кристалланиши 33
Бирламчи кристалланиш 33
Иккиламчи кристалланиш 38

II БОБ. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК, МЕХАНИК ҲАМДА ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

А. Металл ва қотишмаларнинг физик хоссалари 40

Б. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари 43

1-§. Металл ва қотишмаларнинг чўзилишдаги мустаҳкамлигини синаш 43
2-§. Металл ва қотишмаларнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигини синаш 47
3-§. Металл ва қотишмаларнинг эгилишдаги мустаҳкамлигини синаш 48
4-§. Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш 49
5-§. Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синаш 49
6-§. Металл ва қотишмаларнинг зарбий қовушоқлигини синаш . 51
7-§. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини синаш 53
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш 53
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Роквелл прессида аниқлаш 55
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Виккерс усулида аниқлаш 57
Металл ва қотишмалар микроқаттиқлигини аниқлаш . . 57
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини зарб таъсирида шар ботириш усули билан аниқлаш 59
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида (Шор усулида) аниқлаш 59
8-§. Металл ва қотишмаларнинг даврий равишда такрорланувчи нагрузкага чидамлилигини синаш 60
9-§. Металл ва қотишмаларнинг ёйилувчанлигини аниқлаш . . . 62

В. Металл ва қотишмаларнинг технологик хоссалари 64

1-§. Металл ва қотишмаларнинг букилувчанлигини синаш 65
2-§. Металл ва қотишмаларнинг такрор букилувчанлигини синаш 65
3-§. Металл ва қотишмаларнинг ботилувчанлигини синаш 66
4-§. Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синаш 66

III БОБ. МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ ВА РЕКРИСТАЛЛАНИШИ

1-§. Металларнинг эластик деформацияланиши 68
2-§. Металларнинг пластик деформацияланиши 69
3-§. Металларнинг емирилиши 71
4-§. Пластик деформациянинг металл структурасига таъсири . . . 72
5-§. Температуранинг деформацияланган металлар структураси ва хоссаларига таъсири (қайтиш ва рекристалланиш ҳодисалари) 73

IV БОБ. ҚОТИШМАЛАР УМУМИЙ НАЗАРИЯСИ

1-§. Қотишмалар тўғрисида умумий тушунча 77
2-§. Фаза, система ва компонентлар тўғрисида тушунча 77
3-§. Фазалар қоидаси 78
4-§. Қотишмаларнинг бирламчи кристалланиши 80
5-§. Механик аралашмалар 80
6-§. Қаттиқ эритмалар 81
7-§. Химиявий бирикмалар ва оралиқ фазалар 84
8-§. Қотишмаларнинг иккиламчи кристалланиши 87
9-§. Икки компонентли (бинар) системалар (қотишмалар) 88
Ҳолат диаграммалари тузиш усуллари 88
Биринчи тип ҳолат диаграммаси 92
Иккинчи тип ҳолат диаграммаси 101
Учинчи тип ҳолат диаграммаси 103
Тўртинчи тип ҳолат диаграммаси 106
Бешинчи тип ҳолат диаграммаси 109
Ўрта совиш шароитида қаттиқ қотишмаларда бўладиган қайта кристалланиш 111
10-§. Бинар системаларнинг ҳолат диаграммалари билан хоссалари орасидаги боғланиш (Курнаков қонуни) 112
11-§. Уч компонентли (учлама) системалар (қотишмалар) 114
Компонентлари учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг ҳолат диаграммаси 118
Қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаси 120

V БОБ. ТЕМИР—УГЛЕРОД ҚОТИШМАЛАРИ

Умумий маълумот 123

1-§. Темир ва унинг хоссалари 125
2-§. Цементит ва унинг хоссалари 127

А. $Fe — Fe_3C$ системасининг ҳолат диаграммаси 128

Б. Углеродли пўлатлар 139

1-§ Углеродли пўлатларнинг классификацияси 140
2-§. Пўлатнинг хоссаларига углероднинг таъсири 141
3-§ Пўлатнинг хоссаларига доимий қўшимчаларнинг таъсири . . 142
4-§ Пўлатларнинг маркаланиши 145
5-§ Халқ хўжалигининг баъзи тармоқларида ишлатиладиган пўлатлар 147
6-§. Автомат пўлатлари 148

В. Чўянлар 150

1-§. Темир — графит диаграммаси ва графитланиш процесси . . . 150
2-§. Графитланиш процессига доимий қўшимчаларнинг ва легирловчи элементларнинг таъсири 153
3-§. Чўянларнинг классификацияси 154
4-§. Кул ранг чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 156
5-§. Жуда пухта чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 157
6-§. Болғаланувчан чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 159
7-§. Совитиш тезлигининг чўян структурасига таъсири 162

VI БОБ. ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕРМИК ИШЛАШ

1-§. Қотишмаларни термик ишлашга оид умумий тушунчалар . . 163
2-§. Қотишмаларни термик ишлаш режими 163
3-§. Қотишмаларни термик ишлаш турлари 164

А. Пўлатни термик ишлаш 166

I. Пўлатни термик ишлаш турлари 166
II. Пўлатни термик ишлаш назарияси асослари . . . 167
1-§. Пўлатни қиздиришда шу пўлатда бўладиган ўзгаришлар. Аустенит донасининг ўсиши 167
2-§. Пўлатни совитишда аустенитда бўладиган ўзгаришлар. Ўта совитилган аустенитнинг ўзгариши 173
3-§. Аустенитнинг мартенситга айланиши 182
4-§. Пўлатни узлуксиз совитишда аустенитнинг ўзгариши. Аустенитнинг термокинетик (анизотермик) ўзгариш диаграммаси 187
5-§. Тобланган пўлатни бўшатишда бўладиган ўзгаришлар . . 188
6-§. Тобланган пўлатни бўшатишнинг пўлат хоссаларига таъсири 191
7-§. Пўлатнинг тоблангандан кейин эскириши (чиниқиши) . . 194
8-§. Пўлатнинг совуқлайин босим билан ишлангандан кейин эскириши 197
III. Пўлатни термик ишлаш технологияси 198
1-§. Пўлатни юмшатиш 198
2-§. Пўлатни нормаллаш 203
3-§. Пўлатни тоблаш 204
4-§. Пўлатга нолдан паст температурада ишлов бериш 212
5-§. Пўлатнинг тобланувчанлиги ва тобланиш чуқурлиги 213
6-§. Тоблашда вужудга келадиган ички кучланишлар 219
7-§. Тоблашда вужудга келадиган нуқсонлар 220
8-§. Пўлатни термомеханик ишлаш 222
9-§. Пўлатни бўшатиш 223

Б. Чўянни термик ишлаш 225

I. Чўянни термик ишлаш назарияси асослари 225
II. Чўянни термик ишлаш технологияси 228
1-§. Кул ранг чўянни термик ишлаш 228
2-§. Оқ чўянни термик ишлаш 229
3-§. Болғаланувчан чўянни термик ишлаш 232
4-§. Оқартирилган чўянни термик ишлаш 232

VII БОБ. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИРТҚИ ҚАТЛАМИНИ ПУХТАЛАШ

А. Пўлатни юза тоблаш 233

Б. Қотишмаларни химиявий-термик ишлаш 241
1-§. Цементитлаш (углеродлаш) 244
2-§. Азотлаш 252
3-§. Цианлаш 256
4-§. Диффузион легирлаш 260
Диффузион алюминийлаш 261
Диффузион хромлаш 263
Диффузион кремнийлаш (силицийлаш) 265
Диффузион олтингугуртлаш (сульфидлаш) 266

В. Металл ва қотишмаларнинг сиртқи қатламини пластик деформация воситасида пухталаш 268

VIII БОБ. ЛЕГИРЛАНГАН ҚОТИШМАЛАР

А. Легирланган пўлатлар 271
1-§. Легирловчи элементларнинг пўлат хоссаларига таъсири . . . 271
Легирловчи элементларнинг темир аллотропик шакл ўзгаришларига таъсири 271
Пўлатда легирловчи элементларнинг қандай ҳолатда бўлиши 272
Легирловчи элементларнинг ферритга таъсири. . . 273
Легирловчи элементларнинг критик нуқталар вазиятига таъсири 274
Легирланган пўлатларда карбид фазалар 274
Пўлатда фазалар ўзгаришига легирловчи элементларнинг таъсири 277

2-§. Легирланган пўлатларнинг классификацияси ва маркаланиши 280
Легирланган пўлатларнинг классификацияси 280
Легирланган пўлатларнинг маркаланиши 282
3-§. Конструкцион пўлатлар 283
Конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари . . . 283
Цементитланадиган конструкцион пўлатлар 284
Яхшиланадиган конструкцион пўлатлар 291
Конструкцион пўлатларни термик ишлаш 297
Пружина ва рессора пўлатлари 298
Шарикли ва роликли подшипник пўлатлари 301
Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатлар . . 303
Легирланган конструкцион пўлатларда бўладиган нуқсонлар 304
4-§. Асбобсозлик пўлатлари 308
Углеродли асбобсозлик пўлатлари 309
Легирланган асбобсозлик пўлатлари 312
Тезкесар пўлатлар 316
Штамп пўлатлари 325
Б. Металлокерамик ва қуйма қаттиқ қотишмалар 333
1-§. Металлокерамик қаттиқ қотишмалар 333
2-§. Қуйма қаттиқ қотишмалар 336
В. Алоҳида хоссаларга эга бўлган пўлат ва қотишмалар 339
1-§. Зангламас (коррозиябардош) пўлатлар 339
Коррозия назарияси асослари 339
Хромли зангламас пўлатлар 342
Хром-никелли зангламас пўлатлар 345
2-§. Оловбардош пўлатлар 352
3-§. Иссиқбардош пўлатлар 354
4-§. Ейилишга чидамли пўлатлар 366
5-§. Электр қаршилиги юқори бўлган қотишмалар 367
6-§. Алоҳида магнит хоссаларига эга бўлган қотишмалар 369
Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмалар 372
Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмалар 374
Магнитланмайдиган қотишмалар 379
7-§. Алоҳида иссиқлик ва эластиклик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 380
Алоҳида иссиқлик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 380
Алоҳида эластиклик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 382
IX БОБ. **РАНГДОР МЕТАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ**
1-§. Алюминий ва унинг қотишмалари 383
Алюминий 383
Алюминий қотишмалари 385
Алюминий қотишмаларини термик ишлаш 397
2-§. Мис ва унинг қотишмалари 402
Мис 402
Мис қотишмалари 406
3-§. Магний ва унинг қотишмалари 417
Магний 417
Магний қотишмалари 417
4-§. Рух ва унинг қотишмалари 419
Рух 419
Рух қотишмалари 421
5-§. Босмахона қотишмалари 423
6-§. Подшипник қотишмалари 424
7-§. Кавшарлар 431
8-§. Жуда осон суюқланувчи қотишмалар 435
9-§. Титан ва унинг қотишмалари 435
Титан 435
Титан қотишмалари 438
Титан қотишмаларини термик ишлаш 442
Титан қотишмаларига легирловчи элементларнинг таъсири 443
Титан қотишмаларининг классификацияси 443
Титан қотишмаларини химиявий-термик ишлаш . . . 446
10-§. Атом энергетикасида ишлатиладиган металл ва қотишмалар 446
11-§. Кукун қотишмалари 453
Адабиёт 456
Алфавитли курсаткич 457

СЎЗ БОШИ

Бу китоб олий техника ўқув юртлари учун СССР Олий ва махсус ўрта таълим министрлиги тасдиқлаган «Металлшунослик ва термик ишлаш курси» программаси асосида ёзилди.

Китобда металлшунослик ва термик ишлашнинг асосий масалалари, чунончи, металларнинг кристалл тузилиши ва кристалланиш процесси, металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари, металларнинг пластик деформацияланиши ва рекристалланиши, қотишмаларнинг умумий назарияси, темир — углерод қотишмалари, қотишмаларни термик, химиявий-термик, термомеханик ишлаш масалалари, легирланган қотишмалар, рангдор металлар ва уларнинг қотишмаларига оид масалалар баён этилди.

Китобнинг тегишли жойларида 1963 йилнинг 1 январидан бошлаб жорий қилинган Халқаро бирликлар системаси (СИ) дан фойдаланилди ва қавслар ичида эски ўлчов системасидаги қийматлари кўрсатилди. Аммо ГОСТ жадвалларидан олинган маълумотларда ўлчов бирликларининг қийматлари ўзича қолдирилди.

Металлшунослик ва термик ишлашдан ўзбек тилида ҳанузгача лаборатория практикуми бўлмаганлиги учун ва унинг амалда зарурлигини эътиборга олиб, китобга металл ва қотишмаларнинг физик, механик ҳамда технологик хоссалари ва бу хоссаларни аниқлаш усуллари тўғрисида қисқача маълумот ҳам киритилди

ва бу маълумот майда шрифт билан берилди.

Китобдан фойдаланишни осонлаштириш мақсадида унинг охирига алфавитли кўрсаткич илова қилинди.

Китобнинг қўл ёзмасини кўриб чиқиб, қимматли маслаҳатлар берган техника фанлари кандидати, доцент В. А. Мирбобоевга, шунингдек, Тошкент Политехника институти Металлар технологияси кафедрасининг қўл ёзма муҳокамасида иштирок этган барча аъзоларига автор самимий ташаккур изҳор этади.

Китоб ҳақидаги фикр ва мулоҳазаларни юборган ўртоқлардан автор ғоят миннатдор бўлар эди, чунки китоб ўзбек тилида биринчи чиқаётгани учун уни камчиликлардан ҳоли деб бўлмайди. Фикр ва мулоҳазаларни қуйидаги адресга юбориш илтимос қилинади:

Тошкент, Навоий кўчаси, 30. «Ўқитувчи» нашриёти.

МУҚАДДИМА

Металларнинг ва улар қотишмаларининг ички тузилиши ҳамда хоссаларини, шунингдек, уларнинг тузилиши билан хоссалари орасидаги боғланишни ўрганувчи фан *металлшунослик* деб аталади.

Металлар ва қотишмаларнинг хоссалари шу металл ва қотишмаларнинг химиявий таркибигагина боғлиқ бўлиб қолмай, балки уларнинг ички тузилишига, бошқача қилиб айтганда, структурасига ҳам боғлиқдир. Металлар ва қотишмаларнинг ички тузилишини ва, демак, хоссаларини ҳам ўзгартириш учун улар совуқлайин ёки қиздирилган ҳолда босим билан, термик, термомеханик ёки химиявий-термик ишланади. Металл ва қотишмаларнинг таркиби, структураси ва хоссалари орасидаги миқдорий ҳамда сифат нисбатлар тўғрисидаги маълумотлар металлшуносликка оид турли тадқиқот усулларидан фойдаланиш йўли билан олинади. Бундай тадқиқот усуллари жумласига металл ва қотишмаларнинг макроструктурасини ва микроструктурасини текшириш, радиографик, рентген ва электронографик анализ, физик-механик ва химиявий хоссаларини текшириш усуллари киради.

Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари нормал температурада ҳам, тайёрланадиган буюмнинг ишлаш шароитига тўғри келадиган температурада, яъни юқори ёки паст температурада ҳам аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссаларини синаш натижасида топилган қийматлар — чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_ь$, оқувчанлик чегараси $\sigma_{оқ}$, нисбий узайиши δ, кўндаланг кесим юзининг нисбий торайиши ψ, қаттиқлиги H, зарбий қовушоқлиги $a_н$ ва бошқалар металл ҳамда қотишмаларнинг асосий характеристикалари бўлиб, улар давлат стандартлари (ГОСТ) ва техника шартлари (ТУ) да келтирилади.

Металл ҳамда қотишмаларнинг физик-механик ва химиявий хоссаларидан ташқари, уларнинг технологик хоссалари ҳам амалда катта аҳамиятга эга. Бундай хоссалар жумласига металл ва қотишмаларнинг деформацияланувчанлиги, қуйилувчанлиги, кесиб ишланувчанлиги, пайвандланувчанлиги, тобланувчанлиги ва бошқа хоссалари киради. Металл ва қотишмаларнинг эксплуатацион (ишлатилиш) хоссалари, яъни пухталик (мустаҳкамлик), ейилишга чидамлилик, оловбардошлик (ўтга чидамлилик), иссиқбардошлик (иссиққа чидамлилик), коррозиябардошлик (коррозияга чидамлилик) каби хоссаларининг ҳам аҳамияти жуда каттадир.

Металлшунослик металл ва қотишмаларни термик ва химиявий-термик ишлашнинг, қуйиш иши, босим билан ишлаш, кесиб ишлаш ва пайвандлашнинг назарий асосидир. Металлшуносликни билмай туриб,

хилма-хил хоссали қотишмалар ҳосил қилиш, бу қотишмалардан тайёрланган деталь, асбоб ва бошқаларнинг хоссаларини зарур томонга ўзгартириш мумкин бўлмайди.

Металлшунослик фанига XIX асрнинг иккинчи ярмидагина асос солинди. Бу фан шунчалик ёш бўлишига қарамай, ҳозирги вақтда кенг тараққий этмоқда. Металлшунослик фанини тараққий эттиришда ватанимиз олимларининг хизмати ниҳоятда буюкдир. Улуғ рус олими М. В. Ломоносов (1711—1765) металларнинг ўзига хос хусусиятларини (ялтироқлик ва пластиклик хоссаларини) жаҳонда биринчи бўлиб тавсифлаб берди ва талаб этилган хоссали қотишмалар ҳосил қилиш йўлини кўрсатди. Металларнинг хоссалари уларнинг атом-кристалл тузилишига қараб ўзгаради, элементларнинг Д. И. Менделеев (1834—1907) кашф этган даврий системаси ана шу қонуният сабабларини изоҳлашга имкон берди. Д. И. Менделеев ўз асарларида эритмалар ва металл қотишмалари ҳосил қилиш масаласига катта эътибор берди. Рус олими Е. С. Федоров (1853—1919) кристалларда ион, атом ва молекулаларнинг жойланиш қонунларини топди. Рус олими П. П. Аносов (1797—1871) пўлат структурасини ўрганиш учун микроскопдан жаҳонда биринчи бўлиб фойдаланди. Металлшуносликнинг илмий асосларини улуғ рус олими Д. К. Чернов (1839—1921) яратди. Д. К. Чернов пўлатнинг хоссалари унинг химиявий таркибигагина эмас, балки тузилишига ҳам боғлиқ эканлигини кўрсатди. У критик нуқталар назариясининг пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ эканлигини аниқлаб, темир — углерод қотишмалари ҳолат диаграммасини тузиш учун асос яратиб берди (V бобга қаранг, 123-бет). Темир — углерод диаграммаси бир қатор олимларнинг: Р. Аустен, Ф. Осмонд, А. Ле-Шателье ва бошқаларнинг ишларига асосланиб, XIX асрнинг охирида тузиб чиқилди. Рус олими Н. С. Курнаков (1860—1941) металларнинг химиявий таркиби, тузилиши ва физикавий хоссалари орасида боғланиш борлигини топди ва жаҳонда биринчи бўлиб, таркиб — хосса диаграммаларини тузди. Унинг қотишмалар назариясига оид ишлари ҳам катта аҳамиятга эгадир. Рус олимларидан А. А. Байков (1870—1946) пўлатгина эмас, балки баъзи рангдор металларнинг қотишмалари ҳам тобланиши мумкинлигини аниқлади. У аустенит (углероднинг γ-темирдаги қаттиқ эритмаси) мавжуд эканлигини ҳам исботлади. А. А. Бочвар (1870—1947) янги антифрикцион (ишқаланишга чидамли) қотишмалар тайёрлади ва уларга нисбатан қўйиладиган талабларни асослаб берди.

Металлшунослик фани мамлакатимизда Улуғ Октябрь социалистик революциясидан кейин айниқса илдам қадамлар билан ривожлантирилди ва ҳозир ҳам ривожлантирилмоқда.

I БОБ

МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ ВА КРИСТАЛЛАНИШ ПРОЦЕССИ

1-§. МЕТАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ АСОСИЙ ХОССАЛАРИ

Металларни бошқа қаттиқ жисмлардан фарқ қилдирадиган энг муҳим физикавий хосса электр ўтказувчанликдир. Аммо электр ўтказувчанликнинг қиймати металларни металлоидлардан (металлмаслардан) фарқ қилдирадиган аломат бўла олмайди, чунки металлар гарчи электр ўтказса ҳам, аммо ҳар хил металларнинг электр ўтказувчанлиги турличадир. Бинобарин, электр ўтказувчанлиги юқори бўлган элемент ёки жисмларни металлар деб таърифлаб бўлмайди, чунки шундай элементлар ҳам борки, уларнинг электр ўтказувчанлиги баъзи металлоидларникидан сал юқорироқдир, холос. Бундан ташқари, электр ўтказувчанлик температурага боғлиқ бўлади. Электр ўтказувчанликнинг температурага боғлиқлиги элементнинг металлик ҳолатини характерловчи энг муҳим аломатлардан биридир. Соф металларнинг электр ўтказувчанлиги температуранинг кўтарилиши билан пасаяди. Демак, температура пасайган сари электр ўтказувчанликнинг ортиши металлар учун хос хусусиятдир.

Температура абсолют нолга яқинлашган сари металларнинг электр ўтказувчанлиги ғоят даражада (тахминан миллион баравар) ортса, металлоидларнинг электр ўтказувчанлиги пасаяди.

Шундай қилиб, *температура пасайган сари электр ўтказувчанлиги ортадиган элементларни металлар деб атамоқ керак.*

Бундан ташқари, абсолют ноль температурада модданинг энергияси минимал бўлади. Бундай ҳолатда металларнинг электрон ўтказувчанлик хоссаси бўлса, металлоидларнинг бундай хоссаси бўлмайди, аммо температура кўтарилса, металлоидларда ҳам электрон ўтказувчанлик пайдо бўлади. Бинобарин, металларга берилган юқоридаги таърифга *электрон ўтказувчанликни* ҳам қўшиш керак. Машҳур рус олими М. В. Ломоносов бундай деган эди: «Металлар болғалаш мумкин бўлган ялтироқ жисмлардир». Шундай қилиб, металлар таърифига *болғаланувчанлик* ва *ялтироқлик* хоссаларини, шунингдек, *иссиқ ўтказувчанлик* хоссасини ҳам қўшиш керак экан.

Энди, металларга мана бундай таъриф берса бўлади: *температура пасайган сари электр ўтказувчанлиги ортадиган, электрон ўтказувчанликка эга бўлган, болғаланувчан, иссиқ ўтказувчан* ва *ялтироқ моддалар металлар деб аталади.*

Металлар Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг (жадвалининг) чап қисмида жойлашган (1-расм).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, металлар билан металлоидлар орасига кескин чегара қўйиб бўлмайди, чунки баъзи металларда, масалан,

кумушда газ ҳолатида металлик аломатлари бўлмайди, баъзи металлоидларда, масалан фосфорда юқори босим остида металлик хоссалар пайдо бўлади. Демак, модданинг металлик ёки металлоидлик аломатлари деган иборалар ўрнига *металлик ҳолатининг ўзига хос хусусиятлари* деган иборалар ишлатиш тўғрироқ бўлади.

Жуда кўпчилик металлар атомларининг сиртқи (валент) электронлари битта ёки иккита бўлади. Металлар маълум шароитда ана шу электронларининг бирини ёки иккаласини ҳам металлоидларга беради-да, мусбат зарядли ионларга айланади, чунки бу электронлар ядро билан пухта боғланган эмас.

Металлар ялтироқ ва пластик бўлади. Ялтироқлик ва, кўпинча, пластиклик хоссалари соф металларгагина хос бўлиб қолмай, балки уларнинг қотишмаларига ҳам хосдир. Демак, металларнинг қотишмаларини ҳам металлар деб атаса бўлади.

Юқорида баён этилганлардан соф металл билан қотишма орасида бир қадар фарқ бор, деган хулоса чиқариш мумкин, аммо металларга берилган таъриф уларнинг ички тузилишидаги ўзига хос хусусиятларига асосланади, ички тузилиш хусусиятлари эса соф металларда ҳам, қотишмаларда ҳам бир хил бўлади. Металл ва қотишмалар ички тузилишининг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, уларнинг атомларидаги сиртқи электронлар ядрога металлоидларнинг атомларидаги электронларга қараганда заифроқ тортилиб туради. Металларнинг физикавий ва химиявий хоссаларидаги ўзига хос хусусият ана шундан келиб чиқади.

Металларнинг электр токини яхши ўтказишига сабаб шуки, жуда кичик потенциаллар айирмаси ҳосил қилинди дегунча улар атомларидаги электронлар ҳаракатга кела бошлайди, яъни мусбат қутб томон боради, натижада электр токи вужудга келади. Металлоидларда бундай хосса бўлмаганлигидан, улар электр токини ўтказмайди.

Металл ва қотишмалар кристалл жисмлар бўлиб, уларда мусбат ионлар кристалл панжаралар ҳосил қилади, шиша, мум, ёғоч, чинни ва шу каби аморф жисмларда эса атомлар тартибсиз жойлашган бўлиб, кристалл панжара ҳосил қилмайди. Металлар ва улар қотишмаларининг кристалл панжарасидаги мусбат ионлар панжаранинг муайян жойларида туради, уларни эса эркин электронлар (электронлар булути) қуршаб олган бўлади. Ионларни қуршаб олган электронлар шу ионлар билан заиф боғланган бўлиб, осон ҳаракатланади. Металларнинг баъзи хоссалари, масалан, электр ўтказувчанлиги, иссиқ ўтказувчанлиги, пластиклиги ва бошқа хоссалари электронлар булутининг ионлар билан заиф боғланганлиги ва осон ҳаракатланишидан келиб чиқади.

2-§. МЕТАЛЛАРНИНГ АТОМ-КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ

Металларнинг кристалл панжараларида мусбат ионлар муайян тартибда жойлашганлиги юқорида айтиб ўтилди. Кристалл панжараларда атомларнинг (ионларнинг) муайян тартибда жойлашганлиги тўғрисидаги фикрни XIX асрда машҳур рус олими Е. С. Федоров майдонга ташлаган эди. Рентген нурлари кашф этилиб, бу нурлардан кристалларнинг тузилишини ўрганишда фойдаланилгандан кейин Е. С. Федоровнинг фикри батамом тасдиқланди.

Энди металларнинг қандай агрегат ҳолатларда бўла олишини кўриб чиқайлик.

Металлар, бошқа ҳар қандай модда каби, шароитга қараб, уч хил агрегат ҳолатда: қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатларда бўла олади. Соф ме-

талл бир агрегат ҳолатдан иккинчи агрегат ҳолатга маълум температурадагина ўтади ва бунда металлнинг хоссалари ўзгаради.

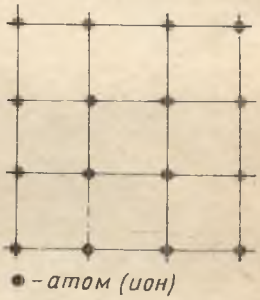
Металлнинг агрегат ҳолатлари орасидаги фарқ нимада? Бу саволга жавоб қайтарайлик.

Масалан, қаттиқ ҳолатда металл заррачалари муайян тартибда жойлашган бўлади, бу заррачаларнинг бир-бирини тортиш кучи билан бир-бирини итариш кучи ўзаро мувозанатда туради, натижада қаттиқ жисм ўз шаклини сақлайди.

Газ ҳолатидаги металл заррачалари тартибсиз ҳаракатланади, бир-бирини итаради, натижада металл гази имкони борича катта ҳажмни олишга интилади.

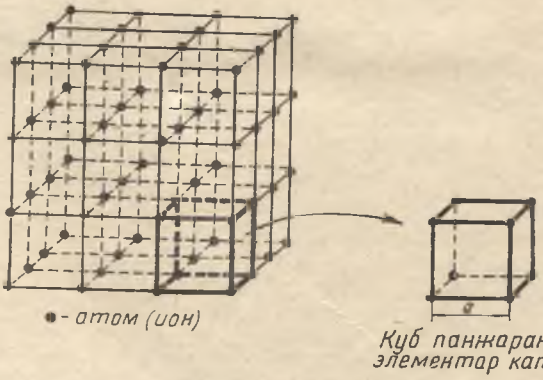
Суюқ ҳолатдаги металл заррачаларининг озроқ қисмигина батартиб жойлашган бўлиб, бу жойлашув иссиқлик таъсирида гоҳ бузилиб, гоҳ тикланиб туради. Демак, суюқ ҳолатдаги металл қаттиқ ҳолатдаги металл билан газ ҳолатидаги металл орасида оралиқ мавқени эгаллайди. Металлнинг, умуман модданинг, агрегат ҳолати орасидаги фарқ ана шу.

Шуни ҳам айтиш керакки, металлар маълум шароитда (атмосфера босимидан паст босимларда) қаттиқ ҳолатдан бевосита газ ҳолатига ўтиши ҳам мумкин. Қаттиқ ҳолатда барча металлар ва уларнинг қотишмалари кристалл жисмлардир, чунки уларнинг заррачалари фазода муайян тартибда жойлашган бўлади.



2- расм. Кристаллографик текисликда атомларнинг (ионларнинг) жойлашуви.

2- расмда атомларнинг кристаллографик текисликлардан* бирида қандай жойлашганлиги кўрсатилган. Атомларнинг марказидан ўтказилган фаразий чизиқлар панжара ҳосил қилади. Бир-бирига параллел жойлашган бир қанча кристаллографик текислик фазовий кристалл панжара ҳосил қилади, кристалл панжаранинг тугунларида эса атомлар (ионлар) туради (3- расм). Модданинг атом-кристалл тузилиши тўғрисида тасаввур ҳосил қилиш учун панжаранинг битта элементар катакчасини кўрсатиш кифоя.



3- расм. Фазовий кристалл панжара ва унинг тугунларида атомларнинг (ионларнинг) жойлашуви.

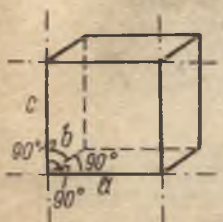
* Кристаллографик текислик тўғрисида шу бобнинг 5- параграфида батафсил сўзланади.

Элементар кристалл катакчадаги қўшни икки атом марказлари оралиги (a) ангстрем (Å) ҳисобида ёки килоикс бирликлари ($кX$) да ўлчанади. Энг оддий кристалл панжара куб панжарадир (3-расм).

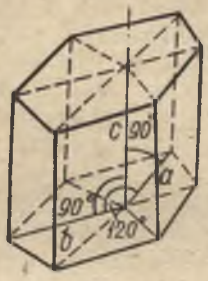
Энди, металларда қанақа кристалл панжаралар бўлишини кўриб чиқишга ўтамиз.

3-§. МЕТАЛЛАР КРИСТАЛЛ ПАНЖАРАЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ

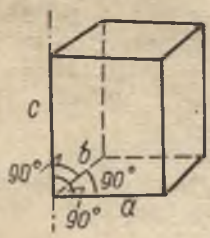
Кристалл панжаранинг энг оддий тури куб панжара эканлиги юқорида айтиб ўтилди. Бундай оддий куб панжарада атомлар (ионлар) етарли даражада зич жойлашган эмас, аммо металл атомлари (ионлари) бир-



Куб системанинг элементар катакчаси
$a=b=c$



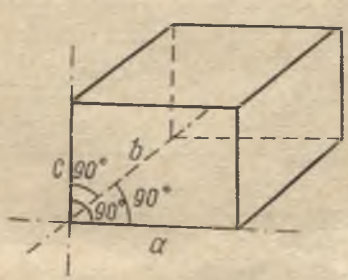
Гексагонал системанинг элементар катакчаси;
$a=b\neq c$



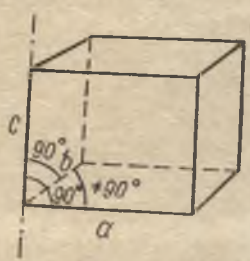
Тетрагонал системанинг элементар катакчаси;
$a=b\neq c$



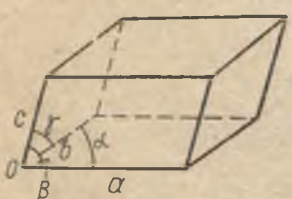
Ромбаэдрик системанинг элементар катакчаси;
$a=b=c;\ \alpha=\beta=\gamma<90°$



Ромбик системанинг элементар катакчаси;
$a\neq b\neq c$



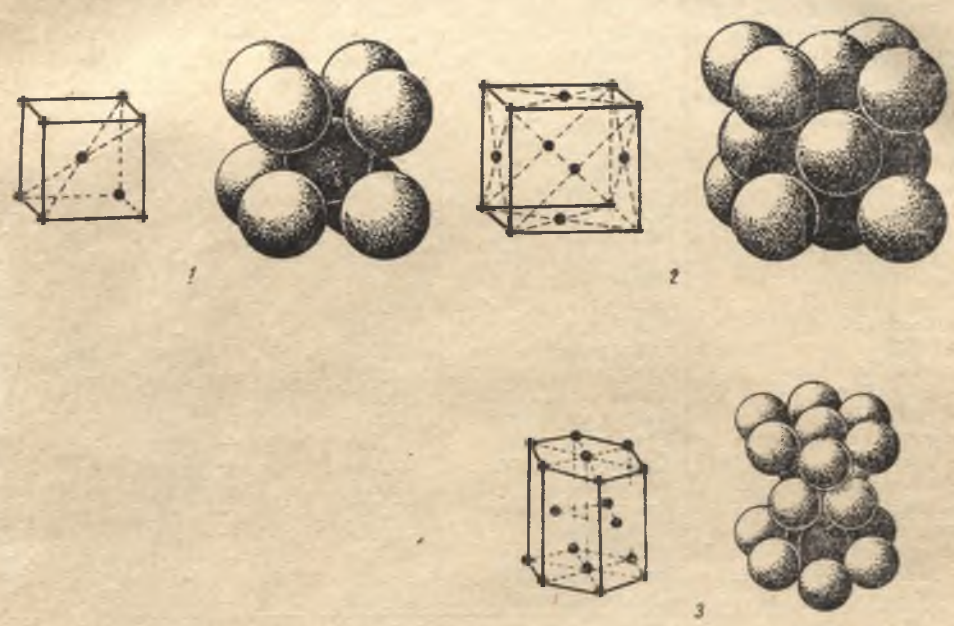
Моноклиник системанинг элементар катакчаси;
$a\neq b\neq c$



Триклиник системанинг элементар катакчаси
$a\neq b\neq c;\ \alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90°$

4-расм. Кристалл панжараларнинг элементар катакчалари (кристалларнинг симметрия ўқлари штрих-пунктир чизиқ билан, симметрия маркази эса O ҳарфи билан кўрсатилган.

бирига имкони борича яқинлашишга интилади, бунинг натижасида бошқа тур панжаралар ҳосил бўлади. Ҳажми марказлашган куб, ёқлари марказлашган куб ва атомлари (ионлари) зич жойлашган (компакт) гексагонал панжаралар ана шундай панжаралар жумласидандир.



5- расм. Куб ва гексагонал системадаги кристалл панжараларнинг элементар катакчалари:

1 — ҳажми марказлашган куб катакча, *2* — ёқлари марказлашган куб катакча, *3* — атомлари (ионлари) зич жойлашган гексагонал катакча

Умуман олганда, кристалл панжараларнинг етти хил системаси мавжуд, булар куб система, гексагонал система, тетрагонал система, ромбаэдрик (тригонал) система, ромбик система, моноклиник система ва триклиник системадир. Бу тур панжараларнинг элементар катакчалари 4- расмда тасвирланган.

4- расмдан кўриниб турибдики, куб системадаги кристалларда тўртта симметрия ўқи, гексагонал системадаги кристалларда — битта, тетрагонал системадаги кристалларда — битта, ромбаэдрик системадаги кристалларда — битта, ромбик системадаги кристалларда — учта, моноклиник системадаги кристалларда — битта симметрия ўқи, триклиник системадаги кристалларда эса битта симметрия маркази бўлади.

Кристалл панжаранинг ўлчамлари панжара *параметрлари,* бошқача қилиб айтганда, *даврлари* билан ифодаланади. Куб панжара ўз параметрларининг бири билан аниқланади, чунки унинг учала параметри ҳам бир-бирига тенг (4- расмга қаранг).

Металларнинг жуда кўпчилиги куб ва гексагонал системада кристалланади (5- расм).

Баъзи металлар кристалл панжараларининг турлари ва уларнинг параметрлари 1- жадвалда келтирилган.

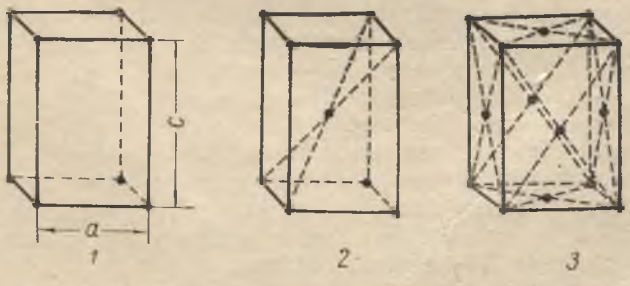
1-жадвал

Баъзи металлар кристалл панжараларининг турлари ва уларнинг параметрлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг тури	Панжаранинг параметрлари, Å ҳисобида		
		a	*b*	*c*
Алюминий (Al)	Ёқл. марк. куб	4,041	—	—
Ванадий (V)	Ҳажми марк. куб	3,034	—	—
α-Вольфрам (W)	Ҳажми марк. куб	3,158	—	—
Иридий (Ir)	Ёқл. марк. куб	3,832	—	—
α-Кобальт (Co)	Гексагонал	2,5	—	4,07
β-Кобальт (Co)	Ёқл. марк. куб	3,54	—	—
Кумуш (Ag)	Ёқл. марк. куб	4,078	—	—
Магний (Mg)	Гексагонал	3,203	—	5,2
Мис (Cu)	Ёқл. марк. куб	3,607	—	—
Молибден (Mo)	Ҳажми марк. куб	3,14	—	—
α-Никель (Ni)	Гексагонал	2,49	—	4,08
β-Никель (Ni)	Ёқл. марк. куб	3,517	—	—
Ниобий (Nb)	Ҳажми марк. куб	3,294	—	—
Олтин (Au)	Ёқл. марк. куб	4,07	—	—
Платина (Pt)	Ёқл. марк. куб	3,915	—	—
Рух (Zn)	Гексагонал	2,659	—	5,607
Тантал (Ta)	Ҳажми марк. куб	3,296	—	—
α-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,86	—	—
β-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,90	—	—
γ-Темир (Fe)	Ёқл. марк. куб	3,56	—	—
δ-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,93	—	—
α-Титан (Ti)	Гексагонал	2,95	—	4,72
β-Титан (Ti)	Ҳажми марк. куб	3,32	—	—
Хром (Cr)	Ҳажми марк. куб	2,871	—	—
α-Цирконий (Zr)	Гексагонал	3,22	—	5,12
β-Цирконий (Zr)	Ҳажми марк. куб	3,61	—	—
Қўрғошин (Pb)	Ёқл. марк. куб	4,939	—	—

Панжаранинг параметри ниҳоятда муҳим аҳамиятга эга. Илмий текширишнинг ҳозирги усуллари — рентген нурларидан фойдаланиш усуллари кристалл панжараларнинг параметрларини жуда аниқ ўлчашга имкон беради.

Ёқлари марказлашган куб панжарада ҳам, атомлари (ионлари) зич жойлашган гексагонал панжарада ҳам атомлар бошқа панжаралардагига қараганда зичдир. Масалан, бу иккала панжаранинг ҳар бирида атомлар ҳажми панжара ҳажмининг 74 процентини ташкил этади, ҳолбуки, ҳажми марказлашган куб панжарада атомлар ҳажми бутун панжара ҳажмининг 68 процентига тенгдир.



6- расм. Тетрагонал панжара:

1 — оддий; *2* — ҳажми марказлашган; *3* — ёқлари марказлашган.

Жуда озчилик металлар, масалан, қалай, марганец ва бошқалар тетрагонал системада ҳам кристалланади. Бундай кристалл панжара 6-расмда тасвирланган. Тетрагонал панжара катта параметри (*c*)нинг кичик параметри (*a*) га нисбати *тетрагоналлик даражаси* дейилади. Тетрагоналлик даражаси $\left(\frac{a}{c}\right)$ бирга тенг бўлганда тетрагонал панжара куб панжарага айланади. Демак, тетрагонал панжара куб панжарадан *c* параметрининг *a* параметридан узунроқ бўлиши билан фарқ қилади. Куб панжара каби, тетрагонал панжара ҳам оддий, ҳажми марказлашган ва ёқлари марказлашган бўлиши мумкин.

Қайси металлнинг қандай системада кристалланиши 1-расмдаги жадвалда шартли белгилар билан кўрсатилган.

4-§. КРИСТАЛЛ ПАНЖАРАЛАРНИНГ БАЗИСИ ВА КООРДИНАЦИОН СОНИ

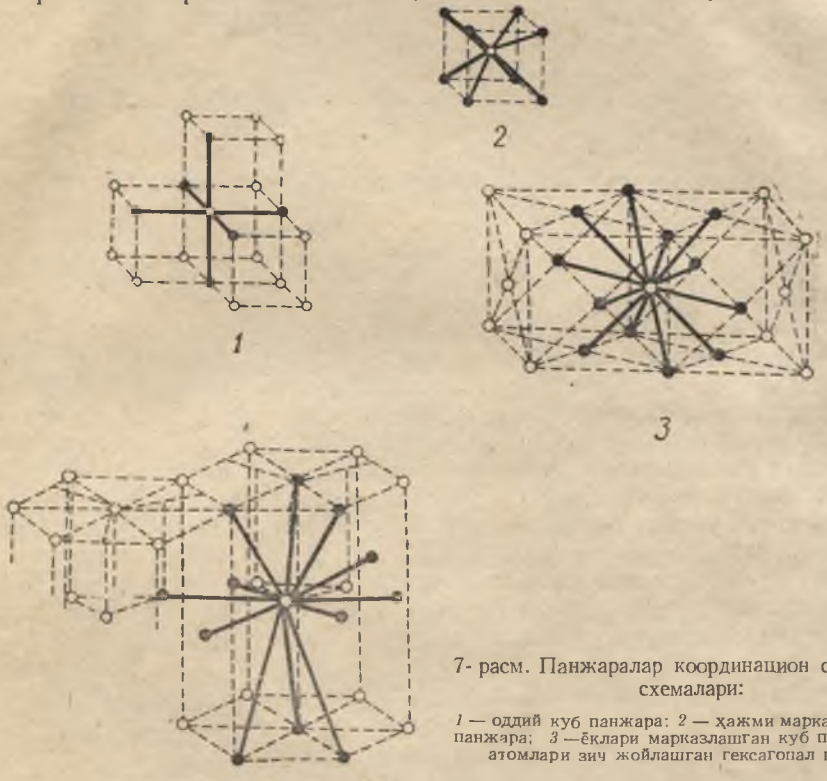
Кристалл панжаранинг асосий характеристикалари шу *панжаранинг базиси* билан *координацион сонидир*.

Панжаранинг базиси. Кристалл панжарадаги битта элементар катакчанинг ўзига тегишли атомлар сони шу кристалл панжаранинг *базиси* деб аталади. Кристаллнинг бутун ҳажмида элементар катакчалар такрорланади, шуни назарга олиб, ҳар қайси катакчага тўғри келадиган атомлар сонини аниқлаш мумкин. Ҳар қайси катакчага тўғри келадиган атомлар сони панжаранинг турига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳажми марказлашган куб панжарада элементар катакчанинг тугунларидаги саккиз атомдан ҳар бири бошқа саккизта элементар катакча таркибига ҳам киради, фақат битта атом, яъни катакчанинг марказида турган атомгина шу катакчанинг ўзига тааллуқлидир. Демак, ҳар қайси элементар катакчага иккита $(8:8+1=2)$ атом тўғри келади. Ёқлари марказлашган куб панжарада ҳам, элементар катакчанинг тугунларидаги саккизта атом бошқа саккизта элементар катакча таркибига киради, ёқларининг марказларида турган олтита атомнинг ҳар бири эса бир вақтнинг ўзида иккита элементар катакчага тааллуқлидир. Бинобарин, ёқлари марказлашган куб панжарада ҳар қайси элементар катакчага тўртта $(8:8+6:2=4)$ атом тўғри келади. Шундай қилиб, ҳажми марказлашган куб панжаранинг базиси 2 га, ёқлари марказлашган куб панжаранинг базиси эса 4 га тенг.

Панжаранинг координацион сони. Кристалл панжарада ҳар қайси атомга энг яқин ва бир хил оралиқда турган атомлар сони шу панжаранинг *координацион сони* деб аталади. Оддий куб панжарада панжара ичида жойлашган ҳар бир атом ўзига энг яқин (панжара параметри *a* га тенг оралиқда) турган олтита атом билан (7-расм, *1*), ҳажми марказлашган куб панжарада ҳар бир атом (куб марказидаги атом) ўзига бир хил ва энг яқин оралиқда турган саккизта атом билан (7-расм, *2*), ёқлари марказлашган куб панжарада ҳар бир атом ўзига энг яқин ва бир хил оралиқда турган ўн икки атом билан (7-расм, *3*), атомлари зич жойлашган гексагонал панжарада ҳам ҳар бир атом ўзига энг яқин ва бир хил оралиқда турган ўн икки атом билан қуршалган (7-расм, *4*) ва ҳоказо. Бинобарин, оддий куб панжаранинг координацион сони 6 га, ҳажми марказлашган куб панжаранинг координацион сони эса 8 га тенг, ёқлари марказлашган куб панжаранинг координацион сони 12 га, атомлари зич жойлашган гексагонал панжаранинг координацион сони ҳам 12 га тенг ва ҳоказо.

Агар панжаранинг турини шу панжара номининг биринчи ҳарфи билан, координацион сонини тегишли рақам билан белгиласак, оддий куб панжарани К6 тарзида, ҳажмн марказлашган куб панжарани К8 тарзида, атомлари зич жойлашган гексагонал панжарани эса Г12 тарзида ифодалаш мумкин ва ҳоказо.

Куб ва гексагонал системаларда кристалланадиган металлар панжараларининг координацион сонлари 2- жадвалда келтирилган.



7- расм. Панжаралар координацион сонларининг схемалари:

1 — оддий куб панжара; *2* — ҳажмн марказлашган куб панжара; *3* —ёқлари марказлашган куб панжара; *4* — атомлари зич жойлашган гексагонал панжара.

2- жадвал

Баъзи металлар панжараларининг координацион сонлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг координацион сони	Панжаранинг белгиси	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг координацион сони	Панжаранинг белгиси
Алюминий (Al)	12	К12	Осмий (Os)	12	Г12
Ванадий (V)	8	К8	Платина (Pt)	12	К12
Вольфрам (W)	8	К8	Рений (Re)	12	Г12
Иридий (Ir))	12	К12	Рубидий (Rb)	12	Г12
α-Кобальт (Co)	12	Г12	Рух (Zn)	6	Г6
β-Кобальт (Co)	12	К12	Тантал (Ta)	8	К8
Кумуш (Ag)	12	К12	α-Темир (Fe)	8	К8
Магний (Mg)	12	Г12	γ-Темир (Fe)	12	К12
Мис (Cu)	12	К12	α-Титан (Ti)	12	Г12
Молибден (Mo)	8	К8	β-Титан (Ti)	8	К8
α-Никель (Ni)	12	Г12	Хром (Cr)	8	К8
β-Никель (Ni)	12	К12	α-Цирконий (Zr)	12	Г12
Ниобий (Nb)	8	К8	β-Цирконий (Zr)	8	К8
Олтин (Au)	12	К12	Қўрғошин (Pb)	12	К12

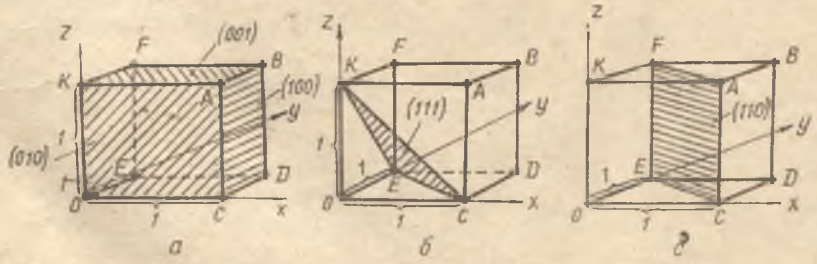
Металларнинг кўпгина хоссалари, шу жумладан зичлиги ҳам улар панжараларининг координацион сонига ва базисига боғлиқ. Панжаранинг координацион сони ва базиси қанчалик катта бўлса, металл шунчалик зич бўлади.

5- §. КРИСТАЛЛОГРАФИК ТЕКИСЛИКЛАР

Металларда кристалл панжаранинг атомлар зичлиги энг кўп бўлган текислиги *кристаллографик текислик* ёки *атомлар текислиги* деб аталади. Атомларнинг бундай текисликлар бўйлаб сирпанишига кўрсатиладиган қаршилик энг кичикдир. Кристалл панжаранинг шаклига қараб, унда кристаллографик текислик битта ёки бир нечта бўлиши мумкин.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, кристаллографик текисликларнинг танлаб олинган координата ўқларига нисбатан йўналиши махсус индекслар билан белгиланади. Бу индекслар кристаллографик текисликнинг ҳақиқий вазиятини эмас, балки унинг координата ўқларига нисбатан қандай йўналганлигинигина кўрсатади. Бинобарин, индекслар бирор муайян текисликни ифодаламай, балки бир хил йўналишдаги параллел бир гуруҳ текисликларни ифодалайди. Индекслар ўлчамли сонлар эмас, балки мавҳум сонлар бўлади. Кристаллографик текисликнинг индексларини топиш учун шу текислик координата ўқларини кесиб ўтган нуқталардан то координаталар бошигача бўлган масофалар мавҳум бирликларда ўлчанади (ҳар қайси ўқдаги бирлик сифатида кристалл панжара элементар катакчасининг шу ўққа тўғри келган қирраси узунлиги қабул қилинади). Ўлчаш натижасида чиққан сонларнинг тескари қийматлари олиниб, сўнгра уларнинг нисбати учта оддий бутун сонлар нисбатига келтирилади (одатда, нисбат белгиси қўйилмайди).

Мисол келтирамиз. Куб системасидаги панжаранинг элементар катакчасини олайлик (8-расм). Бу катакчада *ABDC* кристаллографик текислик *Ox* ўқини кесиб ўтади. *Oy* ва *Oz* ўқларини эса чексизликда кесади. *ABDC* текислигининг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар *OC*: : ∞ : ∞ (1 : ∞ : ∞). Худди шунингдек, *FBDE* текисликнинг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар ∞ : *OE* : ∞(∞ : 1 : ∞); *FBAK* текисликнинг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар ∞ : ∞: : *OK* (∞ ; ∞ : 1). Бу кесмаларнинг қийматига тескари қийматлар тегишлича 1 : 0 : 0; 0 : 1 : 0; 0 : 0 : 1 бўлади. Агар бу индекслар қавслар ичига олиниб, нисбат белгилари тушириб қолдирилса, (100); (010); (001) келиб чиқади. Демак, *ABDC* текисликнинг йўналиши (100) индекс билан, *FBDE* текисликнинг йўналиши (010) индекс билан, *FBAK* текисликнинг йўналиши (001) индекс билан (8- расм, *а*); *KCE* текисликнинг йўналиши (111) индекс билан (8- расм, *б*): *FACE* текисликнинг йўналиши эса (110) индекс билан

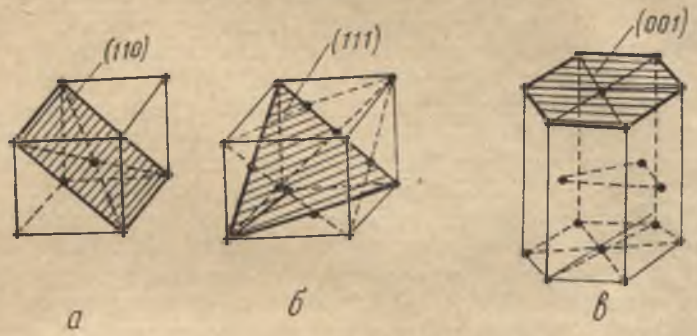


8- расм. Куб системадаги панжаранинг элементар катакчасидаги кристаллографик текисликлар.

белгиланади. Куб панжарада индекси (100) бўлган текислик *куб текислиги* деб, индекси (111) бўлган текислик *октаэдр текислиги* деб, индекси (110) бўлган текислик эса *ромбик додэкаэдр текислиги* деб аталади.

Ҳар хил шаклли кристалл панжарадаги кристаллографик текисликлар 9- расмда тасвирланган.

9- расмдан яққол кўриниб турибдики, ҳажми марказлашган куб панжарада кристаллографик текисликлар сони олтита, ёқлари марказлашган куб панжарада — тўртта, гексагонал панжарада эса биттадир.



9- расм. Ҳар хил шаклли кристалл панжаралардаги кристаллографик текисликлар:

а — ҳажми марказлашган куб панжара; *б* — ёқлари марказлашган панжара; *в* — гексагонал панжара.

Металлнинг пластиклиги шу металл кристалл панжарасидаги кристаллографик текисликлар сонига тўғри пропорционалдир. Бинобарин, кристалл панжараси гексагонал бўлган металларнинг пластиклиги бошқа тур панжарали металларникидан паст бўлиб, уларни босим билан ишлаш анча қийин.

6- §. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРДАГИ БОҒЛАНИШЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Қаттиқ жисмлардаги боғланишлар тўртта асосий турга бўлинади. Булар ион (гетерополяр*), атом (гомеополяр** ёки ковалент), молекуляр боғланишлар ва металл боғланишлардир. Ана шу боғланишларни кўриб чиқайлик.

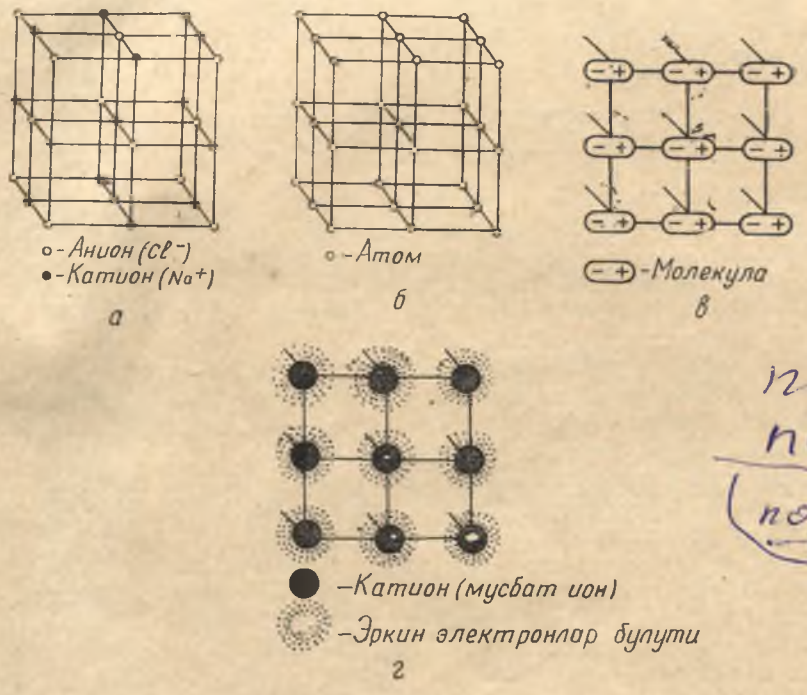
Ион (гетерополяр) боғланишлар. Бундай боғланишли қаттиқ жисмлар кристалл панжараларининг тугунларида ионлар туради (10- расм, *а*). Ион боғланиш электроманфийлик жиҳатидан бир-биридан катта фарқ қилган икки элемент орасида вужудга келади. Бинобарин, ион боғланиш биринчи группа металлари, яъни ишқорий металлар билан еттинчи группа элементлари (галогенлар) орасида вужудга келади.

Ион боғланиш вужудга келишини натрий хлорид (NaCl) мисолида кўриб чиқайлик. Хлор атоми натрий атомига қараганда анчагина электроманфий бўлганлигидан ўзининг сиртқи қаватидаги бир электронини хлор атомига беради, натижада натрий атоми мусбат зарядли натрий иони Na^+ га (катионга), хлор атоми эса бир электрон бириктириб олиб, манфий зарядли хлор иони Cl^- га (анионга) айланади. Қарама-қарши зарядли бу ионлар кулон кучи воситасида ўзаро тортилиб, бирикма

* Кўп қутбли.
** Бир қутбли.

(NaCl) ҳосил қилади. Бирикма (молекула) таркибидаги ҳар қайси ион ўз атрофида электр майдони вужудга келтиради. Демак, ион боғланишли молекулаларда бир неча (камида иккита) электр майдони бўлади. Ион боғланишнинг гетерополяр боғланиш деб ҳам аталишига сабаб ана шу.

Ион боғланишли бирикмаларда таъсир этувчи кулон кучлари заррачаларнинг (ионларнинг) бир-бирига пухтароқ тортилишига сабаб бўлади, шунинг учун бундай бирикмаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги юқорироқ бўлади.



10- расм. Қаттиқ жисмлардаги асосий боғланишлар:

а — ион боғланиш; *б* — атом боғланиш; *в* — молекуляр боғланиш; *г* — металл боғланиш.

Атом (гомеополяр, ковалент) боғланишлар. Атом боғланишли қаттиқ жисмлар кристалл панжараларининг тугунларида ўзаро ковалент боғланган атомлар туради (10- расм, *б*). Ковалент боғланган атомлар бир-бирини жуда пухта тортиб турганлиги учун бундай бирикмаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги ниҳоятда юқори бўлади.

Электроманфийлиги бир-бирига тенг бўлган элементларгина ковалент боғланади. Ковалент боғланиш назариясига кўра, бундай боғланиш ҳосил бўлишида электрон бир атомдан иккинчи атомга ўтмайди (чунки бу атомларнинг электроманфийлиги бир хил), балки ўзаро таъсир қилувчи иккала атомга тегишли бўлиб қолади.

Атом боғланишли қаттиқ моддаларга мисол қилиб, олмосни кўрсатиш мумкин. Олмосда углероднинг ҳар бир атоми углероднинг бошқа тўртта атоми билан боғланган, бу тўртала боғланиш бир хил бўлганлигидан олмос кристалини битта гигант молекула деб қараш лозим.

Молекуляр боғланиш. Бундай боғланишли қаттиқ моддалар кристалл панжараларининг тугунларида молекулалар туради (10-расм, *в*). Бу молекулалар бир-бирига молекулалараро кучлар воситасида тортилиб туради. Молекулалараро кучлар молекулаларни бир-бирига нисбатан заиф тортиб турганлигидан молекуляр боғланишли қаттиқ моддаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги паст бўлади.

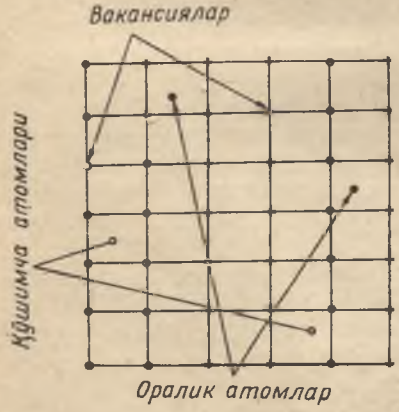
Металл боғланишлар. Бундай боғланишли қаттиқ жисмлар (металлар) кристалл панжараларининг тугунларида мусбат зарядли ионлар туради, ионларни эса эркин электронлар, яъни электронлар булути қуршаб олган бўлади (10-расм, *г*). Электронлар булути айрим ион ёки атомларнинг қобиқлари билан боғланган бўлмай, балки кристаллнинг бутун ҳаммасига оиддир. Демак, металл боғланишлар мусбат зарядли ионлар билан эркин электронларнинг ўзаро тортишувидан иборатдир.

7-§. РЕАЛ КРИСТАЛЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ. ДИСЛОКАЦИЯЛАР ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Реал кристалларнинг тузилиши. Металларнинг реал кристаллари тузилишида, идеал кристалларникидагининг аксича, бир қатор нуқсонлар (номукаммалликлар) бўлади. Металларнинг жуда муҳим кўпгина механик ва физикавий хоссалари, металларнинг структурасида содир бўладиган кўпгина процесслар шу металлар кристалларининг тузилишидаги нуқсонлардан келиб чиқади.

Металларнинг кристаллари тузилишидаги нуқсонлар, одатда, уч группага бўлинади. Булардан бири нуқтавий нуқсонлар бўлиб, иккинчиси чизиқли нуқсонлар ва учинчиси сирт (текислик) нуқсонлардир. Ана шу нуқсонларни бирма-бир кўриб чиқайлик.

1. Нуқтавий нуқсонлар. Ўлчамлари уч йўналишнинг ҳаммасида ҳам кичик бўлган нуқсонлар *нуқтавий нуқсонлар* дейилади. Бундай нуқсонлар жумласига вакансиялар, яъни кристалл панжаранинг бўш жойлари, оралиқ атомлар — тугунлар оралиғига силжиган атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари киради. Қўшимчаларнинг атомлари металл кристалл панжараси тугунларидаги атомлар ўрнини олиши ҳам, панжара тугунлари оралиғига кириб бориши ҳам мумкин. Учала ҳолда ҳам асосий металлнинг кристалл панжараси ўзининг мунтазам геометрик тузилишини ўзгартиради, яъни панжарада нуқсонлар ҳосил бўлади.



11-расм. Кристалл панжаранинг нуқтавий нуқсонлари

Вакансиялар ёки оралиқ атомлар температура кўтарилиб, кристалл панжара тугунларидаги атомларнинг тебраниш амплитудаси кучайиши натижасида ҳосил бўлади.

Вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимча атомлари схема тарзида 11-расмда кўрсатилган.

Реал кристалл панжараларда вакансиялар сони жуда кам бўлади. Қўшимчаларнинг ниҳоятда оз, ҳатто процентнинг мингдан бир улушлари қадар миқдори ҳам кристалл панжарага жуда кўп атомлар киритиб, унда кўпдан-кўп нуқсонлар ва ҳар хил жинслиликлар ҳосил қилади.

Кристалл панжарадаги атомларнинг иссиқликдан ҳаракатининг тасодифанлиги туфайли, айрим жойларда вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари тўпланиб қолади, натижада иссиқликдан тебранишлар энергияси ва атомларнинг жойланиш зичлиги ўртача статистик қийматидан четга чиқади. Ана шу четга чиқишлар *флуктуация (флюктуация)* деб аталади. Атомларнинг иссиқликдан ҳаракати натижасида вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари кристалл панжарада силжиши мумкин. Атомларнинг кристалл панжарада бир мувозанат ҳолатдан бошқа бир мувозанат ҳолатга ўтиш процесси *ўздиффузия* деб, ўздиффузия учун зарур бўладиган ортиқча энг кичик энергия эса *активланиш энергияси* деб аталади ва *кал/г-ат* ёки *кал/г-моль* билан ўлчанади. Активланиш энергияси айни атомнинг ортиқча эркин энергияга эга бўлган вазиятидан чиқишида энергетик ғовни енгиб, эркин энергияси камроқ вазиятга ўтиши учун зарур бўлган ишдир.

Температура кўтарилиши билан вакансиялар сони ўсиб боради, аммо металлнинг суюқланиш температурасигача вакансиялар сони 1—2% дан ошмайди.

2. Чизиқли нуқсонлар. Ўлчамлари фақат икки йўналишдагина кичик бўладиган нуқсонлар *чизиқли нуқсонлар* дейилади. Чизиқли нуқсонларнинг энг муҳим тури дислокациялардир; вакансияларнинг ва бошқа нуқтавий нуқсонларнинг занжирлари ҳам чизиқли нуқсонлар жумласига киради.

3. Сирт (текислик) нуқсонлар. Ўлчамлари фақат бир йўналишдагина кичик бўлган нуқсонлар *сирт нуқсонлар* дейилади. Сирт нуқсонлар жумласига блоклар орасидаги ва доналар орасидаги чегаралар ёки қўш чегаралар, қаттиқ фазалар орасидаги чегара сиртлар ва бошқалар киради. Бундай ҳолларда номукаммал соҳа сирт бўлади.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, юқорида тилга олинган нуқсонлар ҳаракатсиз бўлмай, балки пластик деформация ва ўздиффузия процессида сурилиб туради.

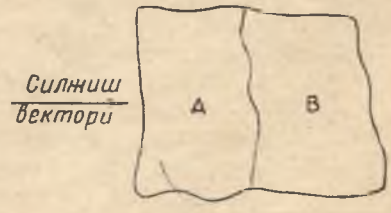
Дислокациялар. Дислокациялар назарияси ҳозирги замон металлшунослигининг физикавий асосларидан биридир. Бу назария металларнинг структурасида содир бўладиган энг муҳим бир қатор процесслар механизми сабабларини изоҳлаб беришга имконият туғдиради.

Дислокациялар суюқлантирилган металларнинг кристалланиш процессида, металларнинг пластик деформацияланишида, металларга термик ва бошқа тур ишловлар беришда ҳосил бўлади.

Дисклокациянинг ўзи нима? Бу саволга қуйидаги таърифдан жавоб оламиз.

Металлнинг атомлар силжиган (сирпанган) соҳаси билан атомлар силжимаган соҳаси орасидаги чегара *дислокация* деб аталади.

Дислокациянинг энг муҳим геометрик характеристикаси силжиш векторидир*. Силжиш вектори *А* соҳадаги атомларнинг силжиш йўналишини ва уларнинг *В* соҳадаги атомларга нисбатан қанча оралиққа силжиганлигини кўрсатади (12-расм).



12-расм.

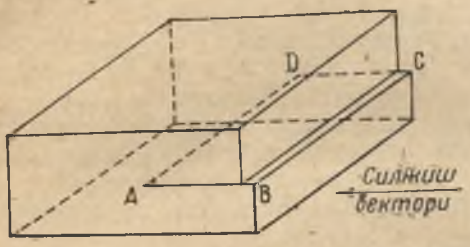
Дислокациялар мукаммал ва номукаммал бўлади. Атомларнинг силжиш оралиғи мукаммал дислокацияларда пан-

* Силжиш вектори, одатда, Бургерс (Бюргерс) вектори деб ҳам аталади.

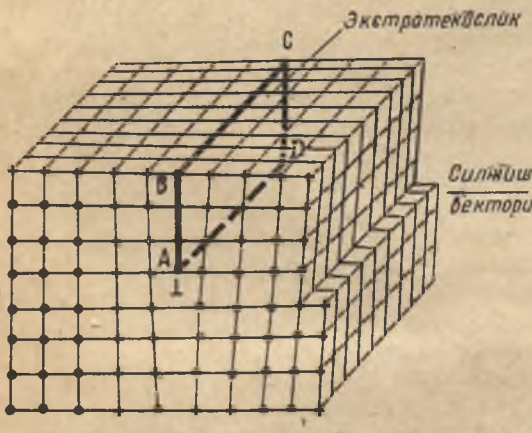
жара параметрларининг бутун сонига, номукаммал дислокацияларда эса панжара параметрларининг каср сонига тенг бўлади. Номукаммал дислокациялар вужудга келишида атомларнинг янги конфигурацияларини ҳосил қилади; бундай дислокациялар иккиланиш дислокацияларидир. Бу турдаги дислокацияларнинг баъзилари сурила олмайди ва, шу сабабли, *тутилиб қолган дислокациялар* деб аталади. Тутилиб қолган дислокациялар сурила оладиган дислокацияларнинг силжишига халақит беради, натижада монокристалларнинг пластик деформацияга қаршилиги ортади.

Дислокациялар, асосан, чизиқли (чекка) ва бурама (винтсимон) дислокацияларга бўлинади. Дислокацияларнинг ана шу турларини кўриб чиқайлик.

Чизиқли дислокациялар. Силжиш векторига перпендикуляр бўлган дислокация *чизиқли дислокация* дейилади. Масалан, бирор кристаллга силжиш вектори бўйлаб ташқи куч таъсир эттирилган ва бу куч таъсирида сирпаниш текислигида* атомлар бир параметр силжиган бўлсин. Силжиш сирпаниш текислигининг бошидан охиригача эмас, балки унинг *ABCD* қисмида содир бўлиб, текисликнинг қолган қисмида содир бўлмаган деб фараз қилайлик (13-расм).



13- расм.



14- расм.

Силжиш зонасининг силжиш векторига перпендикуляр бўлган *AD* чегараси чизиқли дислокациядир.

Чизиқли дислокацияни бошқача кўрсатиш ҳам мумкин. Кристалл панжаранинг элементар катакчаларига тўғри келадигаан кублардан иборат кристалл бор, шу кристаллнинг юқориги қисмида атом текисликлари сони пастки қисмидаги атом текисликлари сонидан битта ортиқ, деб фараз қилайлик (14-расм).

Бунда кристаллнинг юқориги қисмида битта ортиқча *ABCD* ярим текислик ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган бу ярим текислик *экстратекислик* деб аталади. Ана шу экстратекисликнинг *AD* чети чизиқли дислокациядир. Бу дислокация 14-расмда ⊥ белги билан кўрсатилган. *AD* чизиқ *дислокация ўқи* деб аталади.

Кристалл панжаранинг дислокация ўқи атрофидаги қисми эластик равишда бузилганлигидан, бу қисм кучланишлар тўпланган соҳадир; бундай соҳа ҳосил қилиш учун каттагина энергия сарфлаш зарур бўлади, аммо дислокация ҳосил қилингандан кейин у анча осон силжийди.

* Энг кўп атомни ўз ичига олган кристаллографик текислик сирпаниш текислиги дейилади.

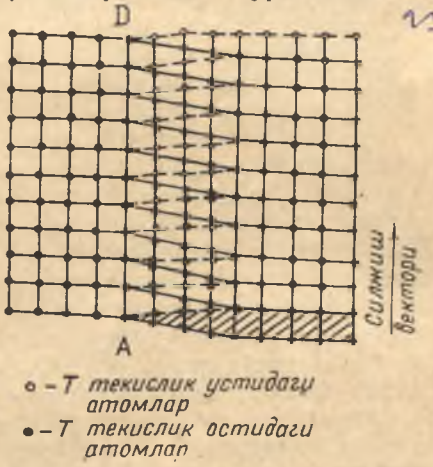
Кристалл панжаранинг энн энг кўп бузилган, яъни дислокация ўқига яқин қисми *дислокация маркази*, бошқача айтганда, *дислокация ўзаги* деб аталади.

Дислокация ўқи жуда узун — панжаранинг бир неча ўн минг параметри узунлигига, дислокация эни, яъни дислокация марказидан панжаранинг бузилмаган жойигача бўлган оралиқ эса жуда қисқа — панжаранинг атиги икки-уч параметри узунлигига тенг бўлади.

Бурама дислокациялар. Бурама дислокацияда атомларнинг силжиш йўналиши силжиш векторига параллел бўлади. Бундай дислокацияни қуйидаги мисолда тушунтириб берайлик. Бир кристалл олиб, унинг озроқ жойини T текислик бўйлаб кесайлик-да, кесилган қисмининг бирини иккинчисига нисбатан панжаранинг бир параметрига тенг оралиққа силжиш векторига параллел тарзда силжитайлик (15-расм). Бундай қилинганда атомларнинг горизонтал текисликлари бир қадар эгилади ва улардан ҳар бирининг чети шу текисликка энг яқин текисликнинг чети билан туташади. Натижада, кристаллнинг шакли винт бўйича бураланган битта сирпаниш текислигидан ҳосил бўлгандек кўринади.



15-расм. Бурама дислокация ҳосил бўлиш схемаси.



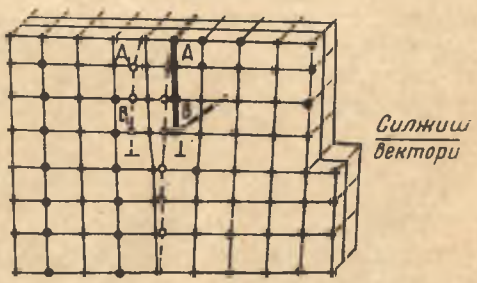
16-расм. Бурама дислокацияли кристаллнинг тузилиш схемаси.

Ҳосил бўлган бу дислокация бурама дислокациядир. Бурама дислокацияли кристаллнинг тузилиш схемаси 16-расмда тасвирланган. AD чизиқ *бурама дислокация ўқи* дейилади. Бу ўқ силжиш векторига параллелдир.

Дислокацияларнинг сурилиши. Дислокациялар икки йўл билан сурилиши мумкин; булардан бири сирпаниш йўли билан сурилиш бўлса, иккинчиси диффузия йўли билан сурилишдир.

Дислокацияларнинг ана шу сурилиш усулларини кўриб чиқайлик.

Дислокациянинг сирпаниш йўли билан сурилиши. Дислокациянинг дастлабки вазияти AB экстратекислик билан ифодаланади деб



17-расм. Чизиқли дислокациянинг бир параметрга тенг оралиққа сурилишида атомларнинг силжишини кўрсатувчи схема.

фараз қилайлик (17- расм). Тангенциал кучлар таъсирида атомларнинг ўрни бир оз ўзгаради ва дислокация янги вазиятга ўтади; бу ҳол 17-расмдаги схемада штрих чизиқ билан кўрсатилган (A_1B_1 — дислокациянинг янги вазияти). Шуни айтиб ўтиш керакки, бунда AB экстратекислик сурилмай, балки ўз функцияларини қўшни текисликка (A_1B_1 текисликка) узатади (дислокация сурилишининг эстафета усули). Янги вазиятда (A_1B_1 да) дислокация яна мувозанат ҳолатида бўлади. Агар ташқи кучнинг таъсири давом этса, дислокация ҳам чап томонга қараб сурилишда давом этади ва, ниҳоят, кристаллнинг чегарасига ётиб, поғонача ҳосил қилади, бу поғоначанинг эни кристалл панжаранинг бир параметрига тенг бўлади.

Дислокациянинг осон ҳаракатланишига сабаб шуки, экстратекислик мавжуд бўлганлигидан, кристалл панжарадаги атомлар ўзларининг мунтазам вазиятларидан бир оз силжиган бўлади, натижада дислокация олдидаги атомлар илгариги вазиятини эгаллашга, дислокация кетидаги атомлар эса панжаранинг бир параметрига тенг оралиққа сурилишга (илгари сурилишга) интилади; бинобарин, дислокация олдидаги атомлар дислокациянинг силжишига тўсқинлик қилса, дислокация кетидаги атомлар дислокациянинг силжишига ёрдам беради. Агар дислокация олдидаги атомларнинг таъсири билан дислокация кетидаги атомларнинг таъсири тахминан мувозанатда турса, дислокацияни силжитиш учун зарур кучланиш энг кичик бўлади.

Дислокацияларнинг диффузия йўли билан сурилиши. Силжиш векторига перпендикуляр бўлган дислокацияларгина диффузия йўли билан сурилади. Дислокацияларнинг бундай сурилиши учун кристалл панжарада атомларнинг ва нуқтавий нуқсонларнинг анчагина силжиши керак. Дислокациянинг диффузия йўли билан сурилиш процесси экстратекисликнинг ўсиши ёки қисқариши ҳисобига боради. Масалан, атомлар панжара тугунларидан экстратекислик четига (дислокацияга) диффузиланса, шу атомлар ўрнида вакансиялар ҳосил бўлади, бунинг натижасида эса экстратекислик ўсади ва, аксинча, экстратекислик четига вакансиялар диффузиланса, яъни у ердан атомлар кетса, экстратекислик қисқаради. Бу иккала ҳолда ҳам дислокация сурилади. Оралиқ атомларнинг (нуқтавий нуқсонларнинг) дислокацияга диффузиланиши натижасида ҳам дислокация сурилади, бунда нуқтавий нуқсонлар йўқолади.

Диффузия туфайли дислокация бирданига иккита сирпаниш текислигида жойлашиб, ғов ҳосил қилиши ҳам мумкин.

Металл билан сингиш қаттиқ эритмаси ҳосил қиладиган қўшимчаларнинг майда атомлари дислокация атрофида панжаранинг сиқиқ зонасида, йирик атомлари эса чўзиқ зонасида жойлашиб, дислокация атрофида атомлар атмосфераси ҳосил қилади. Атомларнинг бундай атмосфераси *Коттрел атмосфераси* деб аталади. Коттрел атмосфераси дислокациянинг силжишда давом этишига тўсқинлик қилади.

8- §. КРИСТАЛЛ ЖИСМЛАРНИНГ ХОССАЛАРИ

Кристалл моддаларнинг ўзига хос бир қатор хусусиятлари, шу жумладан анизотроплик (векториаллик) хусусияти бўлади. Бу хусусиятлар кристалл модданинг атомлари фазода маълум тартибда жойлашганлигидан келиб чиқади. Кристалл модданинг ҳар хил йўналишларида турлича хоссаларга эга бўлиши *анизотропия (векториаллик)* деб аталади. Кристалл моддада атомлар батартиб жойлашганлиги туфайли, ҳар

хил йўналишдаги кристаллографик текисликларда атомларнинг зичлиги, яъни атомларнинг сони турлича бўлади, шу сабабли кристалларнинг химиявий ва механик хоссалари ҳам ҳар хил йўналишларда турличадир. Масалан, миснинг сунъий йўл билан ҳосил қилинган монокристалида (бир кристаллдан иборат намунасида) ҳар хил йўналишларда мустаҳкамлик чегараси ($\sigma_в$) 146 дан 350 *Мн/м²* (14.6 дан 35 *кГ/мм²*) гача, нисбий узайиши (δ) эса 10 дан 55% гача бўлади. Миснинг монокристалида мустаҳкамлик чегарасининг йўналишга қараб ўзгаришини тасвирловчи модель 18-расмда кўрсатилган.

Шуни назарда тутиш керакки, анизотропия ҳодисаси фақат монокристаллардагина намоён бўлади, монокристаллар эса бир хил ориентацияланган элементар катакчалардан иборатдир. Поликристаллардан (кўп кристаллардан) иборат намуналарда ҳар хил йўналишларда ўлчанадиган хоссалар қиймати бир хил бўлади. Масалан, миснинг мустаҳкамлик чегараси, қайси йўналишда текширилишидан қатъи назар, 220 *Мн/м²* (22 *кГ/мм²*) га, нисбий чўзилиши эса 40% га тенг. Бунинг сабаби шуки, поликристаллардан иборат металл бир-бирига нисбатан турлича тарзда жойлашган кўпдан-кўп монокристаллардан иборатдир. Шунинг учун битта монокристаллга хос бўлган анизотропликни бошқа монокристаллар йўқотади, натижада поликристаллардан иборат металларда *сохта изотропия,* яъни *квазиизотропия* хусусияти бўлади.



18- расм.

Кристалларнинг ўзига хос яна бир хусусияти шундан иборатки, уларда *сирпаниш* ёки *ёпишиш* текисликлари бор; кристаллга механик куч таъсир эттирилганда заррачалар ана шу текисликлар бўйича силжийди ёки кўчади. Маълумки, кристалл моддага механик куч таъсир кўрсатилганда кристалл ё синади (агар у мўрт бўлса) ёки емирилмай, ташқи шаклини ўзгартиради (деформацияланади).

Кристалл моддага механик куч таъсир эттирилганда унинг синган жойида текисликлар кўринади, кристаллар ана шу текисликлар бўйича энг осон синади. Бундай текисликлар *ёпишиш текисликлари* дейилади.

Агар механик куч таъсир эттирилганда кристалл модда синмай, фақат деформацияланса, модданинг заррачалари сирпаниш текисликлари бўйича силжиган бўлади. Кристалл моддаларда сирпаниш ёки ёпишиш текисликларининг бўлиши ҳам кристалларда заррачаларнинг маълум тартибида жойлашувидан келиб чиқади.

Кристалл жисмнинг мунтазам ташқи шакли ҳам унинг ўзига хос хусусиятларидан биридир. Бу хусусият ҳам кристалларда заррачаларнинг маълум тартибда жойлашганлигидан келиб чиқади.

Кристалл модданинг яна бир хусусияти шундан иборатки, у бир агрегат ҳолатдан иккинчи агрегат ҳолатга бирданига (ўзгармас температурада) ўтади.

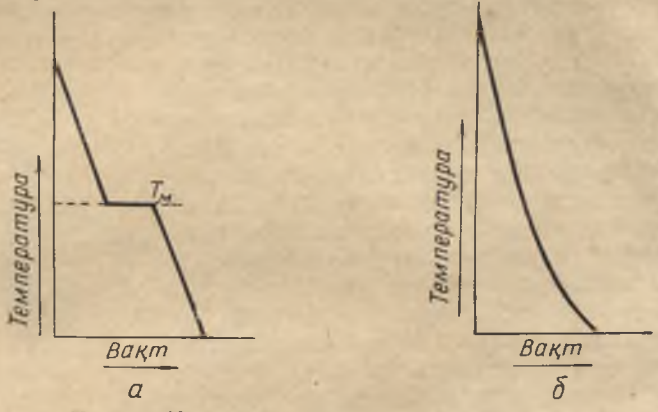
Термик анализ ёрдамида моддаларнинг қизиш ёки совиш эгри чизиқларини тузиш мумкин. Температура — вақт координаталарида чизилган бундай эгри чизиқлар 19- расмда тасвирланган.

19- расм, *а* да кристалл модданинг совиш эгри чизиғи тасвирланган. Кристалл модданинг маълум бир температурада суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши диаграммадан яққол кўриниб турибди. Модданинг суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиш температураси кристалланишнинг *критик*

ё *мувозанат* ёки *назарий температураси* деб аталади ва *Тм* билан белгиланади.

Мувозанат температурасидан юқорида модда суюқ ҳолатда, пастда эса қаттиқ ҳолатда бўлади.

Кристалл модда суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга муайян вақт оралиғида ўтади ва бунда *кристалланиш яширин иссиқлиги* ажралиб чиқади. Шу иссиқлик ажралиб чиққанлиги учун, металл совитила боришига қарамай, температура маълум вақт ўзгармай туради. 19- расм, *а* даги диаграммада бу ҳол горизонтал кесма тарзида кўрсатилган. Аморф



19- расм. Моддаларнинг совиш эгри чизиқлари:
а — кристалл моддага оид; *б* — аморф моддага оид.

модда эса муайян температуралар оралиғида секин-аста қотади (19-расм, *б*) ва модданинг суюқ ҳолати билан қаттиқ ҳолати орасида кескин чегара бўлмайди.

9- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕКШИРИШНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

Металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари жумласига металларнинг синиқ жойи юзасини кўздан кечириш, макроструктурасини текшириш, микроскопик тузилишини (микроструктурасини) анализ қилиш, электрон-микроскопия, рентгенография ва радиография усуллари киради. Ана шу усуллар билан қисқача танишиб ўтайлик.

Металларнинг синиқ жойи юзасини кўздан кечириш усули. Бу усул металлар ички тузилишини текширишнинг энг оддий усули бўлиб, у металл доналарининг майда-йириклигини аниқлашга имкон беради. Аммо металлнинг синиқ жойи юзаси яширин-кристалик ва тола-тола бўлиши мумкин, бунда синиқ жойи юзасини кўздан кечириш усулидан фойдаланиб, металл доналарининг майда-йириклигини аниқлаб бўлмайди, чунки синишдан олдин металл пластик деформацияланган бўлиб, натижада бу металл доналарининг ҳақиқий шакли ўзгариб кетади. Бундан ташқари, ишлов бериш ва синаш натижасига қараб, бир металлнинг ўзида синиқ жойи юзасининг шакли турлича бўлиши мумкин.

Металлнинг синиқ жойи юзасининг майда донали бўлиши металлнинг механик хоссалари юқори эканлигини кўрсатади.

Металларнинг макростурктурасини текшириш усули. Бу усулда металлдан намуна олиниб, макрошлиф* тайёрланади. Металлнинг ана шу макрошлифи бевосита ёки лупа воситасида қаралганда кўринадиган

* Металлнинг бир томони эговланиб, сўнгра жилвирлангандан кейин кислота ёки бошқа реактив эритмаси таъсир эттирилган намунаси макрошлиф дейилади.

структураси *макроструктура* деб аталади. Агар макрошлиф бевосита ёки лупа воситасида қаралса, металлнинг тузилишини ва ички нуқсонларини: дарзлар, шлак қўшилмалари, пуфакча ўринлари, бўшлиқлар, бор-йўқлигини, тола йўналишларини кўриш мумкин.

Металларнинг микроскопик тузилишини текшириш усули. Металлдан махсус тайёрланган намуна (микрошлиф*) нинг, одатда, 50 дан 2000 мартагача катта қилиб кўрсатадиган оптик микроскоп остида кўринадиган структураси шу металлнинг *микроструктураси* деб аталади. Ҳозирги оптик микроскоплар металлнинг 10^{-5} *см* ўлчамли заррачаларини кўришга имкон беради. Ватанимизда ишлаб чиқарилган оптик (металлографик) микроскопларнинг энг кўп тарқалгани МИМ-6, МИМ-7, МИМ-8 микроскоплардир.

Микрошлиф микроскоп остига қўйиб қаралганда металл структурасининг кўринишига сабаб шуки, металлнинг турли структура компонентларига реактив турлича таъсир этади.

Металлографик микроскоп ёрдамида шлифнинг микроскопик тузилишини фотосуратга олиш ҳам мумкин.

Электрон-микроскопия усули. Металларнинг ички тузилишини текширишда электронлар тутамидан фойдаланиладиган усул *электрон-микроскопия усули* деб аталади. Электрон-микроскоп моддаларнинг, шу жумладан металларнинг ҳам ички тузилишини текширишда тобора кўп ишлатилмоқда. Бу асбоб 100000 мартагача катталаштириб кўрсатиш имконини беради, аммо металларнинг тузилишини ўрганишда 10—15 минг марта катталаштириб кўрсатишнинг ўзи кифоя, шунда 10—100Å ўлчамли заррачаларни кўрса бўлади. Электрон микроскопнинг катталаштириш даражаси юқори бўлганлигидан металларнинг тузилишидаги анча нозик томонларни, масалан, пўлатдаги троостит тузилишини, мозаика блоклари ва бошқаларни, яъни оптик микроскоп воситасида кўриб бўлмайдиган тузилмаларни ҳам кўриш мумкин.

Электрон микроскопда металлнинг ғоят юпқа пардасидан ёки махсус тайёрланадиган юпқа ва шаффоф пардалардан (нусхалардан) фойдаланилади. Шаффоф пардалар (нусхалар) сифатида металл оксидлари, коллодий ва бошқа моддалар ишлатилади. Шаффоф пардалардан, масалан, коллодийдан фойдаланишга тўғри келса, коллодий реактив таъсир эттирилган микрошлиф юзига суртилади, микрошлиф юзидан олинган коллодий пардаси шу шлиф юзининг рельефини тўла акс эттиради.

Ватанимизда ишлаб чиқариладиган электрон микроскопларнинг энг кўп тарқалгани УЭМБ-100 электрон микроскопидир.

Рентгенография усули. Металларнинг тузилишини текширишнинг рентгенография усули металл кристалл панжарасидаги бир қатор атомларнинг рентген нурларини дифракциялашига асосланган бўлиб, атомларнинг ІА чамаси оралиғини ўлчашга ва, демак, металл ёки қотишмалар кристалл панжараларининг шаклини ҳамда панжаралардаги атомларнинг (ионларнинг) оралиғини аниқлашга имкон беради.

Атомларнинг (ионларнинг) фазовий жойлашуви рентгенограммада акс эттирилади. Ҳар қайси металл рентгенограммада жойлашуви, эни ва интенсивлиги муайян бўлган ўзига хос чизиқлар системаси ҳосил қилади.

Рентгеноструктура анализи воситасида қарийб барча металл ва қотишмаларнинг кристалл панжаралари аниқланган.

---

* Металлнинг бир томони яхшилаб силлиқланган, ялтиратилган ва реактив эритмаси таъсир эттирилган намунаси микрошлиф деб аталади.

Физика курсидан маълумки, рентген нурлари ўз табиати жиҳатидан ёруғлик нурларига ўхшашдир, аммо рентген нурлари ёруғлик нурларидан тўлқин узунлигининг анча кичиклиги билан фарқ қилади. Рентген нурларининг тўлқин узунлиги кичик бўлганлигидан, бу нурлар модда сиртидан қайтмай, балки шу модда ичига кириб боради. Атомлар мусбат зарядли ядро билан манфий зарядли электронлардан иборат система бўлганлиги учун, рентген нурларининг электромагнит майдони таъсири остида атомларнинг электронлари тебранма ҳаракатга келиб, ҳар томонга тарқалувчи электромагнит тўлқинлари — тарқалувчи нурлар манбаи бўлиб қолади. Кристаллда атомлар мунтазам жойлашганлигидан тарқалувчи нурлар бир йўналишда бир-бирини кучайтирса, иккинчи йўналишда бир-бирини сўндиради. Агар ана шу нурлар оқими йўналишига фотопластинка қўйилса, нурларнинг кучайиш йўналишида доғлар — рентгенограмма ҳосил бўлади. 1913 йилда Москва университетининг профессори Г (Ю). В. Вульф бу рентгенограммани атомларнинг ўзаро параллел айрим-айрим текисликларидан қайтган нурларнинг интерференцияланиши натижаси деб талқин қилиш мумкинлигини кўрсатди. Металл кристалл панжарасининг шаклини ва панжарадаги атомлар оралиғини аниқлаш ана шунга асосланган.

Металларнинг ички тузилишини текширишда, масалан, УВС-70-К-1 рентген установкасидан фойдаланилади.

Радиография усули. Металларнинг қотишмаларида бирор элементнинг қанлай тарқалганлигини текширишда радиография усулидан фойдаланилади. Радиография усулининг моҳияти шундан иборатки, қотишмада қандай тарқалганлиги текширилиши керак бўлган элементнинг радиоактив изотопидан маълум миқдори қотишма суюқлантирилаётганда металлга қўшилади. Қотишма тайёр бўлгандан кейин совитилиб, ундан намуна олинади ва макрошлиф ёки микрошлиф тайёрланади. Тайёрланган шлиф сиртига фотография плёнкаси қўйилади. Текширилаётган элемент радиоактив изотопининг нурланиши натижасида плёнкада шу элемент бор жойларнинг изи қолади. Плёнка очилтирилгандан кейин микроскоп остига қўйилиб, унинг сурати олинса, микрорадиография ҳосил бўлади. Ана шу микрорадиографияга қараб, қотишмада элементнинг қандай тарқалганлиги аниқланади.

10- §. ФАЗА ЎЗГАРИШЛАРИНИНГ ТЕРМОДИНАМИК АСОСЛАРИ

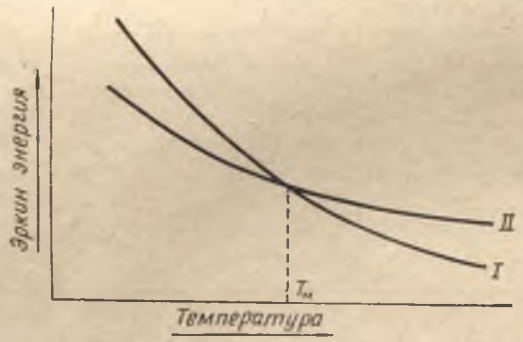
Термодинамиканинг иккинчи қонунига биноан, ҳар қандай фаза ўзгариши вақтида системанинг эркин энергияси* камаяди, яъни система эркин энергияси катта бўлган беқарор ҳолатдан эркин энергияси кичик бўлган барқарор ҳолатга ўтишга интилади. Бинобарин, ўзгармас босимда температуранинг ўзгариши билан система эркин энергиясининг ўзгариш характери маълум бўлса, система (фазалар) барқарор бўладиган температуралар соҳасини кўрсатиш мумкин.

20- расмда суюқ ва қаттиқ фазалар эркин энергиясининг температурага қараб ўзгариш графиги эркин энергия — температура координаталарида тасвирланган.

Диаграммада *I* эгри чизиғи суюқ фаза эркин энергиясининг ўзгаришини, *II* эгри чизиғи эса қаттиқ фаза эркин энергиясининг ўзгаришини кўрсатади. $T_м$ температурада суюқ фазанинг эркин энергияси билан қат-

*Эркин энергия алоҳида термодинамик функция бўлиб, иссиқликдан ҳаракатда бўлган гоят кўп атом ва молекулаларни ўз ичига олган системанинг энергетик ҳолатини характерлайди. Эркин энергия F ҳарфи билан белгиланади: $F = U - TS$, бу формулада U — системанинг ички энергияси, T — абсолют температура, S — энтропия.

тиқ фазанинг эркин энергияси баравар ($F_{с.ф.} = F_{қ.ф.}$) бўлади, яъни суюқ фаза билан қаттиқ фаза мувозанатда туради, бинобарин, $T_м$ *мувозанат температурасидир*. $T_м$ температурадан юқорида суюқ фазанинг эркин энергияси кичик, қаттиқ фазанинг эркин энергияси эса катта, $T_м$ температурадан пастда, аксинча, суюқ фазанинг эркин энергияси катта, қаттиқ фазаники эса кичик бўлади. Бинобарин, $T_м$ дан юқори температурада модда суюқ ҳолатда, $T_м$ дан паст температурада эса қаттиқ (кристалл) ҳолатда бўлиши керак. $T_м$ температура *назарий кристалланиш температураси* деб ҳам аталади (27-бетга ҳам қаранг).



20-расм. Суюқ ва қаттиқ фазалар эркин энергиясининг температурага қараб ўзгариш графиги.

Шуни ҳам айтиш керакки, термодинамика маълумотларининг ўзигагина асосланиб, металларнинг кристалланиш ёки суюқланиш тезлиги тўғрисида хулоса чиқариб бўлмайди. Бунинг учун фазанинг ўзгариш йўлини ва бу процесснинг бориш кинетикасини ҳам билиш керак.

Суюқ фазанинг қаттиқ фазага ўтиш процесси кристалланиш марказлари ҳосил бўлиши ва бу марказларнинг ўсиши йўли билан боради. Бу процесснинг кинетикаси икки параметр билан, яъни ҳажм бирлигида вақт бирлиги ичида ҳосил бўладиган кристалланиш марказлари сони билан кристалларнинг ўсиш тезлиги воситасида баҳоланиши мумкин. Кристалланиш марказлари сони қанчалик кўп ва кристалларнинг ўсиш тезлиги қанчалик катта бўлса, суюқ фаза қаттиқ фазага шунчалик тез айланади.

11-§. МЕТАЛЛАР АЛЛОТРОПИЯСИ

Бир металлнинг, умуман, бир элементнинг ҳар хил шароитда, масалан, ҳар хил температураларда турлича кристалл панжаралар ҳосил қила олиш хусусияти *аллотропия,* бошқача қилиб айтганда, *полиморфизм* деб аталади. Металлнинг ҳар хил кристалл турлари шу металлнинг *аллотропик шакл ўзгаришлари* ёки *модификациялари* дейилади. Металларнинг аллотропик шакл ўзгаришлари грек ҳарфлари: α, β, γ, δ ва бошқалар билан белгиланади. Металларнинг энг паст температурада мавжуд бўладиган аллотропик шакл ўзгариши α билан, ундан юқорироқда мавжуд бўладиган шакл ўзгариши β билан кўрсатилади ва ҳоказо. Масалан, темир икки хил панжара: 911° С дан паст ва 1392—1539°С температураларда ҳажми марказлашган куб панжара, 911—1392°С температураларда ёқлари марказлашган куб панжара ҳосил қилади. Демак, 911°С дан паст температурадаги темир α(β)-темир бўлса, 911—1392°С температуралардаги темир γ-темирдир. Темир-

нинг 1392—1539°С температуралардаги шакл ўзгариши ҳам α-темирдир, бу тўғрида кейинроқ батафсил сўзланади (126-бетга қаранг).

Аллотропик шакл ўзгариш вақтида иссиқлик ажралиб чиқади ёки ютилади.

Металларнинг қайси температураларда қандай аллотропик шакл ўзгаришлари мавжуд бўла олиши 3-жадвалда кўрсатилган.

3-жадвал

Баъзи металларнинг аллотропик шакл ўзгаришлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Аллотропик шакл ўзгариши	Барқарор ҳолат температуралари, °С	Кристалл панжарасининг тури
Қалай (Sn)	α	18 гача	Олмос типидаги куб панжара
	β	18 дан 232 гача	Ҳажми марказлашган тетрагонал панжара
Темир (Fe)	α (β, δ)	911 гача ва 1392 дан 1539 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
	γ	911 дан 1392 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
Кобальт (Co)	α	450 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	450 дан 1480 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
Титан (Ti)	α	882 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	882 дан 1725 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Цирконий (Zr)	α	867 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	867 дан 1860 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Марганец (Mn)	α	727 гача	Кўп атомли мураккаб куб панжара
	β	727 дан 1095 гача	Кўп атомли мураккаб куб панжара
	γ	1095 дан 1134 гача	Ёқлари марказлашган тетрагонал панжара
	δ	1134 дан 1244 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Уран (U)	α	668 гача	Орторомбик панжара
	β	668 дан 720 гача	Тетрагонал панжара
	γ	720 дан 1132 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Кальций (Ca)	α	250 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
	β	250 дан 464 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	γ	464 дан 851 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара

12-§. МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛАНИШИ

Бирламчи кристалланиш. Металларнинг суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши *бирламчи кристалланиш* деб аталади.

Совитилганда кристалланиш (қиздирилганда эса суюқланиш) температураси ўзгармас босимда айни бир металл учун ўзгармас катталикдир (4-жадвал).

4-жадвал

Баъзи металларнинг суюқланиш температураси

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида
Симоб (Hg)	—38,9	Кальций (Ca)	851	Цирконий (Zr)	1860
Қалай (Sn)	232	Германий (Ge)	936	Ниобий (Nb)	2450
Висмут (Bi)	271	Мис (Cu)	1083	Молибден (Mo)	2600
Қўрғошин (Pb)	327	Марганец (Mn)	1244	Вольфрам (W)	3390
Рух (Zn)	419	Никель (Ni)	1452		
Сурьма (Sb)	631	Кобальт (Co)	1490		
Магний (Mg))	651	Темир (Fe)	1539		
Алюминий (Al)	657	Титан (Ti)	1725		
		Хром (Cr)	1850		

Металл бир агрегат ҳолатдан бошқа бир агрегат ҳолатга ўтганда иссиқлик ажралиб чиқади ёки ютилади, демак, бундай системани иссиқлик ҳодисаси рўй берадиган система дейиш мумкин.

Суюқ модда совитилганда $T_м$ температурада (20-расмга қаранг) кристалланиш процесси содир бўлмайди, чунки бу температурада, юқорида айтиб ўтилганидек, $F_{с.ф.} = F_{қ.ф}$ бўлади. Суюқ фазанинг кристаллана бошлаши учун системанинг эркин энергияси камайиши, қаттиқ фазанинг (кристаллнинг) суюқликка айланиши учун эса системанинг эркин энергияси ортиши керак. 20-расмдаги эгри чизиқлардан яққол кўриниб турибдики, суюқ фаза $T_м$ дан паст температурагача совитилганда унинг эркин энергияси камаяди, қаттиқ фаза $T_м$ дан юқори температурагача қиздирилганда эса системанинг эркин энергияси ортади.

Суюқ фазанинг $T_м$ дан паст температурагача совиши *ўта совиш* деб, қаттиқ фазанинг $T_м$ дан юқори температурагача қизиши эса *ўта қизиш* деб аталади.

Назарий кристалланиш (суюқланиш) температураси билан амалий кристалланиш (суюқланиш) температураси орасидаги айирма *ўта совиш даражаси* дейилади ва n ҳарфи билан белгиланади. Масалан, сурьманинг назарий кристалланиш (суюқланиш) температураси 631°С га тенг, ўта совиш даражаси (n) 41°С га етиши мумкин, демак, унинг амалий кристалланиш температураси 631°—41°=590°С бўлади.

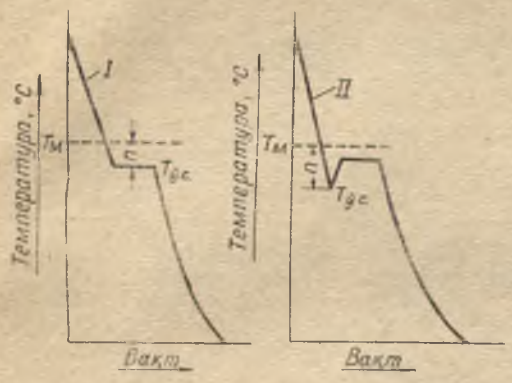
Кристалл жисмнинг (металлнинг) суюқ ҳолатдан кристалл ҳолатига ўтиш процессини ифодаловчи эгри чизиқлар 21-расмда тасвирланган.

Баъзи металларда (масалан, сурьмада) ўта совиш даражаси катта бўлганлигидан яширин суюқланиш иссиқлиги кристалланишнинг дастлабки пайтида шу қадар шиддат билан ажралиб чиқадики, бунда температура тўсатдан кўтарилиб, назарий кристалланиш температурасига

692 345

яқинлашиб қолади, бунда ўта совиш сиртмоғи (петляси) ҳосил бўлади (21-расм, *II*). Кўпчилик металлар учун кристалланиш вақтида ўта совиш даражаси жуда кичик бўлади.

Суюқ ҳолатдаги металлнинг кристалланиш процесси икки босқичдан: *кристалланиш марказлари* ҳосил бўлиш босқичи билан шу марказлар теварагида *кристалларнинг ўсиш* босқичидан иборатлигини илмий металлшуносликка асос солган олим Д. К. Чернов 1878 йилдаёқ кўрсатиб ўтган эди. Г. Тамман эса кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги ўта совиш даражасига боғлиқ эканлигини аниқлади.



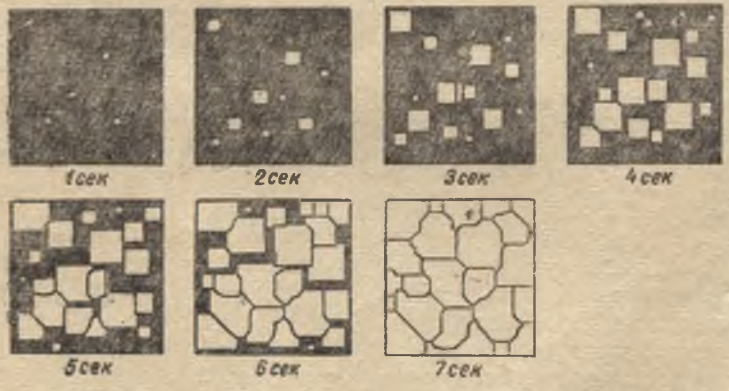
21-расм. Металлнинг совиш эгри чизиқлари:
I — ўта совиш сиртмоғи бўлмаган металлники;
II — ўта совиш сиртмоғи бўлган металлники.

Суюқ металлнинг температураси мувозанат температурасига яқинлашганда айрим жойлардаги атомлар, флуктуация * туфайли, фазода худди кристалл панжаралардагидек жойлашиб, атомлардан иборат группалар ҳосил қилади. Ана шу группаларнинг баъзилари кристалланиш марказлари бўлиб қолиши мумкин (кристалланиш марказларининг ўз-ўзидан ҳосил бўлиши).

Шуни ҳам айтиш керакки, кристалланиш марказлари ҳосил бўлишида суюқ металлдаги бегона заррачалар ҳам катта роль ўйнайди (кристалланиш марказларининг бегона заррачалардан ҳосил бўлиши).

Ҳосил бўлган кристалланиш марказлари ёқларидан кристаллар ўса бошлайди. Кристалларнинг ўсиш схемаси 22-расмда тасвирланган.

22-расмдаги схема кристалланиш тезлиги ва кристалланиш марказлари ҳосил бўлиш тезлиги ўзгармайдиган шароит учун тузилган. Схе-

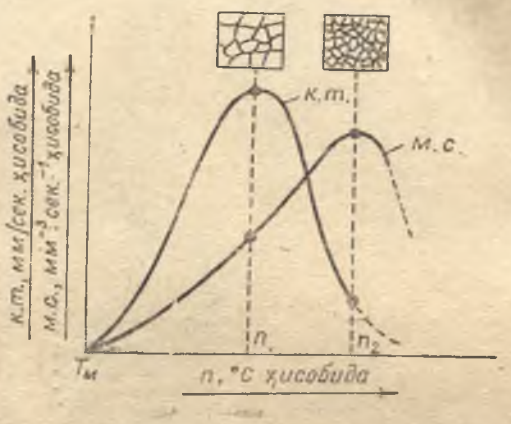


22-расм. Кристалларнинг ўсиш схемаси (И. Л. Миркин).

* Флуктуация (флюктуация) сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси тебраниш демакдир. Физикада бу терминдан газ ёки суюқликда молекулаларнинг (атомларнинг) бир текис тарқалишидан вақтинча, тасодифан четга чиқиши тушунилади. Флуктуация кристалланиш процессининг зарурий шартларидан биридир.

мадан кўриниб турибдики, кристалланишнинг дастлабки пайтларида кристаллар ўз геометрик шаклларини сақлаган ҳолда бемалол ўсади, аммо ўсаётган кристаллар бир-бири билан учрашган жойларда ўсишдан тўхтаб, ўсиш учун тўсқинлик бўлмаган томонга қараб ўса бошлайди. Бундай шароитда кристаллнинг мунтазам геометрик шакли бузилади. Мунтазам геометрик шакли бузилган бундай кристаллар *доналар* ёки *кристаллитлар* ёки *полиэдрлар* деб аталади.

Энди, кристалланиш марказлари сони (*м. с.*) ва кристалларнинг ўсиш тезлиги (*к. т.*) билан ўта совиш даражаси (*n*) орасидаги боғланишни кўриб чиқайлик.



23- расм. Кристаллар ўсиш тезлиги (*к.т.*) нинг ва кристалланиш марказлари сони (*м. с.*) нинг ўта совиш даражаси (*n*) га қараб ўзгариш диаграммаси.

Кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги билан ўта совиш даражаси орасидаги боғланиш графиги 23- расмда тасвирланган*. Ўта совиш даражасининг ортиши билан кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги ортиб боради-да, ўта совиш даражаси бирор қийматга етганда улар максимумга эришади, ўта совиш даражаси ортишда давом этса, *м. с.* ва *к. т.* нолгача пасаяди. Ўта совиш даражасининг қийматлари кичик бўлганда кристаллар ўсиш тезлигининг ва кристалланиш марказлари сонининг ортишига сабаб шуки, мувозанат температураси ($T_м$) яқинида суюқликнинг ҳаракатчанлиги юқори бўлиб, суюқ фаза билан қаттиқ фаза (кристалл) эркин энергиялари айирмаси ортади, натижада кристалланиш тезлашади. Ўта совиш даражасининг қийматлари катта бўлганда кристаллар ўсиш тезлигининг ва кристалланиш марказлари сонининг пасайиши заррачалар ҳаракатчанлигининг пасайишидан келиб чиқади; ўта совиш даражасининг қийматлари катта бўлганда ва, бинобарин, паст температураларда заррачаларнинг ҳаракатчанлиги пасайиб, системанинг ўзгариш хусусияти заифлашади.

Ҳосил бўладиган кристалларнинг ўлчамлари кристалланиш марказлари сони билан кристалларнинг ўсиш тезлигига боғлиқдир. Кристалланиш марказлари сони кўп ва кристалларнинг ўсиш тезлиги кичик бўлса (масалан, n_2 да, 23- расм), майда кристаллар ҳосил бўлади ва, аксинча, кристалланиш марказлари сони кам, кристалларнинг ўсиш тезлиги юқори бўлса (масалан, n_1 да, 23- расм), йирик кристаллар ҳосил бўлади. Шундай қилиб, ўта совиш даражаси кристалланиш процессининг бориши учун зарур шарт-шароитлардан бири бўлиб, ҳосил бўладиган кристалларнинг майда-йириклигига таъсир этади.

Доналарнинг майда-йириклиги. Яқин вақтгача, суюқликлар ички тузилиши жиҳатидан қаттиқ моддалардан кўра газларга яқин туради деб ҳисобланар эди. Аммо суюқ металлнинг ички тузилишини рентген анализи ёрдамида ўрганиш соҳасида ўтказилган тадқиқотлар

*Кристалланиш марказлари сони 1 секундда 1 $мм^3$ ҳажмда ҳосил бўлган марказлар сони ($1/мм^3 \cdot сек = 1 мм^{-3} сек^{-1}$) билан, кристалларнинг ўсиш тезлиги эса *мм/сек* ёки *мм/мин* билан ўлчанади.

кристалланиш температурасига яқин температурада суюқ металларда батартиб жойлашган (яқин тартибдаги) атомлар группаси бўлишини кўрсатди. Бу группа суюқ металлда кристалланиш марказлари вужудга келишига асос бўлади. Бинобарин, бирламчи кристалланиш процессининг бориши учун зарур бўлган иккинчи шарт-шароит суюқ металларда батартиб жойлашган атомлар группалари мавжудлигидир.

Кристалланиш процесси бошқа бир қатор факторларга ҳам боғлиқ. Суюқ металлда жуда майда бегона заррачаларнинг бўлиши, металл қуйиладиган қолип деворларининг ҳолати, суюқ металлнинг қолипга қуйилиш пайтидаги температураси ва бошқа факторлар ҳам кристалланиш процессига ҳамда ҳосил бўладиган кристалларнинг майда-йириклигига таъсир этади. Кристалланиш процессига қўшимчаларнинг таъсир этиш ҳодисасидан металлургияда ва қуйиш ишида пўлат, чўян, силумин ва бошқа металл ҳамда қотишмаларни модификациялаш учун кенг кўламда фойдаланилади. Масалан, суюқ металл ёки қотишмага қийин суюқланадиган бошқа металларнинг жуда майда (дисперс) заррачалари қўшилса, қўшимча кристалланиш марказлари ҳосил бўлиб, кристалланиш процесси тезлашади, натижада қуйма майда кристалли тузилишга эга бўлиб қолади. Суюқ металл ёки қотишмага қўшиладиган бундай дисперс заррачалар *модификаторлар* деб аталади.



24-расм. Дендритнинг схемаси (*а*) ва Чернов кристали (*б*).

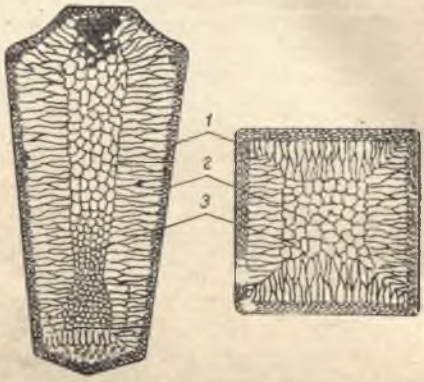
Кристалларнинг шакли. Ўта совиш даражаси кристалларнинг шаклига ҳам таъсир этади. Ўта совиш даражаси жуда кичик бўлса, мунтазам геометрик шаклдаги кристаллар ҳосил бўлади. Ўта совиш даражаси бир қадар каттароқ бўлса, кристаллар дендрит шаклини олади, яъни кристаллар, асосан фазовий кристалл панжаранинг асосий ўқларига мос йўналишда ўсади (24-расм). Ўта совиш даражаси анча катта бўлса, сфероид шаклидаги кристаллар ҳосил бўлади.

Металл қуймаларда кристаллар, умуман айтганда, дендрит шаклида бўлади. Дендритнинг схемасини жаҳонда биринчи бўлиб, Д. К. Чернов чизиб берган эди.

Агар кристалланиш шароити яхши бўлса, ғоят катта дендритлар ўсади. 100 тоннали пўлат қуйманинг чўкиш (киришиш) бўшлиғида (чўкиш раковинасида) Д. К. Чернов 39 *см* узунликдаги дендритни топди. Бу дендрит одатда, «Чернов кристали дейилади». Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, дендритлар, ўз навбатида, жуда кўп минг ва миллион кристаллитлардан (доналардан) иборат бўлади. Ҳар хил кристалланиш

марказларидан ҳосил бўлган дендритлар бир-бири билан тўқнашади, бунинг натижасида дендритлар ташқи шакли номунтазам бўлган кристаллитларга, яъни доналарга айланади.

Металл қуймаларнинг тузилиши. Маълумки, ишлаб чиқариш шароитида суюқ металлар маълум шаклли қолипларга қуйилади, қолиплар деворларининг температураси эса суюқ металлникидан паст бўлади ва ҳосил қилинган қуйманинг макроструктраси ҳам, химиявий таркиби ҳам бир жинсли бўлмайди, чунки бундай қуймаларнинг турли зоналарида кристалланиш шароити турлича бўлади. Қуйманинг макроструктураси дастлаб Д. К. Чернов таклиф этган схемага, асосан, мувофиқ келади (25-расм).



25-расм. Пўлат қуйманинг тузилиши (схема):

1 — майда донали зона; *2* — узунчоқ кристаллар зонаси; *3* — тенг ўқли кристаллар зонаси.

25-расмдан кўриниб турибдики, қуйма металлнинг структураси учта асосий зонадан: майда донали сиртқи зона, узунчоқ кристаллар зонаси ва тенг ўқли кристаллар зонасидан иборат.

Биринчи зона, яъни майда донали зона тартибсиз жойлашган майда дендрит-кристаллардан иборат. Маълумки, суюқ металл қанчалик тез совитилса ва унинг ўта совиш даражаси қанчалик катта бўлса, кристалланиш марказлари шунчалик кўп ҳосил бўлиб, доналар шунчалик майдалашади. Суюқ металлнинг қолип деворларига тегиб турган жойида совиш тезлиги ва ўта совиш даражаси бошқа жойларига қараганда энг катта бўлади. Биринчи зонада майда дендрит-кристаллар ҳосил бўлишининг сабаби ана шу. Майда донали зона, расмдаги схемадан кўриниб турибдики, бошқа зоналардан кичикдир.

Иккинчи зона, яъни узунчоқ кристаллар зонаси маълум йўналишда — майда донали зона (қобиқ) томон жойлашган кристаллардан иборат. Бундай кристаллар ҳосил бўлишига сабаб шуки, иккинчи зонада совиш тезлиги пасаяди, чунки қолипнинг девори исийди, ҳосил бўлган биринчи зона (қобиқ) иссиқликнинг чиқишига қаршилик кўрсатади ва ҳоказо, бундан ташқари, суюқ металлнинг қобиқ ёнидаги қаватида температуралар градиенти тез пасаяди, ўта совиш даражаси кичраяди, бинобарин, кристалланиш марказлари сони кам бўлади. Кристалланиш марказлари сони кам бўлганлигидан, қобиқ томон, яъни иссиқликнинг чиқиб кетиш йўналишида узунчоқ кристаллар ўса бошлайди. Иккинчи зонанинг батартиб жойлашган узунчоқ кристаллардан иборат бўлишига сабаб ана шу. Иккинчи зона транскристаллизацион зона деб ҳам аталади.

Учинчи зона, яъни тенг ўқли кристаллар зонаси тартибсиз йўналган йирик кристаллардан иборат. Учинчи зонада совиш тезлиги энг паст бўлади ва иссиқликнинг чиқиб кетишида муайян йўналиш бўлмайди. Бу зонанинг тартибсиз йўналган кристаллардан иборат эканлигининг сабаби ана шу. Тенг ўқли кристаллар зонасида кристалланиш марказлари вазифасини, одатда, суюқ металлдаги жуда майда ҳар хил қўшилмалар ўтайди.

Қуйманинг энг зич зонаси иккинчи зона бўлиб, унинг механик хоссалари энг юқоридир, аммо қуйма босим билан ишланганда узунчоқ кристалларнинг туташган жойлари пластик деформацияга энг кам

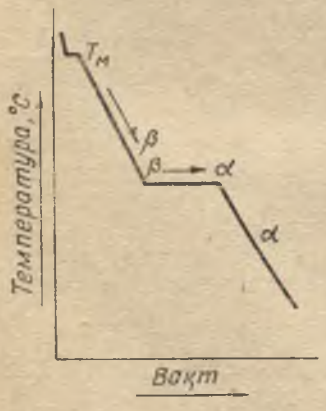
қаршилик кўрсатади ва металл ана шу жойларидан ёрилади, чунки узунчоқ кристалларнинг чегараларида қўшимчалар бўлади. Бинобарин, босим билан ишланадиган қуймаларда узунчоқ кристаллардан иборат зонанинг бўлиши номақбулдир.

Қуймада зоналар ҳажмини ўзгартириш мумкин, бунинг учун, асосан, суюқ металлнинг совиш тезлиги ўзгартирилади: совиш тезлиги қанчалик паст бўлса, узунчоқ кристаллар зонасининг ҳажми шунчалик кичик бўлади.

Маълумки, суюқ металлнинг ҳажми қотган (кристалланган) металлнинг ҳажмидан катта бўлади, бинобарин, қолипга қуйилган суюқ металл қота борган сари унинг ҳажми кичраяди, натижада чўкиш бўшлиқлари деб аталадиган бўшлиқлар ҳосил бўлади. Бундан ташқари, суюқ металлда эриган газлар металл қотганда (кристалланганда) ажралиб чиқиб, ғоваклар ёки чиқиб кета олмай газ пуфаклари ҳосил қилади. Чўкиш бўшлиқлари, ғоваклар ва газ пуфаклари қуйманинг нуқсонларидир, улар, шароитга қараб, қуйманинг тепа қисмида ёки бутун ҳажмига тарқалган ҳолда бўлиши мумкин. Яхши чучитилган, яъни оксидсизлантирилган (қайнамайдиган) пўлат қуймасида чўкиш бўшлиғи қуйманинг юқориги қисмида, яхши чучитилмаган (қайновчи) пўлат қуймасида эса чўкиш бўшлиғи ва газ пуфаклари қуйманинг бутун ҳажмига тарқалган ҳолда бўлади.

Иккиламчи кристалланиш. Қаттиқ ҳолатдаги металлар кристалл панжараларининг ўзгариши *иккиламчи кристалланиш* ёки *қайта кристалланиш* деб аталади. Қаттиқ ҳолатдаги металларда бўладиган ўзгаришлар жумласига юқорида айтиб ўтилган аллотропия ҳодисаси киради. Аллотропия ҳодисаси Д. И. Менделеев даврий системасининг қўшимча группача металлари ва баъзи бошқа металлар орасида энг кўп тарқалган. Темир, қалай, титан, марганец, кобальт ва бошқа металлар ана шулар жумласидандир.

Барқарор ва, демак, реал мавжуд бўла оладиган панжара эркин энергия запаси энг кам панжарадир. Масалан, қаттиқ ҳолатда литий, калий, цезий, вольфрам ва бошқа металларнинг кристалл панжараси ҳажми марказлашган куб, кальций, кумуш, олтин, платина ва бошқа металларнинг кристалл панжараси ёқларп марказлашган куб, бериллий, цирконий ва баъзи бошқа металларники эса гексагонал панжаралардир. Аммо бир қатор ҳолларда температура ва босимнинг ўзгариши билан айни бир металлнинг кристалл панжараси ҳам ўзгаради, яъни у қайта кристалланади. Масалан, темирнинг кристалл панжараси ҳажмп марказлашган куб бўлиши ҳам, ёқлари марказлашган куб бўлиши ҳам мумкин ва ҳоказо.



26- расм. Қайта кристалланишда металлнинг совиш эгри чизиғи.

Амалий металлшунослик учун, асосан, температуранинг ўзгариши натижасида келиб чиқадиган шакл ўзгаришлар муҳим аҳамиятга эга, чунки босимнинг озроқ ўзгариши, амалда, аллотропик шакл ўзгаришга олиб бормайди.

Қиздирилган металлнинг аллотропик шакл ўзгариши билан боғлиқ бўлган қайта кристалланиш вақтида ўзгармас температурада иссиқлик ютилади, совитилганда эса, назарий жиҳатдан олганда, қиздирилгандаги каби ўзгармас температурада иссиқлик ажралиб чиқади. Қайта кристалланишда металлнинг совиш эгри чизиғи 26-расмда тасвирланган.

Аллотропик шакл ўзгаришлар учун кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги билан ўта совиш даражаси орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар шакли ҳам суюқ ҳолатдан кристалланишдаги каби бўлади.

Металларда бўладиган аллотропик шакл ўзгаришларнинг аҳамияти катта, чунки ҳар хил модификацияда бўла оладиган металларнинг хоссалари аллотропик шакл ўзгаришларга кўп даражада боғлиқдир. Масалан, темирнинг ҳар хил шакл ўзгаришларининг физикавий хоссалари турлича бўлади: γ-темирнинг кристалл панжараси α-темирникига қараганда анча ихчам ва анча зич бўлади. Шунинг учун γ-темирнинг α-темирга айланишида ҳажм ўзгаради. Бу эса металлда структура кучланишлари ҳосил бўлишига олиб келади. Бундан ташқари, углероднинг α-темирда эрувчанлиги билан γ-темирда эрувчанлиги орасида ҳам фарқ бор. α-темирда кўпи билан 0,02% углерод эриса, γ-темирда 2,14% углерод эрийди; α-темирда магнитланиш хусусияти бўлса, γ-темирда бундай хусусият бўлмайди ва ҳоказо.

Яна бир мисол келтирайлик. Қалай икки хил модификацияда бўла олади. Қалайнинг аллотропик шакл ўзгаришларидан бири кул ранг қалай, иккинчиси эса оқ қалайдир. 18°С дан паст температурада қалайнинг α-модификацияси (кул ранг қалай), 18°С дан юқори температурада эса β-модификацияси (оқ қалай) мавжуд бўлади. α-қалайнинг кристалл панжараси ҳажми марказлашган тетрагонал панжара бўлиб, координацион сони 6 га тенг, β-қалайнинг кристалл панжараси олмос типидаги куб панжара бўлиб, координацион сони 4 га тенгдир. β-қалайнинг кристалл панжараси α-қалайникига қараганда анча зич (компакт), шунинг учун β-қалайнинг α-қалайга айланишида β-қалай сиртида α-қалайнинг кукунлари ҳосил бўлади, бу ҳодиса «қалай вабоси» деб аталади. β-қалайнинг α-қалайга айланиш тезлиги тахминан — 30°С гача ўта совитилганда энг катта қийматига эришади. Шунинг учун қалай — 30°С дан паст температураларда сақланганда «қалай вабоси» хавфи кучаяди.

II БОБ

МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК, МЕХАНИК ҲАМДА ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

А. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК ХОССАЛАРИ

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги, иссиқ ўтказувчанлиги, электр ўтказувчанлиги ва шу каби хоссалари уларнинг *физик хоссалари* дейилади.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги. Жисм оғирлигининг ҳажмига нисбати шу жисмнинг *солиштирма оғирлиги деб* аталади ва d* ҳарфи билан белгиланади:

$$d = \frac{G}{V} \; Мн/м^3 \; (10^{-2} Г/см^3) \qquad (1)$$

бу ерда d — жисмнинг солиштирма оғирлиги, $Мн/м^3$ ҳисобида;
G — жисмнинг оғирлиги, $Мн$ ҳисобида;
V — жисмнинг ҳажми, $м^3$ ҳисобида.

Металл ва қотишмаларнинг кенгайиш коэффициентлари. Кенгайиш коэффициентлари ишлаш вақтида қизийдиган деталларни ҳисоблашда катта аҳамиятга эга. Металл ва қотишмалар ҳам, худди бошқа жисмлар каби, қиздирилганда кенгаяди. l узунликдаги металл Δt°C қиздирилганда узунлигининг ортиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \; м \cdot град \; (10^{-3} мм \cdot град) \qquad (2)$$

бу ерда Δl — металл узунлигининг ортиши, $м \cdot град$ ҳисобида;
α — пропорционаллик коэффициенти;
l — қиздирилмасдан олдинги узунлиги;
Δt — температуранинг ортиши, °С ҳисобида.

(2) формуладан:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta t} \; град^{-1} \qquad (2\text{ а})$$

бўлади. Пропорционаллик коэффициенти (α) *чизиқли кенгайиш коэффициенти* деб ҳам юритилади.

Ҳажмий кенгайиш коэффициенти (β) қуйидаги муносабатдан тақрибан ҳисоблаб топилади; металл 1°С қиздирилганда ҳажм бирлигининг ортишини бундай ёзиш мумкин:

$$1 + \beta = (1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^3. \qquad (3)$$

Бу тенгламадаги $3\alpha^2$ ва α^3 жуда кичик миқдорлар бўлганлиги учун уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, шу сабабли (3) тенгламани бундай ёза оламиз:

$$\beta \approx 3\alpha. \qquad (3\text{ а})$$

бу ерда α — чизиқли кенгайиш коэффициенти;
β — ҳажмий кенгайиш коэффициенти.

Металл ва қотишмаларнинг суюқланишида улар ҳажмининг ўзгариш коэффициенти. Бу коэффициент қуйиш ишида катта аҳамиятга эга. Металл суюқланиш температурасигача қиздирилганда у суюқланади, бунда унинг ҳажми бирданига ўзгаради (27-расм). Суюқланиш вақтида металл ҳажмининг ўзгаришини ΔV билан, металл-

*СИ системасида d ўрнига γ ишлатилади.

нинг суюқланишдан олдинги ҳажмини V билан белгилайлик. ΔV нинг V га нисбати *суюқланиш вақтида металл ҳажмининг ўзгариш коэффициенти* деб аталади ва γ билан белгиланади:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V}. \qquad (4)$$

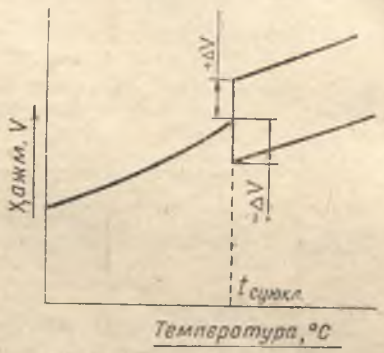
Бу нисбатни % билан ифодаласак, қуйидагича бўлади:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100\%. \qquad (4\text{ а})$$

Металл ёки қотишма қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтишида унинг ҳажми кенгайса, γ нинг қиймати мусбат, агар торайса, γ нинг қиймати манфий бўлади.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма иссиқлик сиғими. 1 *кг* металлни 1°С иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори *шу металлнинг солиштирма иссиқлик сиғими* деб аталади ва C ҳарфи билан белгиланади. Иссиқлик сиғими *кж/кг · град* (4^{-1} *кал/г·град*) билан ўлчанади.

Металл ва қотишмалар иссиқлик сиғимининг қиймати уларни термик ишлаш, болғалаш, штамплаш ва прокатлаш учун қиздиришда сарф этиладиган иссиқлик миқдорини ҳисоблашда эътиборга олинади. Шуни назарда тутиш керакки, солиштирма иссиқлик сиғимининг ўзгариши натижасида пўлат буюмни ҳар хил температураларда маълум градус қиздириш учун сарф қилинадиган иссиқлик миқдори бир хил бўлмайди, масалан, юқори температуралар оралиғида қиздириш учун паст температуралар оралиғида қиздиришдагига қараганда тахминан бир ярим баравар ортиқ иссиқлик сарф қилинади.



27- расм. Суюқланиш вақтида металл ҳажмининг температурага қараб ўзгаришини кўрсатувчи график.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма иссиқ ўтказувчанлиги. Металлнинг бир-биридан 1 *см* оралиқда турган ва ҳар бирининг юзи 1 *см*^{2} дан бўлган иккита майдонча орасида 1 *сек* давомида ўтказилган иссиқлик миқдори *шу металлнинг солиштирма иссиқ ўтказувчанлиги* дейилади ва λ билан белгиланади. Солиштирма иссиқ ўтказувчанлик *вт/м. град* ($\frac{1}{420}$ *кал/см·сек·град*) билан ўлчанади.

Металларнинг иссиқ ўтказувчанлиги температура кўтарилган сари пасаяди:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \alpha t), \qquad (5)$$

бу ерда λ_t — металлнинг t °С даги иссиқ ўтказувчанлиги;
λ_0 — шу металлнинг нормал температурадаги иссиқ ўтказувчанлиги;
α — иссиқ ўтказувчанликнинг температура коэффициенти;
t — температура.

α нинг қиймати манфий бўлади. Масалан, темир учун 0 дан 600°С гача бўлган температураларда α нинг қиймати — 5,8 10^{-3}га тенгдир. Темирнинг нормал температурадаги иссиқ ўтказувчанлиги 54,6 *вт/м·град* (0,13 *кал/см · сек · град*) га тенг, унинг 600°С даги иссиқ ўтказувчанлиги эса: $\lambda_{600^\circ} = 45{,}7$ *вт/м·град* (0,085 *кал/см · сек · град*) бўлади.

Металл ва қотишмаларнинг иссиқ ўтказувчанлиги уларни қиздириш режимини танлашда ҳисобга олиниши керак.

Пўлатнинг иссиқ ўтказувчанлиги унинг химиявий таркибига боғлиқ бўлади. Пўлат таркибидаги ҳамма қўшимчалар унинг иссиқ ўтказувчанлигини пасайтиради.

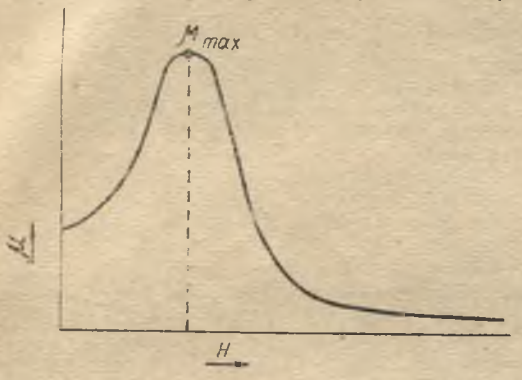
Металл ва қотишмаларнинг магнит хоссалари. Металл ва қотишмаларнинг магнит хоссаларини аниқлаш учун улар магнит майдонига киритилади. Кучланганлиги H бўлган магнит майдонига киритилган бирор металл ёки қотишма намунасида ҳам майдон ҳосил бўлади. Шу намунадаги майдоннинг кучланганлиги (B) билан ташқи майдоннинг кучланганлиги (H) орасида қуйидагича боғланиш бор:

$$B = \mu H, \qquad (6)$$

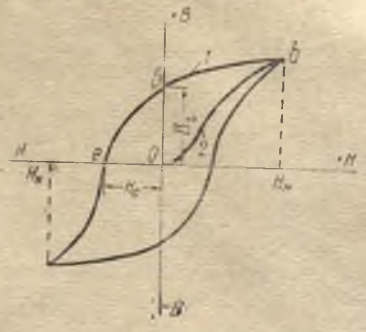
бу ерда B — магнит майдонига киритилган намунадаги майдоннинг кучланганлиги (магнит индукцияси), гаусс (*гс*) ҳисобида;
μ — коэффициент;
H — ташқи майдоннинг кучланганлиги, эрстед (*э*) ҳисобида.

μ коэффициент *магнит киритувчанлик* деб аталади. Магнит киритувчанлигининг қийматига кўра, металлар (қотишмалар) парамагнит металлар билан диамагнит металларга бўлинади. Парамагнит металлар учун $\mu > 1$, диамагнит металллар учун эса $\mu < 1$ бўлади.

Шундай металл ва қотишмалар борки, уларнинг магнит киритувчанлиги (μ) ташқи майдоннинг кучланганлигига боғлиқ бўлиб, бир неча минг бирликка етиши мумкин. Бу металл ва қотишмалар ферромагнит металлар группасига киради. Fe, Co, Ni ва баъзи қотишмалар ферромагнит металлардир. Ферромагнит металлар магнит киритувчанлигининг ташқи майдон кучланганлигига қараб ўзгариш эгри чизиғи 28- расмда тасвирланган.



28- расм. Ферромагнит металлар магнит киритувчанлигининг ташқи майдон кучланганлигига қараб ўзгариш эгри чизиғи

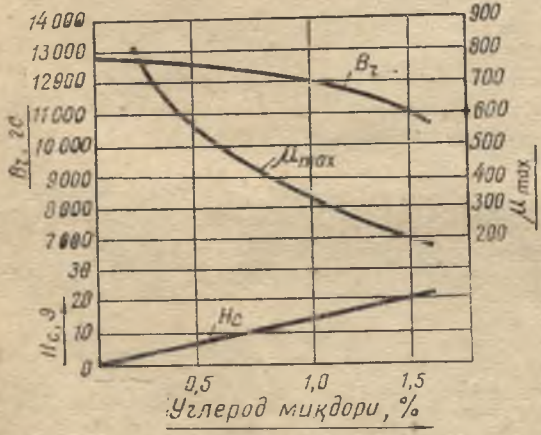


29- расм. Ферромагнит металларнинг магнитланиш эгри чизиғи:

1 — гистерезис сиртмоғи; 2 — бирламчи эгри чизиқ

Ташқи магнит майдони кучланганлиги билан ферромагнит металлдаги магнит индукцияси орасида маълум боғланиш бор. Ана шундай боғланиш диаграммаси 29- расмда тасвирланган.

29- расмдаги диаграммадан яққол кўриниб турибдики, ташқи майдоннинг кучланганлиги нолдан $H_н$ гача ортган сари ферромагнит металлдаги майдоннинг кучланганлиги *Ob* эгри чизиғи бўйлаб кўтарилади. Ташқи майдон олингандан кейин металлнинг магнитланганлиги сақланиб қолади ва, шунинг учун, металлдаги магнит майдонининг кучланганлиги нолга тенг бўлмайди, аммо *bв* чизиғи бўйлаб, $B_т$ гача пасаяди. Ферромагнит металлдаги майдон кучланганлигининг бу қиймати *қолдиқ магнит индукцияси* деб аталади.



30- расм. Юмшатилган пўлат магнит хоссаларининг шу пўлат таркибидаги углерод миқдорига қараб ўзгариши.

Ферромагнит металлни магнитсизлантириш учун у тескари ишорали магнит майдонига киритилиши керак. Тескари (минус) ишорали ташқи майдоннинг кучланганлиги орта борса, металлдаги қолдиқ магнит индукцияси *в*е чизиғи бўйлаб камая боради ва тескари ишорали майдоннинг кучланганлиги H_c қийматга етганда ноль бўлиб қолади. Тескари ишорали майдоннинг ана шу кучланганлиги *коэрцитив* куч* деб аталади.

Қолдиқ магнит индукцияси ($B_т$) ва коэрцитив куч (H_c) ферромагнит металларнинг магнит хоссаларини акс эттиради.

Юмшатилган пўлатнинг магнит хоссалари шу пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлади. Юмшатилган пўлат магнит хоссаларининг шу пўлат таркибидаги углерод миқдорига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 30- расмда тасвирланган.

30- расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, пўлат таркибидаги углерод миқдори ортиб борган сари пўлатнинг магнит киритувчанлиги тез пасаяди, қолдиқ магнит индукцияси секинроқ пасаяди, коэрцитив куч эса кўтарилади. Бинобарин, доимий

* «*Коэрцитив*» сўзи латинча «*коэрцито*» сўзидан олинган бўлиб, унинг маъноси «*ушлаб туриш*» демакдир.

магнитлар учун кўп углеродли пўлатлар, ўзак, трансформатор ва генераторлар учун эса кам углеродли пўлатлар ишлатилиши керак.

Металл ва қотишмаларнинг электр хоссалари. Металларнинг электр хоссаларини уларнинг солиштирма электр қаршилиги характерлайди. Узунлиги 1 *м* ва кўндаланг кесим юзи 1 *мм*^{2} бўлган симнинг қаршилиги *унинг солиштирма электр қаршилиги* деб аталади ва ρ* билан белгиланади. Солиштирма электр қаршилик қуйидаги формуладан топилади:

$$\rho = \frac{r}{l} s \quad ом \cdot м \quad (10^6 \; ом \cdot мм^2/м)$$

бу ерда ρ — солиштирма электр қаршилиги, *ом* · *м* ҳисобида;
r — электр қаршилиги, *ом* ҳисобида;
s — ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи, *м*^{2} ҳисобида.

Техникада электр ва радиотехника материалларининг солиштирма қаршилиги, кўпинча, *ом* · *мм*^{2}/*м* билан ўлчанади (1 *ом* · *мм*^{2}/*м* = 10^{-6} *ом* · *м*). Металл ва қотишмаларнинг электр хоссаларини характерлаш учун, кўпинча, солиштирма электр қаршиликка тескари катталикдан, яъни $\frac{1}{\rho}$ дан фойдаланилади. Бу катталик *солиштирма ўтказувчанлик* ёки *солиштирма электр ўтказувчанлик* деб аталади.

Техникада ишлатиладиган металл ва қотишмаларнинг электр хоссалари ҳар хил бўлади. Масалан, электр симлари электр ўтказувчанлиги мумкин қадар катта бўлган металлардан, реостат ва бошқалар эса солиштирма электр қаршилиги имкони борича катта бўлган металлардан тайёрланади. Қаттиқ эритмалар ҳосил қилувчи металлар қотишмаларининг солиштирма электр қаршилиги катта бўлади. Аммо реостат каби асбоблар тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишманинг солиштирма қаршилиги катта бўлишининг ўзигина кифоя қилмайди, бундай қотишма қизиганда ўзининг электр қаршилигини сақлаб қола оладиган бўлиши ҳам керак. Металларнинг юқори температуралардаги солиштирма электр қаршилиги температурага боғлиқ бўлиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

бу ерда ρ_t — металлнинг t температурадаги солиштирма қаршилиги;
ρ_0 — унинг 0°С даги солиштирма қаршилиги;
α — температура коэффициенти;
t — температура.

Кўпчилик тоза металлар учун α нинг қиймати $4 \cdot 10^{-3}$ га тенг.

В. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ МЕХАНИК ХОССАЛАРИ

Маълумки, машина деталларига ёки конструкция элементларига ташқи кучлар (нагрузкалар) хилма-хил тарзда таъсир этади. Масалан, тўсинларга эгувчи кучлар, ҳар хил валларга буровчи кучлар (моментлар), двигатель шатунларига сиқувчи кучлар, транспорт воситаларининг тиркамаларига эса чўзувчи кучлар таъсир этади ва ҳоказо. Бинобарин, машина деталлари ва конструкция элементлари ана шу кучларга бардош берадиган материаллардан тайёрланиши керак.

Машина деталлари ва конструкция элементларига ташқи кучлар уч хил тарзда: статик тарзда, динамик тарзда ва ўзгарувчан тарзда таъсир этиши мумкин.

Бир текисда таъсир этувчи нагрузка *статик нагрузка* деб, зарб билан таъсир этувчи нагрузка *динамик нагрузка* деб, таъсир этиш кучи ўзгариб турадиган нагрузка эса *ўзгарувчан нагрузка* деб аталади. Ўзгарувчан нагрузка нолдан маълум миқдоргача ошиб бориб, яна нолга тушиши, шунингдек, чўзувчи таъсир этиб, сўнгра сиқувчи таъсир этишга ўтиши мумкин.

Металл ва қотишмаларнинг ташқи кучлар таъсирига қаршилик кўрсатиш хусусияти *уларнинг механик хоссалари* деб аталади. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари ҳар хил кучлар таъсирида синаб кўрилади.

Металл ва қотишмаларга кучларнинг қандай таъсир этишига қараб, уларнинг чўзилишдаги, сиқилишдаги, эгилишдаги, буралишдаги, зарб таъсиридаги пухталиги (мустаҳкамлиги), шунингдек, толиқиш чегараси аниқланади.

1-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЧЎЗИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг чўзилишдаги мустаҳкамлигини синашда уларнинг эластиклик чегараси, пропорционаллик чегараси, эластиклик модули, оқувчанлик чегараси, мустаҳкамлик чегараси, нисбий узайиши ва нисбий торайиши (ингичкаланиши) аниқланади.

* СИ системасида ρ ўрнига ϱ ишлатилади.

Намунада қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтига тўғри келадиган кучланиш *эластиклик чегараси* деб аталади ва $\sigma_э$ билан белгиланади:

$$\sigma_э = \frac{P_э}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_э$ — эластиклик чегарасига тўғри келган нагрузка, *Мн* ҳисобида;

F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

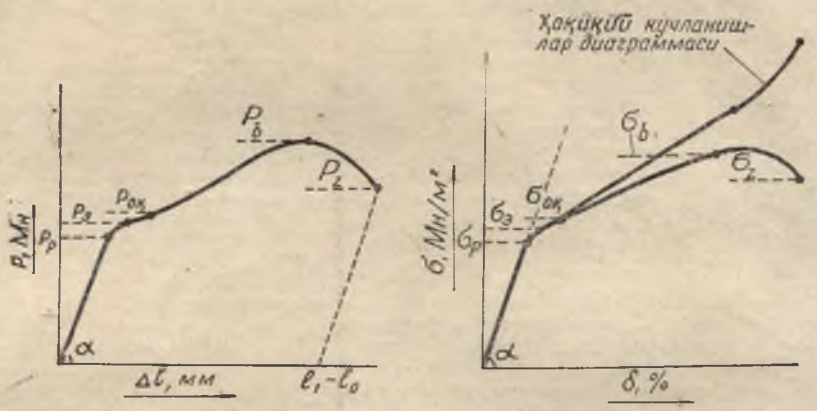
Намунанинг узайиши билан кучланиш орасидаги пропорционалликнинг бузилиш пайтига тўғри келган кучланиш *пропорционаллик чегараси* деб аталади ва $\sigma_р$ билан белгиланади:

$$\sigma_р = \frac{P_р}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_р$ — пропорционаллик чегарасига тўғри келган нагрузка, *Мн* ҳисобида;

F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, пропорционаллик чегарасининг қиймати билан эластиклик чегарасининг қиймати намуна деформациясининг қанчалик аниқ ўлчанишига кўп даража-



а *б*

31- расм. Чўзиш ва кучланиш диаграммалари:

а — чўзиш диаграммаси; *б* — чўзишда кучланишлар диаграммаси ва ҳақиқий кучланишлар диаграммаси.

да боғлиқдир. Қолдиқ деформация ўлчаб бўладиган бирор қийматга, масалан, намуна узунлигининг 0,001, 0,002, 0,003, 0,005 ва ҳоказо процентига етгандагина шу қолдиқ деформация пайдо бўлганлиги қайд қилиниши мумкин. Қолдиқ деформациянинг ўлчаб бўладиган бу қиймати қанча кичик бўлса, яъни деформация қанчалик аниқ ўлчанса, шу деформацияни вужудга келтирган кучланиш—пропорционаллик чегараси ва эластиклик чегараси шунчалик кичик бўлади.

Намунани чўзилишга синаш вақтида шу намуна узунлигининг ва таъсир эттирилаётган кучнинг ўзгаришини диаграмма чизувчи махсус асбоб автоматик равишда қайд қилиб боради. Асбоб чизиб олган ана шундай диаграммалардан бири 31- расм, *а* да тасвирланган.

Чўзиш диаграммасида ординаталар ўқига нагрузка (P) қийматлари, абсциссалар ўкига эса абсолют узайиш (Δl) қийматлари қўйилади.

Дастлаб, намунанинг узайиши нагрузкага пропорционал равишда боради, яъни намунанинг узайиши билан нагрузка орасидаги боғланиш тўғри чизиқ билан ифодаланади, бу пропорционаллик нагрузканинг $P_р$ қийматигача — пропорционаллик чегарасигача давом этади. Пропорционаллик чегарасигача *Гук қонуни* ўз кучини сақлайди:

$$\sigma = E \cdot \delta,$$

бу ерда σ — чўзиш вақтидаги нормал кучланиш;

δ — нисбий узайиш;

E — пропорционаллик коэффициенти (эластиклик модули).

Юқоридаги муносабатдан эластиклик модулини топамиз:

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = \frac{\sigma \cdot l_0}{\Delta l}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2).$$

Бинобарин, нормал кучланишнинг эластик нисбий узайишга бўлган нисбатига сон жиҳатидан тенг катталик *эластиклик модули* деб аталади.

Диатрамманинг кучланишлар пропорционэл ўзгарадиган қисми абсциссалар ўқи билан α бурчак ҳосил қилганлигидан (31-расмга қаранг):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sigma}{\delta}$$

бўлади, демак, эластиклик модулини график тарзда қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$E = \operatorname{tg}\alpha.$$

Пропорционаллик чегарасигача намунада фақат эластик деформация содир бўлади. Агар нагрузка олинса, намуна дастлабки ҳолатига қайтади. Нагрузка P_p қийматидан оширилса, намунанинг узайиши билан кучланиш орасидаги пропорционаллик бузилиб, намунада қолдиқ деформация пайдо бўлади. Намунада ана шундай қолдиқ деформация ҳосил қиладиган нагрузка эластиклик чегараси нагрузкаси ($P_э$) деб аталади. Эластиклик чегарасида қолдиқ деформация қиймати жуда кичик (намуна дастлабки узунлигининг 0,005 процентигача) бўлганлигидан $P_э$ нагрузка P_p нагрузкага жуда яқин туради (31-расмга қаранг).

Нагрузканинг қиймати $P_э$ дан оширилса, эгри чизиқ ўнг томонга анча оғиб, сўнгра деярли горизонтал вазиятга келади, бу ҳол намунанинг чўзувчи куч таъсир этмаса ҳам узая боришини кўрсатади. Бунда намуна гўё оқади, шунинг учун эгри чизиқнинг ана шу горизонтал қисмига тўғри келадиган нагрузка *оқувчанлик чегарасидаги нагрузка* ($P_{ок}$) деб аталади. Агар намунани чўзишда эгри чизиқда горизонтал қисм ҳосил бўлмаса, намуна дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг қолдиқ деформация ҳосил қиладиган нагрузка оқувчанлик чегарасидаги нагрузка деб қабул қилинади ва $P_{0,2}$ билан белгиланади.

Оқувчанлик чегарасидаги нагрузканинг намуна кўндаланг кесим юзига нисбати шу намуна *оқувчанлигининг физик чегараси* дейилади ва $\sigma_{ок}$ билан белгиланади:

$$\sigma_{ок} = \frac{P_{ок}}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_{ок}$ — оқувчанлик чегарасидаги нагрузка, *Мн* ҳисобида;

F_0 — намуна кўндаланг кесимининг юзи, $м^2$ ҳисобида.

Намунанинг қолдиқ узайиши дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг бўлган пайтга тўғри келувчи кучланиш *оқувчанликнинг шартли чегараси* деб аталади ва $\sigma_{0,2}$ билан белгиланади:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_{0,2}$ — намунанинг қолдиқ узайиши дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг бўлган пайтга тўғри келувчи нагрузка, *Мн* ҳисобида;

F_0 — намуна кўндаланг кесимининг юзи, $м^2$ ҳисобида.

Оқувчанлик чегарасидан сўнг металлнинг кучланиши ўзининг энг юқори қийматига етади. Кучланишнинг ана шу қийматидаги нагрузка *мустаҳкамлик чегарасидаги нагрузка* деб аталади ва P_b билан белгиланади (31-расмга қаранг). Нагрузка P_b қийматига етгач намунада бўйин ҳосил бўла бошлайди, бунинг натижасида нагрузка пасая боради. Ниҳоят, нагрузканинг қиймати P_z га тушганда намуна узилади. Нагрузканинг ана шу қиймати (P_z) намунанинг *узилиш пайтидаги нагрузка* деб аталади.

Мустаҳкамлик чегарасидаги нагрузканинг нагрузка таъсир эттирилишидан олдинги кўндаланг кесим юзига нисбати *мустаҳкамлик чегараси* деб аталади ва σ_b билан белгиланади:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2),$$

бу ерда P_b — намунага таъсир этган энг катта нагрузка, *Мн* ҳисобида:

F_0 — намунанинг нагрузка таъсир эттирилишидан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

Намунанинг узилишга кўрсатган ҳақиқий қаршилиги, бошқача айтганда, мустаҳкамлигининг ҳақиқий чегараси (σ_z) қуйидаги формуладан топилади:

$$\sigma_z = \frac{P_z}{F_б}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2),$$

бу ерда P_z — намунанинг узилиши пайтидаги нагрузка, *Мн* ҳисобида;

$F_б$ — намуна бўйнининг* узилгандан кейинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

---

* Намунанинг нагрузка таъсирида энг ингичкалашган жойи бўйин дейилади.

Бинобарин, $\frac{P_z}{F\delta}$ нисбатан намунанинг *узилишга кўрсатган ҳақиқий қаршилиги* ёки *мустаҳкамлигининг ҳақиқий чегараси* деб аталади.

Намуна чўзилганда унинг бўйи узайиб, кўндаланг кесим юзи кичраяди.

Металл ёки қотишманинг пластиклигини иккита катталик: нисбий узайиш ва нисбий торайиш деб аталадиган катталиклар акс эттиради.

Намунанинг нисбий узайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда δ — намунанинг нисбий узайиши, % ҳисобида;

l_1 — намунанинг синашдан кейинги узунлиги;

l_0 — унинг синашдан олдинги узунлиги.

Бинобарин, % ҳисобида ифодаланган $\frac{l - l_0}{l_0}$ нисбат *нисбий узайиш* деб аталади.

Намунанинг нисбий торайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\varphi = \frac{F_0 - F_6}{F_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда φ — намунанинг нисбий торайиши, % ҳисобида;

F_0 — намуна кўндаланг кесимининг синашдан олдинги юзи;

F_6 — унинг (бўйиннинг) синашдан кейинги юзи.

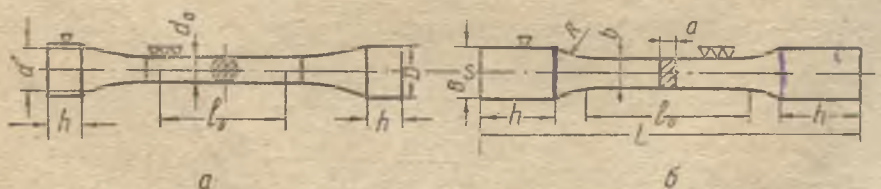
Демак, % ҳисобида ифодаланган $\frac{F_0 - F_6}{F_0}$ нисбат *нисбий торайиш* деб аталади.

$P - \Delta l$ координаталарида тузилган диаграмманинг характери намунанинг ўлчамларига боғлиқ бўлади. Агар диаграмма $\sigma - \delta$ координаталарида тузилса (31- расм, *б*), диаграмманинг характери намуна ўлчамларига боғлиқ бўлмайди. 31- расмдан яққол кўриниб турибдики, чўзилиш эгри чизиғининг характери иккала диаграммада ҳам бир хил.

31- расм, *а* да келтирилган диаграммадан кучланиш ўзининг энг юқори қийматига етгандан кейин пасая боради, яъни намунанинг пухталиги камаяди деган хулоса келиб чиқади, аммо аслида бундай бўлмайди, шу сабабли 31- расм, *а* да келтирилган диаграмма, айниқса, унинг $P_{оқ}$ нуқтадан кейинги қисми шартлидир. Агар нагрузка ортиши билан намуна кўндаланг кесимининг кичрайиб бориши назарда тутилиб, нагрузка намуна кўндаланг кесимининг юзига нисбатан олинса, чўзилиш эгри чизиғи бўйин ҳосил бўла бошлагандан кейин пасаймай, балки кўтарилади, ҳосил бўлган диаграмма эса ҳақиқий кучланишлар диаграммаси бўлади (31- расм, *б*).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, ҳақиқий диаграмма тузиш жуда қийин ишдир, чунки бундай диаграмма тузиш учун нагрузка таъсир қилаётган ҳар қайси пайт учун намуна кўндаланг кесимининг юзини ўлчаб бориш зарур бўлади, бу эса осон иш эмас. Шу сабабли, чўзилишнинг шартли диаграммаларидан фойдаланилади.

Синалиши керак бўлган материалдан чўзилишга синаш учун маълум шаклда ва ўлчамда қилиб, доиравий кесимли (цилиндрик) ёки ясси намуналар таёрланади; намуналарнинг шакли ва ўлчамлари ГОСТ да белгиланган бўлади. Доиравий кесимли намуналар (32- расм,*а*) токарлик станогида, ясси намуналар (32- расм,*б*) эса фрезерлаш станогида ясалади. Намуналар нормал ва пропорционал намуналарга бўлинади. Нормал ва пропорционал намуналар узун ҳам қисқа ҳам бўлиши мумкин.

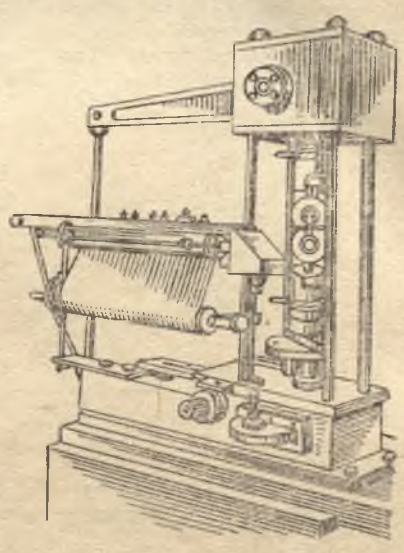


32- расм. Чўзилишга синаш учун ишлатиладиган стандарт намуналар (ГОСТ 2055-43):

а — доиравий кесимли намуна; *б* — ясси намуна; *h* — каллагининг узунлиги; *a* — ясси намунанинг қалинлиги; *b* — ясси намунанинг эни; *L* — ясси намунанинг умумий узунлиги; *R* — юмалоқлаш радиуси; d_0 — доиравий кесимли намунанинг диаметри; *D* — доиравий кесимли намуна каллагининг диаметри; l_0 — ҳисоблаш (иш) узунлиги; *E* — ясси намуна каллагининг эни; *d'* — конус асосининг диаметри.

Доиравий кесимли нормал намунанинг диаметри 20 *мм*, кўндаланг кесим юзи эса 314 *мм* қилинади; узун намунанинг бўйи 200 *мм*, қисқа намунанинг бўйи эса 100 *мм* бўлади. Узун намуна бўйининг диаметрига нисбати 10, қисқа намуна бўйининг диаметрига нисбати 5 бўлганлигидан, синаш натижасида аниқланган нисбий узайиш узун намуна учун δ_{10} билан, қисқа намуна учун эса δ_5 билан белгиланади.

Ясси нормал намуна кўндаланг кесимининг юзи худди доиравий кесимли намунаники каби бўлади. Ясси намуна қалинлигининг энига нисбати ихтиёрийдир. Ясси намунанинг қалинлиги чала фабрикатнинг қалинлигидек бўлади. Агар нормал намуна тайёрлаш имконияти бўлмаса, нормал намуна ўлчамларига пропорционал бўлган бошқа ўлчамли намуналар тайёрланади; бундай намуналарнинг пропорционал деб аталишига сабаб ҳам ана шу. Пропорционал намуналарнинг кўндаланг кесими ихтиёрий бўлиши мумкин, аммо иш узунлиги муайян бўлиши — узун намуна учун $l_0 = 11{,}3\sqrt{F_0}$, қисқа намуна учун эса $l_0 = 5{,}65\sqrt{F_0}$ бўлиши керак.



33- расм. ИМ-4Р типдаги универсал узиш машинасининг умумий кўриниши.

Намунани синаш олдидан унинг диаметри (агар намуна цилиндрик бўлса) ёки эни билан қалинлиги (агар намуна ясси бўлса) ўлчанади ва намунанинг иш узунлигига мэхсус машина ёрдамида ҳар 5 ёки 10 *мм* оралиқда чизиқчалар қўйиб чиқилади. Бундай қилинганда намунанинг узайишини аниқлаш қулай бўлади. Ана шу тарзда тахт қилинган намуна узиш машинасининг қисқичларига маҳкамланиб, намуна узилгунча нагрузка қўйиб борилади. Намунани узиб юборган нагрузка аниқлангандан кейин, бу нагрузка намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзига тақсим қилинса, намуна материалининг мустаҳкамлик чегараси чиқади.

Намуналарнинг чўзилишга пухталиги универсал узиш машиналарида синалади. Бундай машиналардан бирининг умумий кўриниши 33- расмда тасвирланган.

Узиш машиналарининг конструкциялари, бу машиналарда намуналарни синаш, чўзилиш диаграммасидан пропорционаллик ва оқувчанлик чегараларини ҳамда бошқа характеристикаларни аниқлаш металлшуносликдан лаборатория ишларига оид қўлланмаларда батафсил баён этилганлиги учун улар тўғрисида биз бу ерда тўхталиб ўтирмаймиз.

2- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИҚИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Одатда, сиқиш натижасида синадиган мўрт материалларнинг, масалан, чўян ва шу кабиларнингина сиқилишдаги мустаҳкамлиги синалади. Пластик материаллар, масалан, кам углеродли пўлат, мис ва бошқаларнинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди, чунки улар сиқилганда пластик деформацияланади-ю, аммо синмайди.

Чўян билан миснинг сиқилиш диаграммалари 34- расмда схема тарзида тасвирланган. Бу диаграммалардан кўриниб турибдики (34- расм, *а*), чўян диаграммасида тўғри чизиқли қисми бор, диаграмманинг ана шу қисми пропорционаллик чегарасини аниқлашга имкон беради:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0}.$$

Намунанинг емирилиш пайтига тўғри келадиган нагрузка P_b дан сиқилишга мустаҳкамлик чегарасини аниқлаш мумкин:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}.$$

34-расм, *б* даги схемадан кўриниб турибдики, сиқилиш эгри чизиғи σ ўқи билан параллел бўлишга интилади, шунинг учун пластик материалнинг сиқилишга мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди.

Намуна сиқилганда у қисқаради, намунанинг бундай қисқариши қуйидаги формуладан топилади:

$$\varepsilon_{сиқ} = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда $\varepsilon_{сиқ}$ — намунанинг сиқилишда қисқариши, % ҳисобида;
h_0 — намунанинг синашдан олдинги баландлиги, *мм* ҳисобида;
h — намунанинг сиқилгандан кейинги баландлиги, *мм* ҳисобида.

Намуна сиқилганда кўндаланг кесимининг кенгайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\varphi_{сиқ} = \frac{F - F_0}{F_0} \cdot 100\%,$$

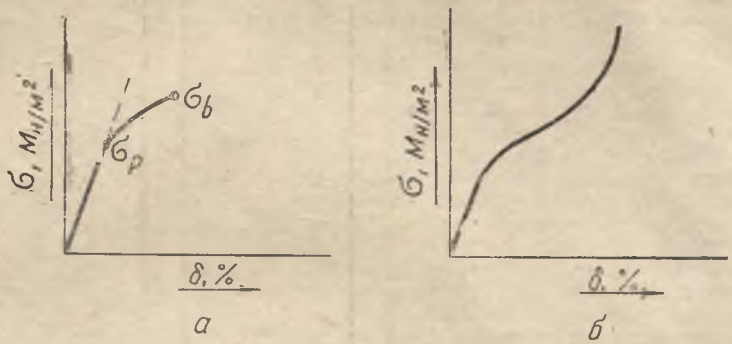
бу ерда $\varphi_{сиқ}$ — намуна сиқилганда кўндаланг кесимининг кенгайиши, % ҳисобида;

F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $мм^2$ ҳисобида;

F — намунанинг сиқилмагандан кейинги кўндаланг кесим юзи, $мм^2$ ҳисобида.

Намунани сиқилишга синаш натижалари намуна баландлиги h_0 нинг шу намуна диаметри d_0 га бўлган нисбатига боғлиқдир. Емирилишгача сиқилишга синаш учун, одатда, баландлиги диаметридан уч марта катта ($h_0 = 3d_0$) намуналар, пропорционаллик чегараси билан оқувчанлик чегарасини аниқлаш мақсадида синаш учун эса баландлиги диаметридан саккиз марта ортиқ ($h_0 = 8d_0$) намуналар ишлатилади.

Намуналарнинг сиқилишдаги пухталиги универсал узиш машиналарида синалади.



а б

34- расм. Сиқилиш диаграммаларининг схемалари:

а — мўрт материал (чўян); *б* — пластик материал (мис)

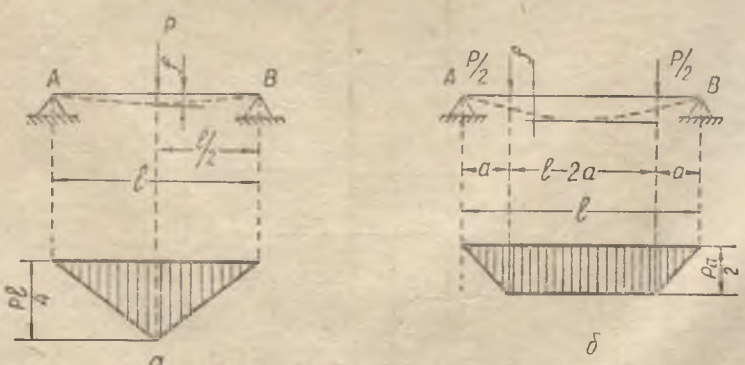
3- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЭГИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Эгилиш натижасида сезиларли даражада пластик деформацияланмай синадиган мўрт материаллар, масалан, чўян, тобланган пўлат ва бошқаларнинг эгилишдаги мустаҳкамлиги синалади. Бундай материалларни синаш натижасида уларнинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси аниқланади. Пластик материалларнинг, масалан, кам углеродли пўлат, мис ва бошқаларнинг эса эгилишдаги мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди, чунки улар ҳар қанча эгилгани билан, барибир, синмай, пластик деформацияланаверади. Пластик материаллар учун эгувчи моментларнинг тегишли салқиликларга нисбатигина аниқланади.

Эгилишдаги мустаҳкамлиги синаладиган доиравий ёки тўғри тўртбурчак кесимли намуна икки (*А* ва *В*) таянчга ўрнатилиб, унинг ўртасига (35- расм, *а*) ёки таянчлардан бир хил оралиқдаги икки нуқтасига (35- расм,*б*) нагрузка таъсир эттирилади.

Намунани 35- расм,*а* даги схема билан синашда эгувчи моментлар учбурчак қонуни асосида тақсимланади ва энг катта эгувчи момент қуйидаги формуладан топилади:

$$M_{мах} = \frac{Pl}{4} \; нм \; (10^{-1} \; кГм),$$



а б

35- расм. Намунанинг эгилишдаги мустаҳкамлигини синаш схемалари.

бу ерда P — намунага таъсир этувчи нагрузка, *н* ҳисобида;
l — икки таянч оралиғи, *м* ҳисобида.

Намунани 35- расм, *б* даги схема билан синашда эгувчи моментлар трапеция қонуни асосида тақсимланади ва энг катта эгувчи момент қуйидаги формуладан топилади:

$$M_{мах} = \frac{Pa}{2} нм \ (10^{-1} \ кГм),$$

бу ерда a — нагрузкадан тегишли таянчгача бўлган оралиқ, *м* ҳисобида.

34- расм, *б* даги схемадан кўриниб турибдики, $l = 2a$ оралиғида $M_{мах}$ ўзгармасдир.

Биринчи схемадаги эгилиш *тўпланган эгилиш* деб, иккинчи схемадаги эгилиш эса *соф эгилиш* деб аталади.

Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси қуйидаги формуладан топилади:

$$\tau_{эг} = \frac{M_{мах}}{W} Мн/м^2 \ (10^{-1} \ кГ/мм^2),$$

бу ерда $\tau_{эг}$ — эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси, $Мн/м^2$ ҳисобида;
$M_{мах}$ — энг катта эгувчи момент, $Мн \cdot м$ ҳисобида;
W — намуна кўндаланг кесимининг қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Бинобарин, энг катта эгувчи моментнинг намуна кўндаланг кесими қаршилик моментига нисбати шу намунанинг *эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси* деб аталади.

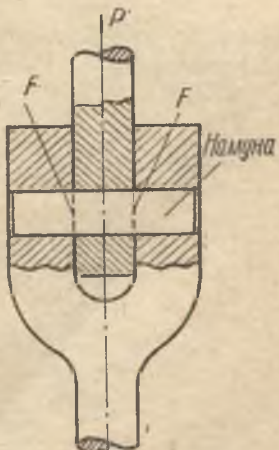
Диаметри d бўлган цилиндрик намуналар учун қаршилик моменти $W = \frac{\pi d^3}{32}$, эни b ва қалинлиги h бўлган тўғри тўртбурчак кесимли намуналар учун эса $W = \frac{bh^2}{6}$ бўлади.

Намуналарни эгилишга синашда уларнинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегарасидан ташқари, энг катта салқилик f қиймати ҳам аниқланади. Бунда махсус асбобдан фойдаланилади.

Намуналарнинг эгилишдаги пухталиги ҳам узувчи универсал машинада синалади.

4- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ҚИРҚИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синашда уларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлик чегараси аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш учун диаметри 15—20 *мм* бўлган цилиндрик намуна олиниб, махсус мосламанинг худди шундай диаметрли тешикларига киритилади (36- расм). Мослама деталлари узиш машинасининг қисқичларига маҳкамланиб, сўнгра чўзилади. Чўзиш нагрузкаси маълум қийматга етгач, намуна ўз ўқига перпендикуляр бўлган икки текислик бўйича қирқилади.



36-расм. Намунанинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш схемаси.

Намунани қирқиб юборган кучнинг қирқилган иккала кесим юзига нисбати *қирқилишдаги мустаҳкамлик чегараси* деб аталади ва $\tau_к$ билан белгиланади:

$$\tau_к = \frac{P_к}{2F} Мн/м^2 \ (10^{-1} \ кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_к$ — намунани қирқиб юборган нагрузка, *Мн* ҳисобида;
F — намуна кўндаланг кесимининг юзи, $м^2$ ҳисобида.

5- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БУРАЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Намуналарнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда пропорционаллик чегараси, эластиклик чегараси, оқувчанлик чегараси, мустаҳкамлик чегараси аниқланади.

Намунанинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда намуна кўндаланг кесимларининг диаметрлари тўғрилигича қолади ва цилиндрик шакли сақланади, синаш пайтида бўйин ҳосил бўлмайди, бу ҳол кучланишларни ва деформацияларни аниқ ҳисоблаб топишга имкон беради.

Буралишдаги пропорционаллик чегараси. Пропорционаллик бузила бошлаш пайтидаги буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги пропорционалик чегараси* деб аталади ва $\tau_р$ билан белгиланади:

$$\tau_р = \frac{M_р}{W} Мн/м^2 \ (10^{-1} \ кГ/мм^2),$$

бу ерда $M_р$ — пропорционаллик бузила бошлаш пайтидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Буралишдаги эластиклик чегараси. Қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтидаги буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги эластиклик чегараси* деб аталади ва $\tau_э$ билан белгиланади:

$$\tau_э = \frac{M_э}{W} \; Мн/м^2 \; (10^{-1} \; кГ/мм^2),$$

бу ерда $M_э$ — қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Буралишдаги оқувчанлик чегараси. Буралишдаги оқувчанлик чегараси қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$\tau_{оқ} = \frac{M_{оқ}}{W} \; Мн/м^2 \; (10^{-1} \; кГ/мм^2),$$

бу ерда $\tau_{оқ}$ — буралишдаги оқувчанлик чегараси, $Мн/м^2$ ҳисобида;
$M_{оқ}$ — оқувчанлик чегарасидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Бинобарин, тегишли буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги оқувчанлик чегараси* деб аталади.

Буралишдаги мустаҳкамлик чегараси. Энг катта буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги мустаҳкамликнинг шартли чегараси* деб аталади ва τ_b билан белгиланади:

$$\tau_b = \frac{M_b}{W} \; Мн/м^2 \; (10^{-1} \; кГ/мм^2),$$

бу ерда M_b — энг катта буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

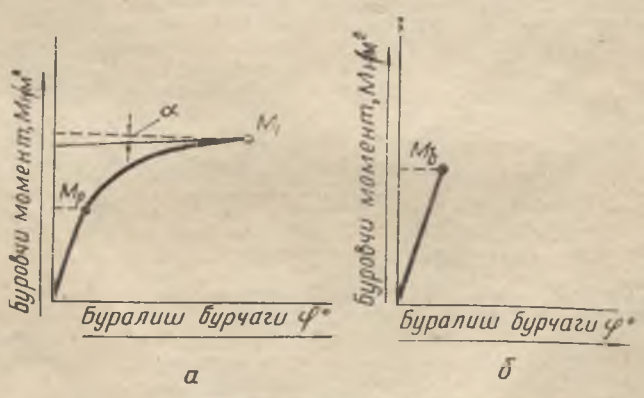
Мустаҳкамликнинг шартли чегараси дейилишига сабаб шуки, бу формуладан кучланиш Гук қонуни татбиқ қилинадиган чегараларда ҳисоблаб топилади.

Яхлит цилиндрик намуналар учун $W = \frac{\pi d^3}{16}$ бўлганлиги учун:

$$\tau = \frac{16 M}{\pi d^3}$$

бўлади. Бу формуладаги M ўрнига $M_р$ қўйилса, $\tau_р$ чиқади, $M_э$ қўйилса, $\tau_э$ чиқади, $M_{оқ}$ қўйилса, $\tau_{оқ}$ чиқади, M_b қўйилса, τ_b чиқади.

Металл ва қотишмаларнинг буралиш диаграммалари 37-расмда тасвирланган.



а *б*

37-расм. Буралиш диаграммалари:
а — пластик материал; *б* — мўрт материал.

Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда силжишдаги эластиклик модули ҳам аниқланади. Силжишдаги эластиклик модули $E_с$ билан белгиланиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$E_с = \frac{32 M l_0}{\pi d_0^4 \varphi} \; Мн/м^2 \; рад \; (10^{-1} \; кГ/мм^2 \cdot рад),$$

бу ерда M — буровчи момент, $Мн \cdot м$ ҳисобида,
l_0 — кесимлар оралиғи (намунанинг ҳисоблаш узунлиги), $м$ ҳисобида;
φ — буралиш бурчаги, *рад* ҳисобида.
d_0 — намунанинг диаметри, $м$ ҳисобида.

Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги пластиклиги нисбий максимал силжиш қиймати билан ифодаланади. Бу катталик γ_{max} билан белгиланиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$\gamma_{max} = \frac{\varphi_{max} \cdot d_0}{2 l_0} \cdot 100\%,$$

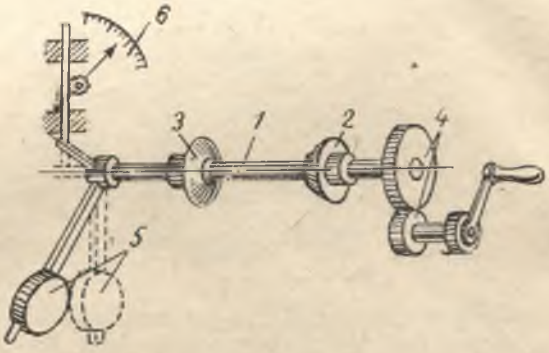
бу ерда φ_{max} — максимал буралиш бурчаги;
d_0 — намунанинг диаметри;
l_0 — намунанинг ҳисоблаш узунлиги.

Мустаҳкамликнинг ҳақиқий чегараси τ_x қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$\tau_x = \frac{4}{\pi d^3} (3M_1 + \varphi \cdot tg\alpha),$$

бу ерда α — буралиш эгри чизиғига M_1 нуқтада ўтказилган уринма билан абсцисалар ўқи орасидаги бурчак (37- расм, *а* га қаранг)

Намуналарнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синаш учун, одатда, горизонтал машиналардан фойдаланилади. Бундай машиналардан бирининг схемаси 38-расмда тасвирланган.



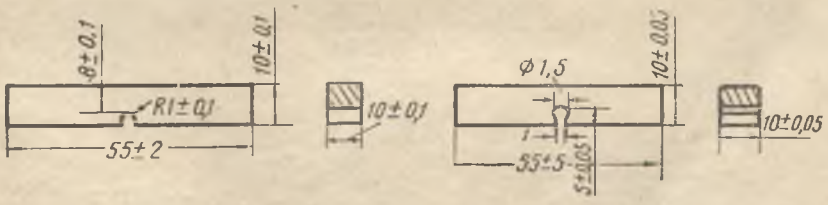
38- расм. Намуналарни буралишга синаш машинасининг схемаси:

1 — намуна; *2* ва *3* — кисқичлар; *4* — шестернялар; *5* — оғир маятник; *6* — буровчи моментларнинг $кГ \cdot м$ ҳисобидаги қиймати топиладиган шкала

6- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЗАРБИЙ ҚОВУШОҚЛИГИНИ СИНАШ

Зарбий қовушоқлиги синаладиган металл ва қотишмалардан тайёрланган намуналар жуда катта тезлик билан деформацияланиб, уларнинг мўрт ҳолатда синишга қанчалик мойиллиги аниқланади. Одатда, углеродли ва легирланган конструкцион пўлатлар зарбга синалади, чунки улар, ишлатилиш шароитига қараб, мўрт ҳолатга ўтиши мумкин. Мўрт қотишмаларни, масалан, чўян, тобланган пўлат ва бошқаларни, шунингдек, жуда пластик қотишмаларни, масалан, кам углеродли пўлатлар, бир фазали латунь ва бошқаларни зарбга синаш мақбул эмас.

Зарбга синаш учун 39-расмда кўрсатилганидек намуналар тайёрланади ва бу намуналар маятникли копёрларда (Шарпи асбобида) синалади. Бундай копёрнинг схемаси 40- расмда тасвирланган.



39- расм. Зарбий қовушоқлигини синаш учун намуналар

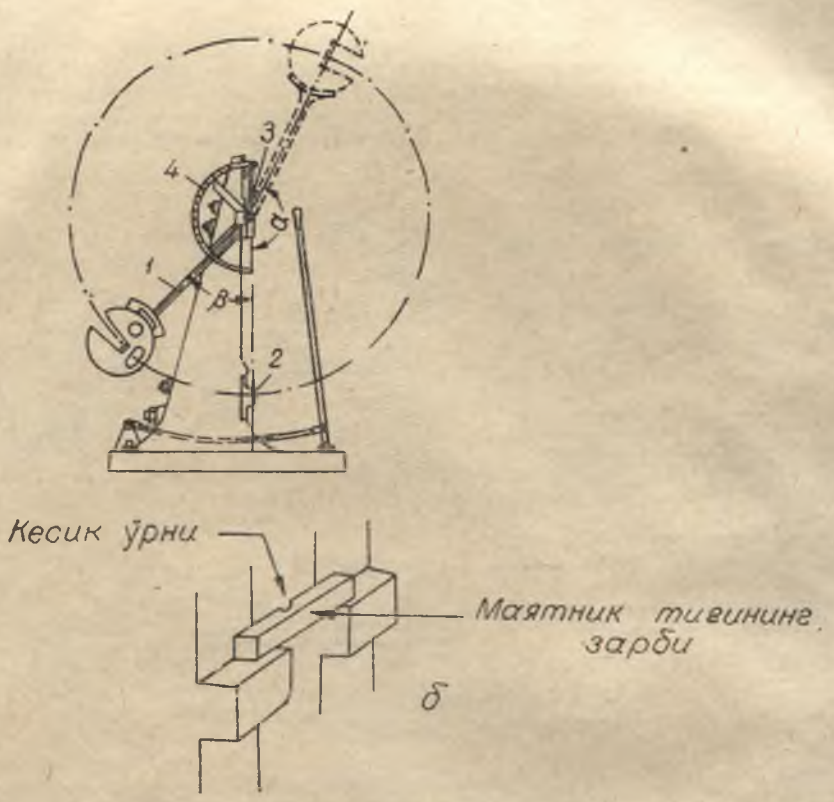
Намунани зарбга синаш схемаси 41-расмда кўрсатилган.

Намунани синашдан олдин копёрнинг маятниги юқориги вазиятга α бурчак кўтарилиб, шу вазиятда махсус мослама билан маҳкамлаб қўйилади. Намуна копёр таянчларига 40- расм, *б* да кўрсатилганидек қилиб ўрнатилади. Сўнгра маятник бўшатилади, шунда маятник тушиб, унинг тиғи намунани синдиради ва иккинчи томонга β бурчак кўтарилади (41- расмга қаранг). β бурчакнинг қийматини шкаладан стрелка кўрсатади.

Зарбнинг намунани синдиришда бажарган иши ($A_н$) қуйидаги формуладан топилади:

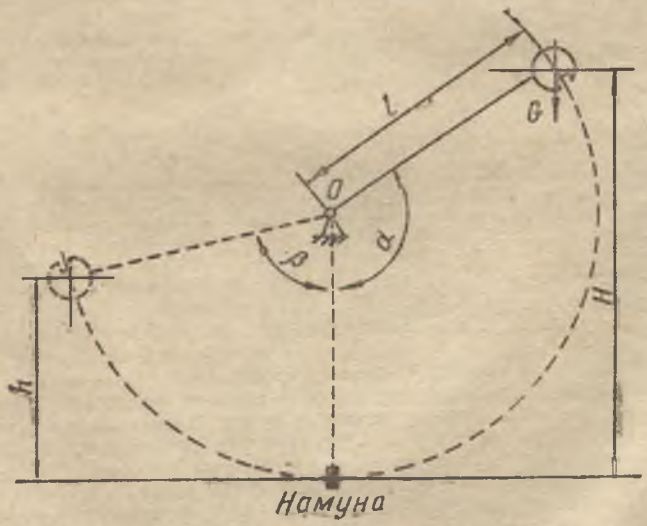
$$A_н = G\ (H - h)\ кж^*\ (10^2\ кГ \cdot м)$$

* 1 жоуль (1 *ж*) 1 ньютон (1 *н*) кучнинг 1 *м* йўлда бажарган иши; 1 $кж = 1 \cdot 10^3$ *ж*, 1 $кн = 1 \cdot 10^3$ *н*.



40- расм. Маятникли копёрнинг схемаси:

а — копёр: *1* — маятник, *2* — намуна, *3* — стрелка, *4* — шкала; *б* — синаш вақтида намунанинг вазияти.



41- расм. Зарбга синаш схемаси.

ёки

$$A_н = G\ (\cos\beta - \cos\alpha)\ кж\ (10^2\ кГм),$$

бу ерда G — маятникнинг оғирлик кучи, *кн* ҳисобида;
H — маятник оғирлик марказининг зарбга қадар кўтарилиш баландлиги, *м* ҳисобида;
h — маятник оғирлик марказининг зарбдан кейин кўтарилган баландлиги, *м* ҳисобида;
l — маятникнинг узунлиги, яъни унинг ўқидан оғирлик марказигача бўлган оралиқ;
α — маятникнинг зарбдан олдинги кўтарилиш бурчаги;
β — маятникнинг зарбдан кейинги кўтарилиш бурчаги.

Намунанинг зарбий қовушоқлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$a_н = \frac{A_н}{F}\ кж/м^2\ (10^{-2} кГм/см^2),$$

бу ерда $a_н$ — намунанинг зарбий қовушоқлиги, *кж/м²* ҳисобида;
$A_н$ — зарбнинг намунани синдиришда бажарган иши, *кж* ҳисобида;
F — намунанинг кесик жойдаги кўндаланг кесим юзи, *м²* ҳисобида.

Бинобарин, $\frac{A_н}{F}$ нисбат *зарбий қовушоқлик* деб аталади.

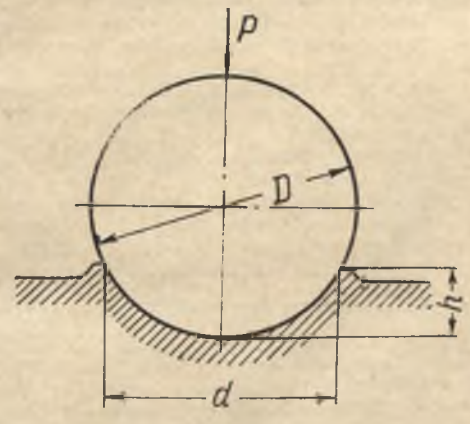
7-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ҚАТТИҚЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қот шмаларнинг қаттиқлигини синаш амалда кенг тарқалган, чунки металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини синашда улар механик хоссаларини синашнинг бошқа турларидагига қараганда бир қатор афзалликлар бор. Бу афзалликлар шундан иборатки, биринчидан, синаш вақтида буюмга шикаст етмайди, иккинчидан буюм қаттиқлигини синаш жуда одлий ва тез бажариладиган процесс, учинчидан, буюмларнинг қаттиқлигини синаш асбоблари ихчам бўлиб, уларда ишлаш мураккаб эмас.

Металл ва қотишмаларнинг *каттиқлиги* деган тушунча шу қаттиқликни аниқлаш усули билан боғлиқдир. Кўпинча, металлнинг қаттиқлиги шу металл сиртқи қатламининг унга ботириладиган маълум шаклли (шар, конус ёки пирамида шаклидаги) анча қаттиқ жисмнинг ботишига кўрсатадиган ўртача қаршилиги тарзида аниқланади.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини аниқлашда уларнинг сиртқи қатлами синаб кўрилгани учун синаладиган деталнинг сиртида куйинди, углеродсизланган қават, тирналган жойлар ва бошқа нуксонлар бўлмаслиги керак.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги билан мустаҳкамлиги орасида маълум боғланиш бўлади, шунинг учун уларнинг қаттиқлигига қараб, мустаҳкамлиги тўғрисида тахминий бир хулосага келса бўлади.



42-расм. Намунанинг қаттиқлигини Бринель усулида синаш схемаси.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги бир неча усуллар билан, масалан, синаладиган металл ёки қотишмага бошқа жисмни ботириш, синаладиган металл ёки қотишмани бошқа жисм билан тирнаб кўриш усули ва бошқа усуллар билан аниқланиши мумкин. Энг кўп тарқалган усул синаладиган намунага шу намунадан қаттиқ бўлган бошқа жисмни ботириш усулидир. Бу усул билан синашда намунанинг қаттиқлиги: а) синаладиган намунага Бринель прессида пўлат шар ботирилганда шу шар қолдирган изнинг юзига қараб, б) синаладиган намунага Роквелл прессида олмос конус ёки пўлат шар ботирилганда улар қолдирган изнинг чуқурлигига қараб, в) синаладиган намунага Виккерс усулида олмос пирамида ботирилганда шу пирамида қолдирган из юзининг катталигига қараб аниқланади.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш учун синаладиган намуна сиртига диаметри 2,5 ёки 5 ёки 10 *мм* қилиб ясалган шар статик нагрузка (P) таъсирида ботирилади (42-расм).

Шар намуна сиртига ботирилганда шу намунада шарнинг сегмент тарзидаги изи қолада. Бу изнинг (сегментнинг) юзи қуйидаги формулалардан топилади:

$$F = \frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2}\sqrt{D^2 - d^2} = \frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right) \text{ м}^2 \quad (1)$$

ёки

$$F = \pi D h \text{ м}^2, \quad (2)$$

бу ерда D — шарнинг диаметри, *м* ҳисобида;
d — изни г диаметри, *м* ҳисобида;
h — изнинг чуқурлиги, *м* ҳисобида.

(1) формула (2) формулага қараганда аниқроқ натижа беради.

Таъсир эттирилган нагрузка (P) нинг сегмент юзи (F)га нисбати *Бринель бўйича қаттиқлик* дейилади ва HB* билан белгиланади:

$$HB = \frac{P}{F} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2)$$

F нинг қийматини юқоридаги формулалардан келтириб қўйсак, қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$HB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2)$$

ёки

$$HB = \frac{P}{\pi D h} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{кГ/мм}^2).$$

Шарнинг намунадаги изининг диаметри махсус микроскоп ёки махсус лупа билан ўлчанади. Из диаметрини ўлчаш учун шаффоф махсус шкалалардан фойдаланса ҳам бўлади, аммо бунда натижа тақрибан чиқади.

Намуна қаттиқлигини тез аниқлаш учун, амалда, махсус жадваллардан фойдаланилади. Бу жадвалларда қаттиқлик (HB) нинг нагрузка (P) ва изнинг диаметри (d) га тўғри келадиган қийматлари берилган бўлади.

Шарлар ШХ15 типидаги қаттиқ пўлатдан ясалади. Улар тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин қаттиқлиги Виккерс бўйича камида 850 бирликка тенг бўлади

Шарнинг деформацияланиши оқибатида катта хатоликка йўл қўймаслик учун бу усулда синаладиган металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги Бринель бўйича 450 дан ошмаслиги керак.

Намунани синашдан олдин унинг синаладиган сирти силлиқланиб, текис ҳолатга келтирилади.

Стандарт синашда 10 *мм* диаметрли шар учун нагрузка доимо 3000 *кГ* қилиб олинади.

Ўхшашлик қонунига биноан, агар шарнинг намуналарда қолдирган излари ўзаро геометрик ўхшаш бўлса, бу намуналарнинг қаттиқлиги ҳам бир хил бўлади. Шу сабабли, ҳар хил диаметрли шарлар ёрдамида қаттиқликни аниқлашда бир материалнинг ўзида бир хил натижаларга эришиш учун $\frac{P}{D^2}$ нисбат (геометрик ўхшашлик шарти) ўзгармаслиги керак. Бошқа диаметрли шардан фойдаланиладиган бўлса, нагрузка ана шу нисбатдан топилади. Кўпчилик материаллар учун нагрузкаларнинг кенг интервалида Бринель бўйича қаттиқлик (P) нинг қийматига унча боғлиқ бўлмайди ва максимуми жуда ётиқ эгри чизиқ ҳосил қилади. P куч эгри чизиқнинг ана шу максимум қисмида танлаб олинади.

Шарнинг намунага ботиш чуқурлиги ўзгарганда изнинг шакли ҳам ўзгаради. Жуда қаттиқ намуналардаги изнинг шакли жуда юмшоқ намуналардаги изнинг шаклига ўхшамайди бу эса қаттиқликни топиш аниқлигига путур етказади. Шунинг учун изнинг диаметри қуйидаги чегараларда бўлиши керак:

$$0{,}2\ D < d < 0{,}6D.$$

Бу шартга риоя қилинганда намуна қаттиқлигини синаш бир-бирига таққослаб бўладиган натижалар беради

---

* Қаттиқликнинг белгиси H инглизча *Hardness* — қаттиқлик сўзининг бош ҳарфидир. H дан кейинги ҳарфлар қаттиқликни топишнинг тегишли усулларини, масалан B — Бринель, R — Роквелл ва V — Виккерс усулларини билдиради.

Синовларнинг натижаларини бир-бирига таққослаб кўриш мумкин бўлиши учун стандартда нагрузка таъсир эттириш вақти ва шу нагрузка таъсирида тутиб туриш вақти белгиланган бўлади, чунки баъзи металлар ўзгармас нагрузка таъсирида «оқа бошлайди». Нагрузка таъсир эттириш вақти, одатда, 30 *сек* га тенг бўлади.

Материалларнинг Бринель бўйича қаттиқлигини стандарт аниқлаш шартлари 5- жадвалда келтирилган.

5- ж а д в а л

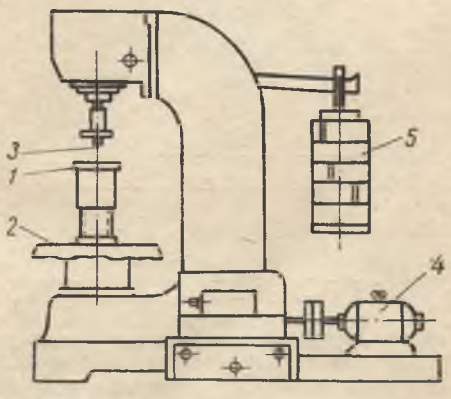
Материал	*HB* интервали	Синаладиган намунанинг қалинлиги, *мм*	$\frac{P}{D^2}$, *кГ/мм²*	Шарнинг диаметри *D*, *мм*	Нагрузка *P*, *кГ*	Нагрузка таъсирида тутиб туриш вақти, *сек*
Қора металлар	140—450	6 дан 3 гача		10,0	3000	
		4 ,, 2 ,,	30	5,0	750	10
		2 ,, кам		2,5	187,5	
,, ,,	<140	6 дан ортиқ		10,0	1000	
		6 ,, 3 гача	10	5,0	250	10
		3 ,, кам		2,5	162,5	
Рангдор металлар	>130	6 дан 3 гача		10,0	3000	
		4 ,, 2 ,,	30	5,0	750	30
		2 ,, кам		2,5	187,5	
,, ,,	35—130	9 дан 3 гача		10,0	1000	
		6 ,, 3 ,,	10	5,0	250	30
		3 ,, кам		2,5	62,5	
,, ,,	8—35	6 дан ортиқ		10,0	200	
		6 ,, 3 гача	2,5	5,0	62,6	60
		3 ,, кам		2,5	15,6	

Бринель бўйича синаш шартлари учун нагрузка, шар диаметри ва нагрузка таъсир эттириш вақти келтирилади. Масалан. *HB* 10/3000/10 — 250 ёзувдаги биринчи сон (10) шарнинг диаметрини, иккинчи сон (3000) нагрузкани, учинчи сон (10) нагрузка таъсир эттириш вақтини, тўртинчи сон (250) эса Бринель бўйича қаттиқликни кўрсатади.

Тўғри из ҳосил қилиш учун, синаладиган намунанинг қалинлиги (*b*) изнинг чуқурлигидан камида 10 баравар катта бўлиши, изнинг маркази эса намунанинг четидан камида 4*d* ичкарида туриши керак. Изнинг диаметри $d = 0{,}6D$ бўлганда изнинг чуқурлиги $0{,}1D$ чамаси бўлади. Шунинг учун, қалинлиги шар диаметридан кам бўлмаган ($b \geqslant D$ бўлган) намуналаргина синалиши мумкин.

Бринель прессининг схемаси 43-расмда тасвирланган.

Синаладиган намуна ёки деталь таглик (*1*) га қўйилиб, маховик (*2*) соат стрелкаси юрадиган омонга айлантирилади-да, намуна (деталь) шар (*3*) га келтирилади. Шундан кейин электр двигатели (*4*) юргизилади, бу двигатель ричаглар системасини ҳаракатга келтиради. Ричаглар системаси ҳаракатга келганда шар нагрузка (*5*) таъсири остида намунага (деталга) бота бошлайди. Намуна нагрузка таъсири остида маълум вақт (5- жадвалга қаранг) тутиб турилгандан кейин нагрузка автоматик равишда олиниб. электр двигатели тўхтатилади Маховик тескари томонга айлантирилиб, намуна (деталь) тагликдан олинади ва шарнинг изи ўлчанади.



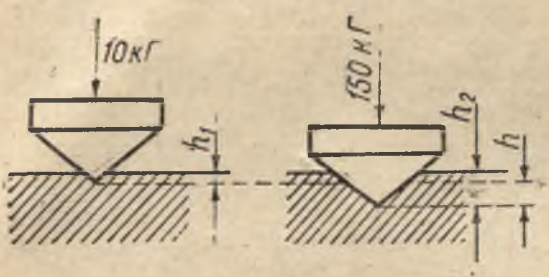
43- расм. Бринель прессининг схемаси:

1 — таглик; *2* — маховик; *3* — шар; *4* — электр двигатели; *5* — нагрузка.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Роквелл прессида аниқлаш. Бу усулдан фойдаланилганда намунага ботирилган жисмнинг изи ботирилиш процессининг ўзида ўлчанади, бу эса синашни анча тезлатади ва осонлаштиради. Синаладиган материалнинг қаттиқлигига қараб, намунага ботириладиган жисм (учлик) икки хил бўлади. Каттиқлиги кичик ва ўртача намуналарни 100 *кГ* нагрузка (В шкала) билан синашда диаметри 1,59 *мм* ($^1/_{16}$″) бўлган пўлат шарча, қаттиқлиги юқори намуналарни 150 *кГ* нагрузка (С шкала) билан ёки 60 *кГ* нагрузка

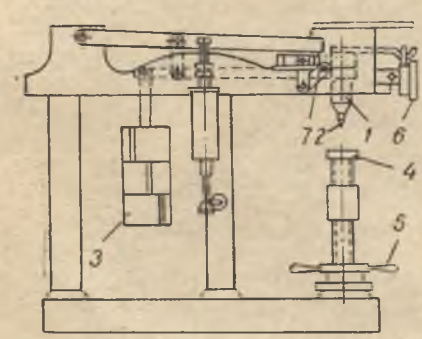
(А шкала) билан синашда эса учидаги бурчак 120° ва учининг юмалоқланиш радиуси 0,2 *мм* бўлган олмос конус ишлатилади. Юқоридаги нагрузкалар асосий нагрузкани ҳам, дастлабки нагрузкани ҳам ўз ичига олади.

Синалаётган намунага нагрузка кетма-кет икки босқичда таъсир эттирилади. Намунага сиртидаги майда нуқсонларни йўқотиш учун биринчи босқичда таъсир эттириладиган нагрузка (дастлабки нагрузка) 10 *кГ* га, иккинчи босқичда таъсир эттириладиган нагрузка (асосий нагрузка) эса пўлат шар бўлганда 90 *кГ* га, олмос конус бўлганда эса 140 *кГ* га тенг бўлади.



44- расм. Қаттиқликни аниқлашда учликнинг вазиятлари.

Намунани синашдан олдин, унинг қаттиқлик даражасига қараб, шток (*1*) га учлик [ё пўлат шар, ёки олмос конус (*2*)] маҳкамланади. Шундан кейин, тегишли нагрузка (*3*) қўйилади. Агар намунага олмос конус ботириладиган бўлса, тошларнинг учаласи ҳам қолдирилади (бунда нагрузка 150 *кГ* бўлади — С шкала) ёки тошларнинг энг остидаги биттаси қолдирилади (бунда нагрузка 60 *кГ* бўлади — А шкала), агар намунага пўлат шар ботириладиган бўлса, тошларнинг тепадагиси олиниб, пастдаги иккитаси қолдирилади (бунда нагрузка 100 *кГ* бўлади — В шкала). Синаладиган намуна таглик (*4*) га қўйилади ва маховик (*5*) соат стрелкаси юрадиган томонга айлантирилиб, намуна учликка тегизилади. Шундан кейин намунага дастлабки нагрузка берилади, бунинг учун маховик кичик стрелка қизил нуқта рўпарасига келгунча айлантирилади, бунда катта стрелка вертикал вазиятда ёки вертикалга яқин вазиятда туриши керак. Сўнгра циферблат айлантирилиб, қора шкаланинг ноль бўлинмаси катта стрелка рўпарасига келтирилади. Агар намунага пўлат шар ботириладиган, яъни ҳисоб қизил шкала бўйича юритиладиган бўлса, бунда ҳам стрелкани нолга қўйиш учун қора шкаладан фойдаланилади.



45- расм. Роквелл прессининг схемаси:

1 — шток; *2* — пўлат шар (олмос конус); *3* — нагрузка; *4* — таглик; *5* — маховик; *6* — циферблат; *7* — кривошип.

Бу ишларнинг ҳаммаси қилиб бўлингандан кейин кривошип (*7*) салгина босилиб, кетинга қайтарилса, асосий нагрузка автоматик равишда ишга тушади ва учлик намунага бота бошлайди. Учлик намунага бота борган сари циферблат стрелкаси ҳам бурила боради. Кривошип тиракка етиб, стрелка тўхтагандан кейин, кривошип қайтарилиб, дастлабки вазиятига келтирилади. Бунда асосий нагрузка олинган бўлади, дастлабки нагрузка эса қолади. Шу пайтда циферблатдан намунанинг қаттиқлиги кўрилади. Намунага олмос конус ботирилган бўлса, қаттиқлик қора шкаладан, агар пўлат шар таъсир эттирилган бўлса, қизил шкаладан ҳисобланади. Шкаланинг ҳар бир бўлинмаси қаттиқликнинг битта бирлигига тенг бўлади ва учликнинг 0,002 *мм* ботишига тўғри келади. Шкалада 100 та бўлинма бор. Агар учликнинг намунага ботиш чуқурлиги 0,2 *мм* бўлса, бу шкала бўйича қаттиқлик ноль деб ҳисобланади, агар учликнинг ботиш чуқурлиги ноль бўлса, қаттиқлик 100 бирликка тенг бўлади, чунки циферблатдаги сонлар стрелканинг айланишига тескари йўналишда қўйилган, яъни учликнинг ботиш чуқурлиги ҳисоблаш қийматига тескари пропорционалдир. Шунинг учун, асосий нагрузка таъсирида учликнинг ботиш чуқурлиги билан дастлабки нагрузка таъсирида ботиш чуқурлиги айирмаси $h_2 - h_1 = h$ бўлганда намунанинг Роквелл бўйича қаттиқлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$HR = 100 - \frac{h}{0{,}002}.$$

Деталь ёки намунани синашда қайси шкаладан фойдаланилган бўлса, *HR* белгисининг ўнг ёнига шу шкаланинг белгиси қўйилади, масалан: *HRC*, *HRB*, *HRA*.

Намуна ва деталларнинг қаттиқлигини Роквелл пресси ёрдами билан аниқлаш усулидан кенг кўламда фойдаланилади, чунки бу усул юмшоқ материалларни ҳам, жуда қаттиқ материалларни ҳам синашга имкон беради. Бундан ташқари, синаш вақтида деталда қоладиган из жуда кичик бўлганлигидан деталнинг сифатига путур етказмайди. Бу усулнинг афзалликларидан бири яна шуки, синаш вақти 30 — 60 секунддан ошмайди.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Виккерс усулида аниқлаш. Бу усулдан фойдаланилганда қаттиқлиги аниқланиши керак бўлган намуна ёки деталга ботириладиган қаттиқ жисм сифатида учидаги (қарама-қарши ёқлари орасидаги) бурчак 136° га тенг бўлган тўрт ёқли олмос пирамида ишлатилади (46- расм, *а*). Намуна ёки деталнинг Виккерс бўйича қаттиқлиги (*HV**) ни топиш учун, таъсир эттирилган куч (*P*) пирамида қолдирган изнинг юзи (*F*) га (46- расм, *б*) бўлинади:

$$HV = \frac{P}{F}$$

изнинг юзи:

$$F = \frac{d^2}{2\sin\frac{136^0}{2}} = \frac{d^2}{1{,}8544}\ м^2$$

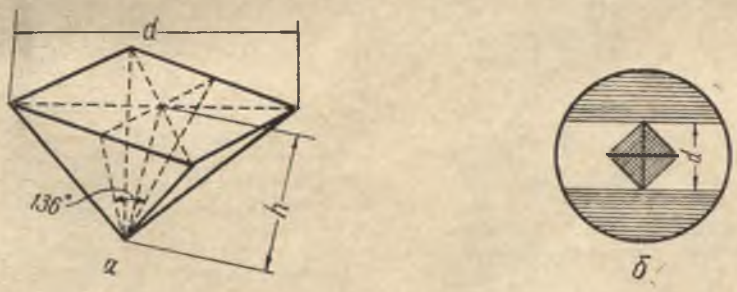
бўлганлигидан:

$$HV = \frac{P \cdot 1{,}8544}{d^2}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2)$$

бўлади, бу ерда d — изнинг диагонали.

Нагрузканинг қиймати ўзгарганда *HV* нинг қиймати ўзгармайди, чунки ҳамма ҳолда ҳам пирамида қолдирган изнинг шакли ўхшаш бўлади.

Пирамида учидаги бурчак катта бўлганлиги учун пирамиданинг намунада қолдирган изи чуқурлиги кичик бўлганда ҳам бу изнинг диагонали етарли даражада катта бўлади. Бу эса Виккерс усулининг сезгирлигини оширади. Шунинг учун, бу усул металл ва қотишмалар-



46- расм. *а* — намунага ботириладиган пирамида; *б* — пирамиданинг намунадаги изи.

нинг юпқа юза қатламлари, масалан, углеродсизланган, химиявий-термик ишланган, пухталанган қатламлари, шунингдек, қалинлиги 0,3 *мм* гача бўлган юпқа листлар қаттиқлигини аниқлаш учун айниқса яроқлидир.

Виккерс асбобида (47- расм) намуна ва деталларнинг қаттиқлиги қуйидагича аниқланади.

Синаладиган намуна ёки деталь стол (*1*) га ўрнатилади ва маховик (*2*) айлантирилиб, олмос пирамида (*3*) га келтирилади. Шундан кейин даста (*4*) бурилса, нагрузка (*5*) ричаглар системаси орқали олмос пирамидани синалаётган намунага (деталга) ботиради. Синов тугагач, педаль (*6*) оёқ билан босилса, пирамидадан нагрузка олинади.

Намунада (деталда) пирамида қолдирган изнинг диагонали асбобнинг бир қисми бўлган махсус микроскоп (*7*) ёрдамида ўлчанади.

Виккерс асбобида 5, 10, 20, 30, 50, 100 ва 150 килограммлик нагрузкалардан фойдаланилади.

Қаттиқлик Бринель бўйича 3500 — 4000 $Мн/м^2$ гача бўлганда, *HV* билан *HB* қийматлари бир-бирига тенг бўлади. Қаттиқлик 4000 $Мн/м^2$ дан юқорида *HB* дан *HV* катта бўлади.

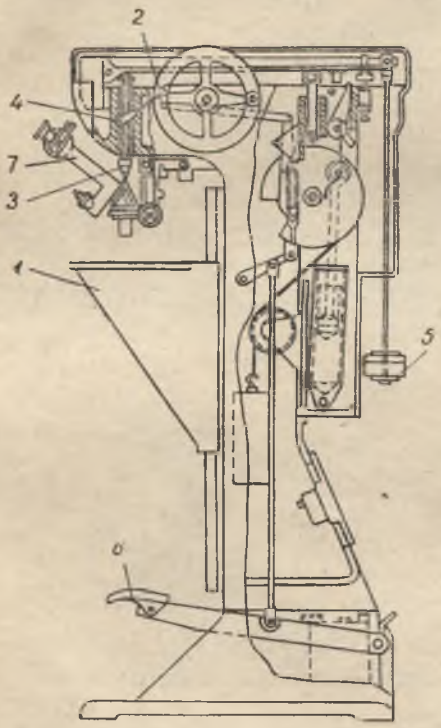
Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлигини аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг ниҳоятда кичик объектлари қаттиқлигини, яъни микроқаттиқлигини юқорида баён этилган

* Баъзан *HD* билан ҳам белгиланади.

усуллар билан аниқлаб бўлмайди, чунки бу усулларда пўлат шар ёки олмос конус синаладиган жисмга чуқурроқ ботирилади ва уларнинг изи каттароқ юзани қамраб олади. Шунинг учун, металл ва қотишмаларнинг ниҳоятда кичик объектлари, масалан, айрим структура компонентлари қаттиқлигини аниқлаш учун, учидаги бурчаги 136° га баравар бўлган тўрт ёқли олмос пирамида синаладиган объектга жуда кичик, 1 дан то 120 *г* гача бўлган нагрузка таъсирида ботирилади. Микроқаттиқликнинг қиймати *HV* қаттиқлик қиймати билан ифодаланади ва қуйидаги формуладан топилади:

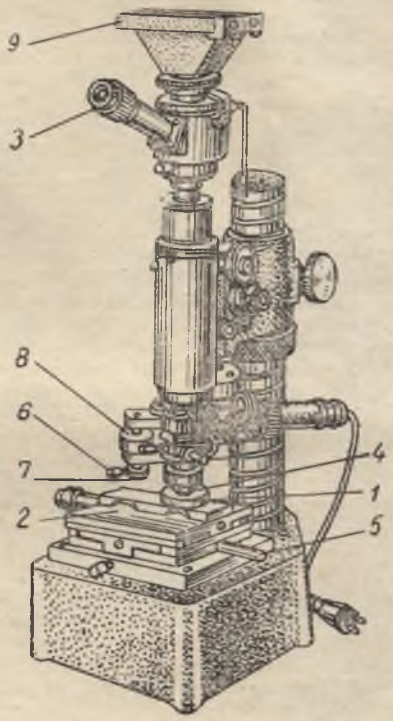
$$HV = \frac{P \cdot 1{,}8544}{d^2} \; Мн/м^2 \; (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда P — намунага таъсир этган нагрузка;
d — изнинг диагонали.



47- расм. Виккерс асбобининг схемаси:

1 — стол; *2* — маховик; *3* — олмос пирамида; *4* — тушириш дастаси; *5* — нагрузка; *6* — педаль; *7* — микроскоп.



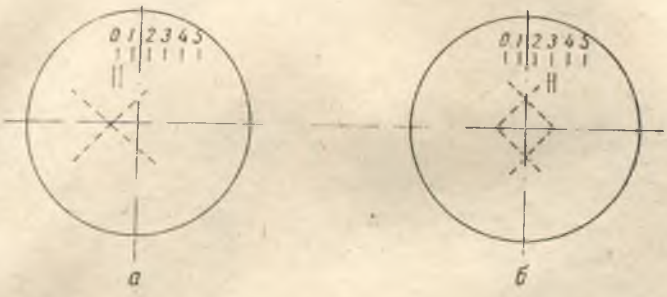
48- расм. Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлигини аниқлаш учун ишлатиладиган асбобнинг схемаси:

1 — шлиф; *2* — стол; *3* — окуляр; *4* — объектив; *5* — даста; *6* — даста; *7* — олмос пирамида; *8* — майдонча; *9* — фотокамера.

Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлиги ё М. М. Хрушчев ва Е. С. Беркович лойиҳалаган ПМТ-2 ва ПМТ- 3 асбобларида ёки горизонтал металлографик микроскопга мослаштирилган мослама ёрдамида аниқланади. М. М. Хрушчев ва Е. С. Беркович конструкциясидаги асбобнинг схемаси 48- расмда тасвирланган.

Синаладиган металл ёки қотишмадан махсус тарзда тайёрланган шлиф (*1*) асбобнинг столи (*2*) га ўрнатилиб, унинг микроскопик тузилиши окуляр (*3*) ва объектив (*4*) ёрдамида кўрилади. Шлифнинг қаттиқлиги аниқланадиган жойи иккита винт ёрдамида столни горизонтал ҳамда вертикал йўналишда силжитиш йўли билан танлаб олинади. Шундан кейин стол даста (*5*) ёрдамида 180° бурилади. Шлифнинг танлаб олинган жойига олмос пирамида (*7*) даста (*6*) ни тахминан 180° буриш йўли билан ботирилади. Олмос пирамидага таъсир эттириладиган нагрузка махсус майдонча (*8*) га ўрнатилади. Шлиф 5—10 секунд нагрузка таъсирида бўлгандан кейин даста (*6*) тескари томонга бурилиб, олмос пирамидадан

нагрузка олинади, стол даста (*5*) ердамида 180° бурилиб, асли вазиятига, яъни шлиф микроскоп объективи остига тўғри келадиган вазиятга келтирилади-да, шлифда ҳосил бўлган из ўлчанади. Шлифда пирамида қолдирган изнинг диагонали қуйидагича ўлчанади. Окулярда қўзғалмас ва қўзғалувчан тўрлар ҳамда микрометрик барабанча. қўзғалмас тўрда таражаларга бўлинган шкала, қўзғалувчан тўрда эса стрелка бўлади. Стол силжитилиб, изнинг чап бурчаги окулярдан қўзғалмас тўрнинг бурчагига тўғриланади (49-расм, *а*). Шундан кейин микрометрик барабанча айлантирилиб, окулярнинг қўзғалувчи тўри бурчаги изнинг ўнг бурчагига тўғриланади (49-расм, *б*). Қўзғалувчан тўр силжитилганда ундаги стрелка ҳам силжиб, қўзғалмас тўрдаги шкаладан изнинг диагоналини кўрсатади (49-расм, *б*).



49- расм. Шлифда пирамида қолдирган из диагоналини ўлчаш схемаси.

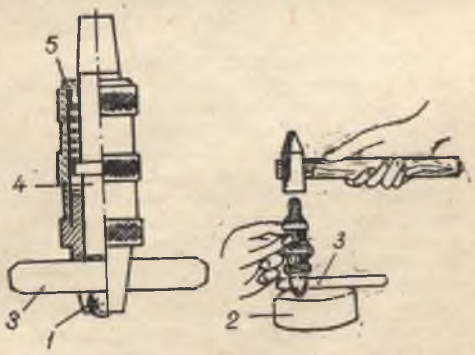
Микроскопга ўрнатилган фотокамера ердамида пирамида қолдирган изнинг фотосуратини ҳам олиш мумкин.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини зарб таъсирида шар ботириш усули билан аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини бу усулда аниқлаш учун 50- расмда тасвирланган асбобдан (Польди асбобидан) фойдаланилади.

Польди асбобида намунанинг қаттиқлиги қуйидагича аниқланади.

Диаметри 10 *мм* бўлган пўлат шар (*1*) ҳам намуна (*2*) га, ҳам эталон (*3*) га болғача зарби таъсири остида ботирилади. Эталоннинг қаттиқлиги маълум бўлади. Эталонни шарга ургич (*4*) пружина (*5*) таъсирида сиқиб туради. Йиғилган ҳолдаги асбоб шари намуна устида турадиган қилиб ўрнатилади, сўнгра асбобнинг ургичига болғачанинг муҳраси билан урилади. Бунда намунага ҳам, эталонга ҳам шарнинг изи тушади, ана шу излар бир-бирига солиштирилиб, намунанинг қаттиқлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$HB = HB_э \frac{D - \sqrt{D^2 - d_э^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$



50- расм. Польди асбоби:

1 — мар; *2* — синаладиган намуна; *3* — эталон; *4* — ургич; *5* — пружина.

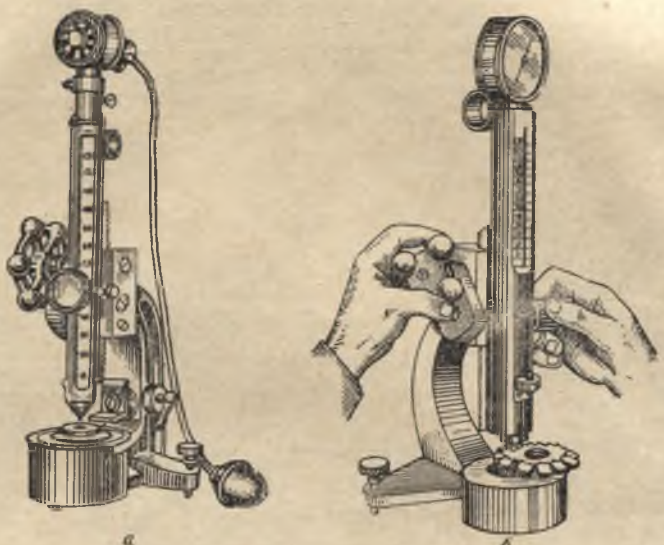
бу ерда HB — намунанинг қаттиқлиги;
$HB_э$ — эталоннинг қаттиқлиги;
D — шарнинг диаметри;
d — намунада шар қолдирган изнинг диаметри;
$d_э$ — эталонда шар қолдирган изнинг диаметри.

Намунанинг қаттиқлиги, одатда, формуладан эмас, балки илгаридан ҳисоблаб қўйилган махсус жадваллардан топилади. Польди асбоби оғир деталларнинг, масалан, станина, йирик поковкалар ва шу кабиларнинг қаттиқлигини аниқлашда жуда қўл келади. Деталларнинг бу усулда аниқланган қаттиқлиги тақрибий бўлади, чунки Польди асбобида деталга шар зарб таъсирида (динамик тарзда) ботирилади, қаттиқлик (HB) эса, аслида, шарни статик нагрузка таъсирида ботириш йўли билан аниқланиши керак.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида (Шор усулида) аниқлаш. Металл ва қотишмаларни бу усул билан синашда уларнинг қаттиқлиги вертикал труба ичида маълум баландликдан эркин тушувчи ургичнинг намунага урилиб, сўнгра қайтиш баландлигига қараб аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида аниқлаш учун ишлатиладидан асбоблар икки хил бўлади. Улардан бири ургич

пневматик мослама ёрдами билан кўтариладиган асбоб бўлса, иккинчиси механик мослама воситасида кўтариладиган асбобдир. Бундай асбоблар 51-расмда тасвирланган.

Ургичнинг қайтиш баландлиги *С* типидаги асбобда даражаларга бўлинган шиша найдан қараш йўли билан, *D* типидаги асбобда эса индикатор стрелкасининг оғишига қараб аниқланади.



а *б*

51- расм. Деталларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида аниқлаш асбоблари:
а — *С* типидаги асбоб; *б* — *D* типидаги асбоб (Шор склероскопи).

8- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ДАВРИЙ РАВИШДА ТАКРОРЛАНУВЧИ НАГРУЗКАГА ЧИДАМЛИЛИГИНИ СИНАШ

Материалнинг даврий равишда такрорланувчи, яъни катталиги ҳам, йўналиши ҳам ўзгариб турувчи нагрузка таъсири остида толиқишга ёки синишга қаршилик кўрсата олиш хусусияти унинг *чидамлилиги* деб аталади. Металл ва қотишмаларнинг такрорланувчи нагрузка ва, демак, такрорлачувчи деформация ва кучланишларда синиши улар структурасининг ва хоссаларининг ҳамма ерида бир хил бўлмаслигидан келиб чиқади. Деталнинг оқувчанлик чегарасидан ошмайдиган ўртача кучланишларда шу деталда силжиш тарзидаги пластик деформацияланган ва, баъзан, микроскоп остидагина кўринадиган дарзлар ҳосил бўлган доналарни топиш мумкин. Бундай ҳодиса, айниқса, деталнинг сиртидаги, яъни эгилишда энг кўп чўзиладиган зонасидаги ёки кучланишлар тўпланган нуқталаридаги доналарга тааллуқлидир. Доналарда ҳосил бўлган микроскопик дарзлар кучланишлар концентратори бўлиб қолади. Даврий равишда такрорланиб турадиган, яъни ўзгарувчи кучланишлар бўлганда, деталнинг бирор нуқтасида вужудга келган силжиш ёки микроскопик дарзлар ўсиб, деталь кесимининг тобора кўп қисмига тарқалади. Дарз ўса борган сари деталнинг кесим юзи кичрайиб, кучланиш тўхтовсиз ўсади. Дарзнинг ўсиши маълум даражага етганда деталнинг кесими нагрузкага бардош бера олмайди ва деталь синади. Детални кучсизлантирувчи дарзнинг ўсиш ҳодисаси деталнинг *толиқиши* деб аталади. Аммо катталиги маълум қийматдан кичик бўлган кучланишлар ҳатто чексиз равишда такрорланса (ўзгарса) ҳам деталда дарзлар ҳосил қилмайди. Нагрузка даврий равишда, ҳар қандай цикл билан таъсир этганда деталда дарзлар ҳосил бўлишига олиб бормайдиган энг катта кучланиш шу деталнинг *чидамлилик чегараси* деб аталади.

Амалда, машиналарнинг бир қатор деталлари, конструкцияларнинг баъзи элементлари, масалан, турли валлар, ўқлар, шатун, рессора, пружина, рельс, балка ва бошқалар даврий равишда такрорланувчи нагрузкалар таъсири остида ишлайди. Ишлаш вақтида катталиги жиҳатидан ҳам ўзгарувчи ана шундай нагрузка таъсирида бўладиган деталларнинг пухталигини статик нагрузка остида синаш йўли билан аниқлаб бўлмайди, шунинг учун уларнинг чидамлилик чегарасини аниқлаш зарурати туғилади.

Чидамлилик чегарасини аниқлаш учун ўлчамлари ва шакли ҳар хил бўлган намуналардан фойдаланилади. Аммо доиравий кесимли намуналар энг кўп ишлатилади.

Металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегарасини деформациянинг ҳар қандай турида: чўзиш-сиқиш, бураш, эгиш турларидан фойдаланиб аниқлаш мумкин. Аммо чидамли-

лик чегарасини аниқлашнинг энг кўп тарқалган усули намунани айлантириб туриб эгиш усулидир.

Намуна айлантирилиши натижасида кучланишларнинг симметрик цикли вужудга келади. Цикллар сони (нагрузканинг ўзгаришлари сони), масалан, пўлат учун шартли равишда $n = 5 \cdot 10^6$, қуйма енгил қотишмалар учун эса $n = 20 \cdot 10^6$ қилиб олинади. Чидамлилик чегарасининг қиймати намуна юзасининг ҳолатига, металлмас қўшимчалар билан ифлосланганлик даражасига, металл ёки қотишманинг структурасига, деталнинг шаклига ва бошқаларга боғлиқ бўлади.

Намунага катталиги ва йўналиши (ишораси) жиҳатидан ўзгариб турувчи нагрузка таъсир эттирилганда намуна бирданига синади, бунда кучланишлар қиймати нагрузка бир йўла таъсир эттирилгандаги кучланишлар қийматидан анча кичик бўлади.



52- расм. Толиқиш оқибатида синган жойларнинг умумий кўриниши (Р. С. Николаев):

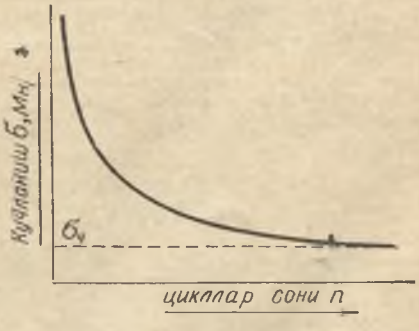
а — ўқ; *б* — рельс.

Толиқиш оқибатида синган жойлар юзасининг умумий кўриниши 52- расмда тасвирланган. 52- расмдан яққол кўриниб турибдики, толиқиш оқибатида синган жой юзасининг ташқи шакли жиҳатидан икки қисмдан: майда донали сиртқи қисм билан йирик донали ички қисмдан иборат.

Толиқиш (чидамлилик) чегарасини аниқлаш учун, синаладиган намунага катталиги ҳам, ишораси ҳам ўзгарувчи нагрузка таъсир эттирилади, бу нагрузка айни металл ёки қотишманинг чидамлилик чегарасидан ортиқ қилиб олинади. Шундан кейин, нагрузка секинаста пасайтирилиб, цикллар сони тегишлича бўлганда намуна синадиган максимал кучланишга эришилади. Синаш натижалари диаграмма тарзида ифодаланади. Бундай диаграмма тузиш учун абсциссалар ўқига цикллар сони (n), ординаталар ўқига эса кучланишлар (σ) қўйилади (53- расм).

Диаграммадан яққол кўриниб турибдики, эгри чизиқ чидамлилик чегараси ($\sigma_ч$) га тенг ординатага асимптотик равишда яқинлашади, яъни цикллар сони етарли даражада катта бўлганда ҳам намуна синмайди.

53- расмдаги диаграммада (σ — n диаграммасида) эгри чизиқнинг горизонтал вазиятга ўтиш нуқтасини ва, демак, намунанинг чидамлилик чегарасини аниқ билиб бўлмайди. Шунинг учун, баъзан, диаграмма ярим логарифмик ёки логарифмик координаталарда тузилади. Бундай диаграммаларда эгри чизиқнинг горизонтал вазиятга ўтиш нуқтаси, яъни намунанинг чидамлилик чегараси аниқ кўриниб туради (54- расм).

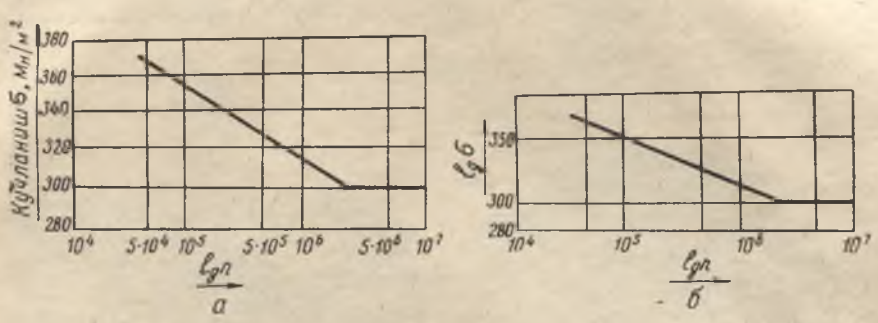


53- расм. Цикллар сони билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси.

Деталнинг чидамлилик чегараси қийматига шу деталь сиртининг ҳолати катта таъсир этади, чунки энг катта кучланиш деталнинг сиртида ҳосил бўлади ва дарзларнинг ўсиши, кўпинча, деталнинг сиртидан бошланади. Деталь сиртидаги тирналган жойлар ва бошқа шикастлар кучланишнинг бу ерга тўпланишига сабаб бўлиб, деталнинг чидамлилик чегарасини пасайтиради.

Металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегараси махсус машиналарда синаб курилади. Ана шундай машиналардан бирининг схемаси 55-расмда тасвирланган.

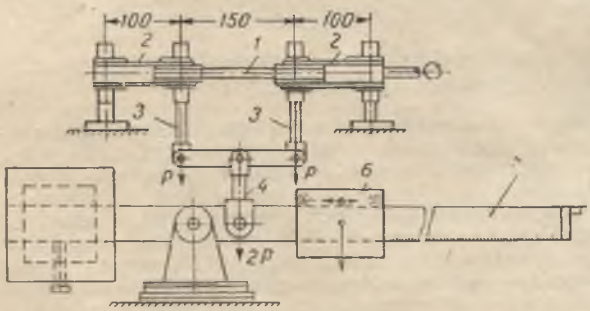
Бу машинада синаш тартиби қуйидагича. Намуна (*1*) шпинделлар (*2*) даги уяларга махкамланади. Шпинделларга айланма ҳаракат двигателдан эгилувчан вал орқали узатилади. Намуна икки таянчга ўрнатилган балка каби ишлайди: намунага симметрик ва бир-бирига



54-расм. Цикллар сони билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси:

а — ярим логарифмик координаталарда тузилган диаграмма; *б* — логарифмик координаталаларда тузилган диаграмма.

тенг иккита куч (*P* ва *P*) таъсир эттирилади. бу кучлар юкли ричагдан шарнир воситасида бириктирилган ричаглар (*3* ва *4*) орқали берилади. Синалаётган намунага таъсир этадиган *P* кучнинг қийматини ўзгартириш учун ричагдаги юк ўнг ёки чап томонга силжитилади. Синалаётган намуна барча нуқталарида бир хил эгувчи момент таъсирида эгилади. Машинанинг шпиндели минутига 2700—3000 марта айланади.



55-расм. Намунанинг соф эгилишдаги чидамлилик чегарасини аниқлаш машинасининг схемаси:

1 — намуна; *2* — шпинделлар; *3* ва *4* — тортқилар; *5* — ричаг; *6* — юк.

Ўзгарувчан кучланишлар таъсир эттириш йўли билан металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегарасигина аниқланиб қолмай, балки уларнинг *циклик қовушоқлиги* ҳам аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг циклик қовушоқлиги уларнинг ўзгарувчан нагрузкалар таъсир этганда энергиянинг бир қисмини ютиб, иссиқликка айлантира олиш хусусиятидир. Металл ёки қотишманинг циклик қовушоқлиги қанчалик юқори бўлса, ундаги тебранишлар шунчалик тез сўнади. Демак, циклик қовушоқлиги юқори қотишмалардан ишлаш вақтида титрайдиган деталлар, масалан, тирсакли валлар, хаво винти парраклари, турбина кураклари ва шу кабилар тайёрлаш фойдалиди .

9-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЁЙИЛУВЧАНЛИГИНИ АНИҚЛАШ

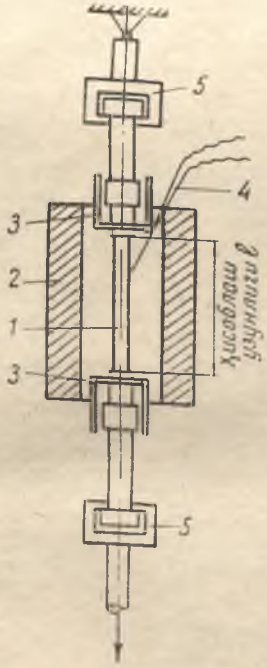
Металл ва қотишмаларга юқори температураларда статик (ўзгармас) нагрузка узоқ вақт таъсир эттирилса, уларнинг механик хоссалари кучли даражада ўзгаради, бунинг сабаби шуки, металлда ички ўзгаришлар содир бўлиб, бу ўзгаришлар юқори температура билан нагрузканинг биргаликдаги таъсири остида тезлашади.

Металларга юқори температураларда нагрузка узоқ вақт таъсир эттирилганда уларда ниҳоятда муҳим иккита ҳодиса: ёйилувчанлик ва иссиқдан мўртлашувчанлик деб аталадиган ҳодисалар рўй беради.

Металл ва қотишмаларнинг ўзгармас нагрузкада юқори температураларда секин-аста пластик деформацияланиш хусусияти *ёйилувчанлик* деб аталади,

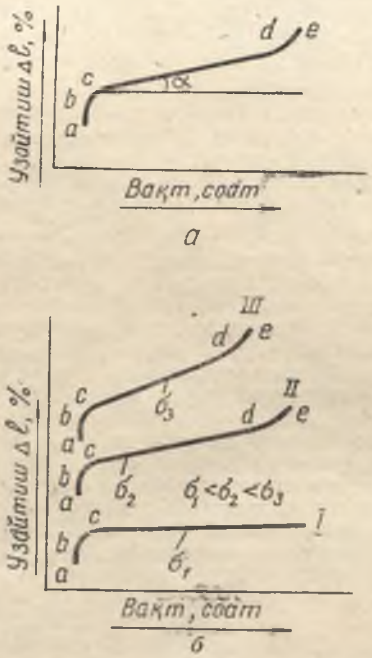
Ўзгармас нагрузкада юқори температураларда металл ва қотишмалар пластиклигининг пасайиши *иссиқдан мўртлашувчанлик* дейилади ва деформация қийматига қараб аниқланади.

Металл ва қотишмаларнинг ёйилувчанлиги чўзиш, бураш, эгиш йўли билан синалиши мумкин. Аммо энг кўп тарқалган усул синалиши керак бўлган металл ёки қотишмадан тайёрланган намунани қиздирилган ҳолда ўзгармас нагрузка таъсирида 56-расмда тасвирланган схема асосида узоқ вақт чўзиш усулидир. Бу усулда намуна (*1*) нинг икки каллаги қисқичлар (*5*) га маҳкамланиб, печь (*2*) га ўрнатилади-да, тегишли температурагача қиздирилади. Намунага нагрузка ричаглар воситасида таъсир эттирилади. Температура термоэлектрик пирометр ёрдами билан, деформация эса индикатор ёки кўзгули махсус асбоб (экстензометр) билан ўлчанади.



56-расм. Намунанинг ёйилувчанлигини синаш схемаси:

1 — намуна; *2*—печь; *3* — деформацияни ўлчаш асбобининг бир қисми; *4* — термоэлектрик пирометрнинг термопараси; *5*— қисқичлар.



57-расм. Ёйилувчанлик эгри чизиқлари:

а — ёйилувчанлик эгри чизиғи; *б* — ёйилувчанликнинг типик эгри чизиқлари.

Ўзгармас температура ва ўзгармас кучланишда намунанинг ёйилувчанлик диаграммаси вақт — узайиш координаталарида тузилади; бунда абсциссалар ўқига вақт, ординаталар ўқига эса намунанинг узайиши қўйилади (57-расм).

Ёйилувчанлик эгри чизиғини тўрт қисмга бўлиш мумкин (57-расм, *а*). Бу қисмлардан бири *ab*—намунада эластик узайишлар ҳосил бўлишига тўғри келади, иккинчиси *bc*—мувозанатда бўлмаган ёйилувчанликка тўғри келади, учинчиси *cd*—мувозанатдаги ёйилувчанликка тўғри келади, тўртинчиси *de*—намунанинг узилишига тўғри келади.

Эгри чизиқнинг мувозанатдаги ёйилувчанликка мос келадиган қисми тўғри чизиқли қисм бўлиб, бунда намуна ўзгармас тезлик билан узаяди. *cd* тўғри чизиқ кесмасининг вақт ўқига қиялик бурчагининг (α нинг) тангенси ёйилувчанлик тезлигини билдиради.

Бир металлнинг ўзидан ясалган намуна бир температуранинг ўзида, аммо ҳар хил нагрузкаларда (кучланишларда) синалганда унинг ёйилувчанлик эгри чизиқлари ҳар хил бўлади (57-расм, *б*). Нагрузкалар кичик бўлганда намунанинг узайиши, амалда, маълум қийматгача давом этади (57-расм, *б* даги *I* эгри чизиқ); нагрузкалар каттароқ бўлганда намунанинг узайиши дастлаб тез борib, сўнгра маълум вақтгача тахминан бир текис давом этади, *d* нуқтада бўйин ҳосил бўлиб, *e* нуқтада намуна узилади (57-расм, *б* даги *II* эгри чизиқ); ниҳоят, нагрузкалар ундан ҳам катта бўлганда ёйилувчанлик эгри чизиғи янада тикроқ бўлади (57-расм, *б* даги *III* эгри чизиқ). Бинобарин, кучланиш қанча кичик бўлса, ёйилувчанлак тезлиги шунча кичик ва намуна шунча узоқ вақт чидайди.

Металл ва қотишмаларнинг механик хоссаларини иккита асосий группага ажратиш керак; булардан бири металл ва қотишмаларнинг узоқ давом этадиган статик нагрузкаға қаршилик кўрсатиш хоссалари (ёйилувчанлик чегаралари) бўлса, иккинчиси узилишга қаршилик кўрсатиш (узоқ давом этадиган пухталик) хоссаларидир.

Металл ва қотишмаларнинг *ёйилувчанлик чегараси* ($\sigma_{ё.ч.}$) узоқ вақт таъсир этадиган шундай энг катта кучланишки, бу кучланишда ўзгармас температурада намунанинг деформацияланиш (ёйилувчанлик) тезлиги маълум вақтдан (узоқ вақтдан) кейин нолга тенг бўлиб қолади.

Металл ёки қотишмадан ясалган намуналарни ўзгармас температурада маълум вақт ўтгандан кейин узиб юборадиган кучланиш шу металл ёки қотишманинг *узоқ давом этадиган пухталиги* ($\sigma_{у.п.}$) деб аталади.

Юқори температурада узоқ вақт ишлайдиган деталлар учун ёйилувчанлик чегараси шундай кучланишни билдирадики, бу кучланишда деформация тезлиги шу деталь учун йўл қўйилган қийматдан катта бўлмайди. Масалан, $\sigma^{450}_{ё.ч.}$ 0,1/10000 белги билан кўрсатилган ёйилувчанлик чегараси намуна 450°С гача қиздирилганда намунани 10000 соатда 0,1% тезлик билан деформациялайдиган кучланишни кўрсатади.

Металл ёки қотишманинг узоқ вақт давом этадиган пухталиги шу металл ёки қотишма муайян температурада маълум вақт ишлангандан кейин уни узиб юборувчи кучланишни билдиради. Бинобарин, бу металл ёки қотишма шу температура ва кучланишда ишлаш вақти юқорида айтилган вақтдан кам бўлган деталлар тайёрлаш учунгина яроқлидир. Масалан, $\sigma_{у\cdot п}{}^{750}_{300}$ белги деталь 750°С гача қиздирилганда таъсири 300 соатгача рухсат этиладиган кучланишни билдиради.

Металл ва қотишмаларнинг узоқ вақт давом этадиган пухталигини синашнинг қуйидаги усуллари бор: 1) металл ёки қотишмадан тайёрланган намуна муайян температурада ва муайян нагрузка таъсирида узилгунча чўзилади-да, намуна узилгунча кетган вақт (соатлар сони) аниқланади; 2) шу температурада ва ўзгармас ҳар хил нагрузкаларда (кучланишларда) бир неча тажриба ўтказилади, шундан кейин, намунанинг узилишигача кетган вақт билан кучланиш орасидаги боғланишни кўрсатувчи график чизилади; 3) тажриба ўтказилган ҳар қайси температура ва ҳар қайси ўзгармас кучланиш учун деформация билан вақт орасидаги боғланиш аниқланади. Учинчи усул энг мукаммал усулдир, аммо бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, намуна узилгунча деформацияни узлуксиз ўлчаб бориш керак бўлади.

Юқорида келтирилган характеристикалар металл ва қотишмаларнинг *иссиқбардошлик*, яъни уларнинг юқори температураларда механик нагрузкалар таъсирига бардош бера олиш ёки бардош бера олмаслик хусусиятини кўрсатади. Шунинг учун бу характеристикалар машиналарнинг юқори температураларда механик нагрузкалар таъсирида ишлайдиган деталлари учун ниҳоятда муҳимдир.

В. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

Металл ва қотишмаларнинг технологик хоссалари жумласига уларнинг технологик ишлаш, яъни қуйиш, болғалаш, пайвандлаш ва кесиб ишлаш учун яроқлилик даражасини кўрсатувчи хоссалар, масалан, киришувчанлик, суюқ ҳолатда оқувчанлик, болғаланувчанлик, пайвандланувчанлик, кесиб ишланувчанлик хоссалари ва бошқалар киради.

К и р и ш у в ч а н л и к. Қолипнинг ўлчамлари ва шу қолипга қуйиш йўли билан ҳосил қилинган қуйманинг ўлчамлари орасидаги фарқ *киришувчанлик* деб аталади ва % ҳисобида ўлчанади. Ҳар хил қотишмаларнинг киришувчанлиги турлича бўлади. Масалан, оқ чўяннинг киришувчанлиги 1,5—1,75%, пўлатники — 1,4—2,2%, кул ранг чўянники — 0,5—1,25%, мис қотишмаларинники — 0,8—1,6%, алюминий қотишмаларинники 0,3—1,2%, магний қотишмаларинники —0,3—1,2%.

С у ю қ ҳ о л а т д а о қ у в ч а н л и к. Металл ва қотишмаларнинг суюқ ҳолатда қолипни тўлдира олиш хусусияти *суюқ ҳолатда оқувчанлик* деб аталади. Металл ёки қотишманинг суюқ ҳолатда оқувчанлиги қанчалик юқори бўлса, у суюқлантирилганда қолипнинг юпқа ва ингичка жойларини шунчалик яхши тўлдиради.

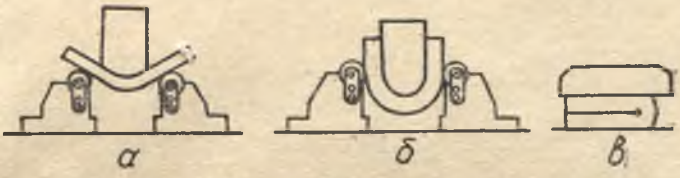
Б о л ғ а л а н у в ч а н л и к. Металл ва қотишмаларнинг болғалаш, штамплаш ва прокатлаш вақтида ўз шаклини емирилмай ўзгартира олиш хусусияти *болғаланувчанлик* деб аталади. Металл ёки қотишма босим билан ишланганда қанча юқори деформацияланиб, бу деформация учун зарур бўладиган куч қанча кичик бўлса, унинг болғаланувчанлиги шунча юқори бўлади.

П а й в а н д л а н у в ч а н л и к. Металл ва қотишмаларнинг пайвандлашда пухта ва зич бирикмалар ҳосил қила олиш хусусияти *пайвандланувчанлик* деб аталади. Пайванд чокнинг механик хоссалари қанчалик юқори, унинг структураси қанчалик бир жинсли, пайвандлаш вақтида ғоваклар ва бошқа нуқсонлар қанчалик кам ҳосил бўлса, пайвандланувчанлик шунча юқори бўлади.

Кесиб ишланувчанлик. Металл ва қотишмаларнинг кесиб ишланувчанлиги комплекс тушунча бўлиб, унга ҳозиргача муҳим бир таъриф берилган эмас. Кесиб ишланувчанлик вақт бирлиги ичида ёки маълум иш сарф қилинганда энг кўп йўниб тушириладиган қиринди оғирлиги билан баҳоланиши мумкин.

1-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БУКИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг букилувчанлигини синашдан мақсад уларнинг белгиланган ўлчамда ва шаклда букила олиш хусусиятини аниқлашдан иборат. Букилишга синаш учун синаладиган металл ёки қотишмадан арра, фреза ёки кескич ёрдамида бўйи $l=5a+150$ *мм* ва эни $b=2a$ *мм* намуна қирқиб олинади, бу ерда a — синаладиган металл ёки қотишманинг қалинлиги (намунанинг эни 10 *мм* дан кам бўлмаслиги керак). Материалнинг турига ҳамда вазифасига кўра, намуна турлича: маълум бурчак ҳосил бўлгунча (58-расм, *а*), томонлари параллел вазиятга келгунча (58-расм, *б*)



58-расм. Намунанинг букилувчанлигини синаш.

ёки иккала томони жипслашгунча букилади. Бунинг учун намуна иккита таянч роликка қўйилиб унинг қоқ ўртасига 58-расм, *а* ва *б* да кўрсатилганидек оправка ёки 58-расм, *в* да кўрсатилганидек нагрузка таъсир эттирилади. Намунани букиш учун пресс ёки тискидан фойдаланилади.

Ишлаш вақтида эгиладиган қовушоқ материалларнинггина букилувчанлиги синалади. Бу усул пайванд чокнинг сифатини, металл ёки қотишмаларнинг пайвандланувчанлигини синашнинг энг яхши усулидир.

Намуна совуқлайин ҳам, қиздириб туриб ҳам синалиши мумкин.

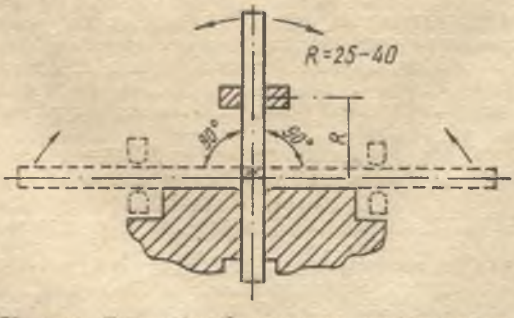
Синовдан ўтказилган намунада дарз кетган, қаватларга ажралган, синган жойлар ва бошқа нуқсонлар бўлмаса, намуна букилишга бардош берган бўлади.

2-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТАКРОР БУКИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг такрор букилувчанлигини синашдан мақсад уларнинг букилиб-ёйилишга қанчалик бардош беришини аниқлашдан иборат. Бу усул диаметри 0,8 дан 7 *мм* гача бўлган сим ва чивиқлар, шунингдек, қалинлиги 5 *мм* гача бўлган листлар учун қўлланилади.

Металл ва қотишма листларининг такрор букилувчанлигини синаш учун улардан эни $b=2h+10$ *мм* (h — листнинг қалинлиги), узунлиги $l=150$ *мм* ли намуна қирқиб олинади.

Намуна асбобнинг жағлари орасига сиқилиб, гоҳ бир томонга, гоҳ иккинчи томонга 90° букилади (59-расм).

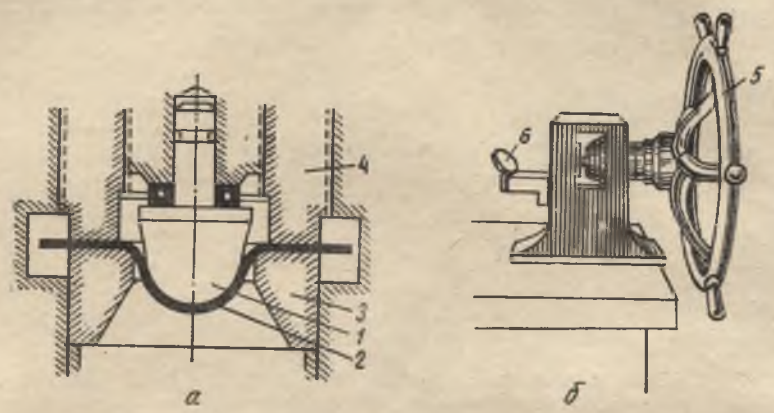


59-расм. Такрор букилувчанликни синаш схемаси.

Намуна такрор букилишга фақат совуқ ҳолатда синалади. Намунани 90°га букиб, яна асли вазиятига қайтариш битта такрор букиш бўлади. Такрор букиш процесси минутига 60 чамаси такрор букиш тезлигида то намуна сингунча давом эттирилади.

3-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БОТИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг ботилувчанлигини синашдан кўзда тутиладиган мақсад улардан тайёрланган юпқа листларнинг (тунукаларнинг) совуқлайин штамплана олиш хусусиятини аниқлашдан иборатдир. Бунинг учун, ботилувчанлиги синаладиган лист ёки лентадан квадрат шаклида қилиб намуна қирқиб олинади. Синаладиган намуналарнинг, тегишли матрица ва пуансонларнинг ўлчамлари 6-жадвалда берилган.



60-расм:

а — синаш схемаси: *1* — пуансон, *2* — намуна, *3* — матрица, *4* — қисқич; *б* — асбобнинг умумий кўриниши: *5* — маховик, *6* — кўзгу.

6-жадвал

Синаладиган листнинг қалинлиги, *мм* ҳисобида	Намуна томонининг узунлиги, *мм* ҳисобида	Матрицанинг ички диаметри, *мм* ҳисобида	Пуансоннинг диаметри, *мм* ҳисобида
2 дан 4 гача	70 дан 90 гача	27	14
1,5 » 2 »	70 » 90 »	27	20
1,0 » 1,5»	10 » 20 »	5	3

Қирқиб олинган намуна синаш асбобининг матрицаси устига қўйилиб, қисқич билан қисилади. Шундан кейин, намунада биринчи дарз ҳосил бўлгунча унга пуансон таъсир эттирилади. Намунани синаш схемаси ва синаш асбобининг умумий кўриниши 60-расмда тасвирланган.

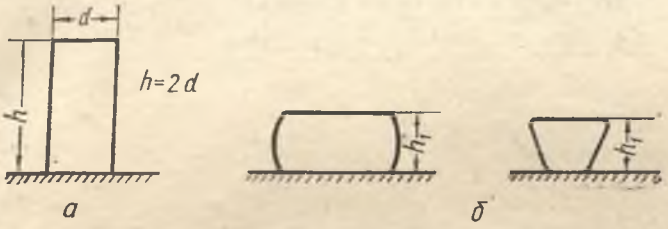
Намунанинг биринчи дарз ҳосил бўлгунча ботилиш чуқурлиги шу намуна материалининг пластиклигини кўрсатади.

Пуансон намунага маховик ёрдамида минутига 16—10 *мм* тезлик билан таъсир эттирилади, дарз ҳосил бўлиш пайти эса кўзгу ёрдамида аниқланади.

4-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЧЎКУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синашдан мақсад уларнинг совуқ ҳолатда қанчалик деформацияланишини (сиқилишини) аниқлашдан иборатдир. Бу усул болғаланиши керак бўладиган ва болт, парчин мих каби деталлар тайёрлашга мўлжалланган металл ва қотишмалар учун қўлланилади.

Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синаш учун улардан $h=2d$ ўлчамли намуна қирқиб олинади-да, бу намуна техника шартида берилган даражагача ($h_1=xh$ гача) бўлиб қолгунча болғача ёки болға билан чўктирилади. Бунда x нинг қиймати $^1/_2$, $^1/_3$ ёки $^2/_3$ бўлиши мумкин. Шу тариқа синалган намунада дарзлар, ёриқлар, синиқлар ва шу каби нуқсонлар бўлмаса, бу намуна олинган металл ёки қотишма яроқли деб ҳисобланади. Намунанинг чўктиришдан олдинги ва чўктирилгандан кейинги ўлчамлари 61-расмда кўрсатилган.



61- расм. Намунанинг совуқ ҳолатда чўкувчанлигини синаш:

а — чўктиришдан олдинги намуна; *б* — чўктирилгандан кейинги намуналар.

Металл ва қотишмалар технологик хоссаларини синашнинг биз танишиб чиққан усулларидан бошқа усуллари ҳам бор. Масалан, металл ва қотишмаларнинг яссиланувчанлик, ўралувчанлик, буралувчанлик ва бошқа хоссаларини синаш усуллари шулар жумласидандир.

III БОБ

МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ ВА РЕКРИСТАЛЛАНИШИ

Металлга бирор куч таъсир эттирилганда шу металл геометрик шаклининг ўзгариши *деформация* дейилади. Физикавий ва химиявий ҳодисалар, масалан, аллотропия ҳодисаси таъсири остида ҳам металл деформацияланиши мумкин.

Металлга ташқи куч таъсир эттирилишидан олдин, яъни у деформацияланмаган ҳолда бу металлнинг кристалл панжараси ўзгармайди, металл деформацияланган кейин эса унинг кристалл панжараси ўзгаради — панжара тугунларидаги атомлар ўз ўрнидан силжийди.

Нормал температурада металлнинг деформацияси уч босқичдан: эластик ва пластик деформациялардан ҳамда емирилишдан иборат бўлади. Деформациянинг ана шу босқичларини кўриб чиқайлик.

1- §. МЕТАЛЛАРНИНГ ЭЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ

Металлга таъсир эттирилган куч олингандан кейин металл асли ҳолига (шаклига) қайтса, яъни унинг деформацияси йўқолса, бундай деформация *эластик деформация* деб аталади. Масалан, пўлат пружина сиқилса, унинг шакли ўзгаради, яъни деформацияланади, бу пружина қўйиб юборилса, яна аввалги вазиятига келади — унинг деформацияси йўқолади. Ана шу деформация эластик деформация бўлади. Пружина сиқилганда пўлатнинг кристалл панжараси ўзгаради, пружина қўйиб юборилгандан кейин эса кристалл панжара яна асли ҳолига келади.



62-расм. Эластик деформация билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси.

Металлнинг чўзилишидаги эластик деформацияланиши билан кучланиши орасида чизиқли боғланиш бўлиб, бу боғланиш диаграмма тарзида 62- расмда кўрсатилганидек тасвирланади.

Бу боғланишнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади ва пропорционаллик қонуни, бошқача қилиб айтганда, Гук қонуни дейилади:

$$\sigma = E\delta,$$

бу ерда δ — нормал кучланиш;

E — пропорционаллик коэффициенти;

δ — деформация (узайиш).

Пропорционаллик коэффициенти *(E) Юнг модули,* бошқача айтганда, *эластиклик модули* деб аталади ва α бурчакнинг тангенсига тенг бўлади:

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = tg\,\alpha.$$

Юнг модули металл кристалл панжарасининг турига ва параметрига боғлиқдир. Бинобарин, ҳар хил металлар учун Юнг модули турлича бўлади.

Металлнинг эластиклик хоссаси маълум чегарагачагина сақланиб қолади, кучланиш бу чегарадан ошса, металлнинг эластиклик хоссаси йўқолади. Ана шу чегара *эластиклик чегараси* деб аталади. Эластиклик чегараси 62-расмдаги диаграммада *A* ҳарфи билан кўрсатилган кучланишга тўғри келади.

Металлнинг эластиклик хоссалари атомлараро таъсир кучларидан келиб чиқади, шунинг учун металл қиздирилганда эластиклик модули пасаяди, чунки температуранинг кўтарилиши натижасида металлнинг кристалл панжарасидаги атомлараро масофа катталашади, бинобарин, атомларнинг ўзаро тортишув кучи заифлашади.

2-§. МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ

Металлга таъсир эттирилган куч олингандан кейин металл асли ҳолига (шаклига) келмаса, яъни унда қолдиқ деформация ҳосил бўлса, бундай деформация *пластик деформация* дейилади. Металлда пластик деформация шу металлга таъсир эттирилган нагрузка эластиклик чегарасидан ортгандагина вужудга келади.

Пластик деформация, юқорида айтиб ўтилганидек, деформациянинг иккинчи босқичи, яъни эластик деформациянинг давоми бўлиб, унинг диаграммаси 63-расмда тасвирланган.

Пластик деформация жараёнида металлнинг деформацияга қаршилиги ортиб боради ва пластик деформацияланиш хусусияти пасаяди.

Эластик деформация билан пластик деформация орасида чуқур физикавий фарқ бор. Металлнинг эластик деформацияланишида, юқорида айтиб ўтилганидек, кристалл панжарадаги атомлар (ионлар) оралиғи ўзгаради, таъсир эттирилган куч олинганда эса атомлар (ионлар) оралиғи аслига келади, натижада деформация йўқолади. Пластик деформация вақтида эса кристаллнинг бир қисми бошқа қисмига нисбатан силжийди, таъсир эттирилган куч олинганда кристалларнинг силжиган қисми аввалги жойига қайтмайди, яъни деформация қолади. Бундан ташқари, пластик деформация вақтида доналар ичида мозаика блоклари* майдаланади, деформация даражаси юқори бўлган ҳолларда эса доналарнинг шакли ва уларнинг фазода жойлашуви ҳам сезиларли дара-



63-расм. Эластик ва пластик деформациялар диаграммаси.

*Металларнинг доналари ичида ўлчамлари $1 \cdot 10^{-5} — 1 \cdot 10^{-3}$ *см* бўлиб, бир-бирига нисбатан кичик бурчаклар — бир неча минутдан тортиб, бир неча секундгача бурчаклар ҳосил қиладиган яна бир тур кристалл тузилмалар бўлади, ана шу кристалл тузилмалар *мозаика блоклари* дейилади.

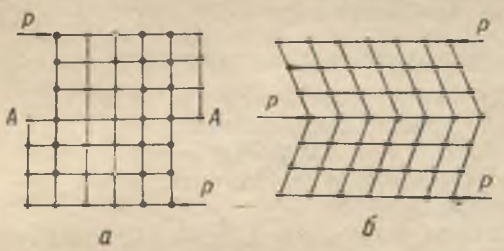
жада ўзгаради, бунда доналар оралиғида, баъзан эса доналар ичида ҳам дарзлар ҳосил бўлади.

63- расмда тасвирланган диаграммадаги $\sigma_{э.ч}$. кучланиш пластик деформациянинг бошланиш пайтига тўғри келади. Деформацияни ўлчаш усули қанчалик аниқ бўлса, *А* нуқта шунчалик паст туради. Техник ўлчашларда намуна узунлигининг ёки бошқа ўлчамининг 0,2 процентига тенг қолдиқ деформация ҳосил қиладиган кучланиш характеристикаси қабул қилинган, бу характеристика *оқувчанлик чегараси* деб аталади ва $\sigma_{0,2}$ ёки $\sigma_{оқ}$ билан белгиланади.

Энг катта кучланиш (σ_b) металлнинг синиш (ажралиш) пайтига тўғри келади. Бу характеристика, кўпинча, *синишга кўрсатиладиган қаршилик* деб аталади.

Металлар ташқи куч таъсири остидагина эмас, балки ҳажм ўзгаришлари билан боғлиқ бўлган фаза ўзгаришларидан вужудга келган ички кучланишлар таъсири остида ҳам пластик деформацияланади.

Пластик деформация процессини текширишда металлнинг монокристалидан фойдаланиш анча қулай. Пластик деформация процессини текшириш натижасида, бу процесснинг сирпаниш йўли билан, шунингдек, иккиланиш йўли билан бориши аниқланди. Пластик деформация вақтида кристалл панжарада содир бўладиган ўзгаришлар схемаси 64- расмда тасвирланган.



64- расм. Пластик деформация вақтида кристалл панжарада содир бўладиган ўзгаришлар:

а — сирпаниш; *б* — иккиланиш.

Деформация кучсизроқ бўлганда, дастлаб силжиш йўналишига нисбатан энг қулай жойлашган текисликлардаги атомлар сирпана бошлайди, деформация кучая борган сари бошқа текисликлардаги атомлар ҳам сирпанади. Шундай қилиб, пластик деформация процесси бутун монокристалл бўйлаб бирин-кетин тарқалади.

Металлнинг силлиқланиб, сўнгра ялтиратилган намунасини пластик деформациялаб, атомларнинг сирпаниш изларини кўриш мумкин: бу излар сирпаниш чизиқлари тарзида бўлади. Агар деформация атомларнинг иккиланиши йўли билан борса, металл намунасининг микроскопик тузилишида иккиланган пластинкалар пайдо бўлади.

Металлар пластик деформацияланганда, кўпинча, бир вақтнинг ўзида атомларнинг ҳам сирпаниши, ҳам иккиланиши юз беради.

Дислокациялар назариясига кўра (23- бетга қаранг), металл пластик деформацияланганда чизиқли нуқсонлар ҳосил бўлади, бу нуқсонлар сурилади, бир-бири билан ҳам, бошқа нуқсонлар билан ҳам ўзаро таъсир этади. Ана шу чизиқли нуқсонлар (дислокациялар) ҳосил бўлиши металлнинг кристалл панжарасидаги атомларнинг ташқи кучлар ёки ички кучланишлар таъсирида сирпаниш (силжиш) процесси билан боғлиқдир. Дислокация ҳосил бўлгандан кейин сирпаниш текислигининг иккала томонида кристалл панжаранинг вазияти ўзгаради ва атомлар орасидаги идеал боғланиш бузилади. Агар металлга кичикроқ ташқи *P* куч қўйилса, бас, сирпаниш текислиги устидаги вертикал қатор атомлари битта атомлараро масофадан ортиқ бўлмаган оралиққа бирин-кетин силжийди. Бунинг натижасида дислокация навбатдаги қатор атомларига ўтади (силжийди) ва маълум бир пайтда 64- расм, *а* да тасвирланган вазиятни олади. Оқибатда дислокация сиртга тепиб, йўқолади.

Рекристалланиш температураси билан суюқланиш температураси орасида қуйидаги боғланиш бор:

$$T_{рек.} = aT_{суюқл.}$$

Бу ерда $T_{рек.}$ — рекристалланиш абсолют температураси;
$T_{суюқл.}$ — суюқланиш абсолют температураси;
a — металлнинг тозалигига боғлиқ коэффициент.

Металл қанчалик тоза бўлса, бу металлнинг рекристалланиш температураси шунчалик паст бўлади. Одатдаги техник тозаликдаги металлар учун $a = 0{,}3 \div 0{,}4$. Қотишмаларнинг рекристалланиш температураси, одатда, тоза металларникидан юқори бўлади ва баъзи ҳолларда суюқланиш температурасининг 0,8 ҳиссасига тенглашади ($T_{рек.} = 0{,}8\,T_{суюқл.}$), аксинча, жуда тоза металларнинг рекристалланиш температураси анча паст, яъни суюқланиш температурасининг 0,2 ва, ҳатто, 0,1 улушига тенг бўлади [$T_{рек.} = (0{,}2 \div 0{,}1)\ T_{суюқл.}$]. a коэффициентдан фойдаланиб, металл ва қотишмаларининг рекристалланиш температурасини ҳисоблаб топиш қийин эмас. Масалан, таркибида 0,5% углерод бўлган пўлатнинг суюқланиш температураси тахминан 1500°С га тенг, унинг рекристалланиш температураси $T_{рек.} \approx 0{,}8 \cdot 1500 \approx 1200$°С бўлади.



67- расм. Рекристалланиш температураси билан деформация даражаси орасидаги боғланишини кўрсатувчи эгри чизиқ.

Рекристалланиш температураси деформация даражасига ҳам боғлиқдир: деформация даражаси қанчалик катта бўлса, металлнинг ички тузилиши шунчалик майда, структуранинг барқарорлиги шунчалик кам бўлади ва, демак, барқарорроқ ҳолатни олиш учун шунчалик кўп интилади. Бинобарин, деформация даражасининг катта бўлиши рекристалланишни осонлаштиради ва рекристалланиш температурасини пасайтиради (67-расм).

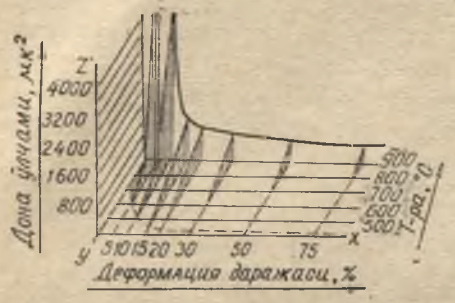
Рекристалланиш температурасининг амалий аҳамияти ғоят катта. Масалан, пластик деформацияланган металлнинг деформациядан олдинги структурасини тиклаш учун бу металлни рекристалланиш температурасидан юқори температурагача қиздириш керак. Бу процесс *рекристаллизацион юмшатиш* деб аталади.

Рекристалланиш температурасидан юқори температураларда содир бўладиган пластик деформация натижасида металл кристалл панжарасидаги атомлар силжиса ва металл пухталанса-да, аммо шу температураларда бўладиган рекристалланиш процесси бу пухталикни йўқотади.

Металларга рекристалланиш температурасидан юқори температурада ишлов бериш *қиздириб босим билан ишлаш* деб, рекристалланиш температурасидан паст температурада ишлов бериш эса *совуқлайин босим билан ишлаш* деб аталади.

Металларни босим билан ишлашда (болғалаш, штамплаш ва бошқаларда) рекристалланиш температурасидан ташқари, деформация тезлигини ҳам ҳисобга олиш зарур. Деформация тезлиги кичик бўлса, рекристалланиш минимал температурасидан юқори барча температураларда металл рекристалланади, деформация тезлиги катта бўлганда эса рекристалланиш охирига етмай қолиши ва ишлов бериш вақтида металлда бир қадар наклёп ҳосил бўлиши мумкин. Температуранинг кўтарилиши билан рекристалланиш тезлиги кучли даражада ортади.

Металлни қиздириб ишлашда унинг пластиклигини ошириш ва пухталанишига йўл қўймаслик учун металл рекристалланиш температурасидан анча юқори температурагача қиздирилади. Пухталанган (наклёпланган) металл ёки қотишмани юмшатишда ҳам рекристалланиш температурасидан анча юқори температуралардан фойдаланилади, бундай қилинганда рекристалланиш процесслари етарли даражада тез боради.



68- расм. Темирнинг рекристалланиш фазовий диаграммаси.

Пухталанган металл қиздирилганда структурасининг ўзгариши билан механик хоссалари ҳам ўзгаради. Температуранинг кўтарилиши билан металлнинг қаттиқлиги дастлаб сал пасаяди, чунки бунда қайтиш ҳодисаси юз беради. Металл рекристалланиш температурасидан бир қадар юқори температурада юмшатилгандан кейин унинг қаттиқлиги пасайиб, пухталанишдан олдинги қийматига тенглашади. Ана шу температура рекристалланишнинг энг кичик, бошқача айтганда, минимал температурасидир. Металлнинг бошқа механик хоссалари (мустаҳкамлик чегараси, оқувчанлик чегараси) ҳам худди қаттиқлигининг ўзгариши каби ўзгаради.

Юқорида айтиб ўтилганидек, металлнинг рекристалланиши вақтида янги доналар ҳосил бўлиш ва уларнинг ўсиш процесси, шунингдек, эски доналарнинг ўсиш процесси содир бўлади. Рекристалланиш вақтида доналарнинг ўлчами уларнинг деформациядан олдинги ўлчамидан кичик бўлиши ёки бир неча марта катта бўлиши мумкин. Рекристалланиш вақтида доналарнинг катта-кичиклиги қиздириш температурасига, деформация даражасига, маълум бир температурада тутиб туриш вақтига ва дастлабки доналар ўлчамига боғлиқдир. Қиздириш температураси кўтарилганда ва тутиб туриш вақти оширилганда доналарнинг ўлчами катталашади. Деформациянинг критик даражасида рекристалланиш вақтида доналарнинг ўлчами энг катта бўлади. Кам углеродли пўлат учун деформациянинг критик даражаси 7—15 процентни ташкил этади, шунинг учун бундай пўлатни босим билан ишлашда деформация даражасини бундай қийматларга етказмаслик керак.

Доналар ўлчамининг асосий факторларга, яъни қиздириш температурасига ва деформация даражасига қараб ўзгариши (ҳар қайси металл учун) *рекристалланишнинг фазовий диаграммаси* деб аталадиган диаграмма билан ифодаланади. Бундай диаграммалардан бири 68- расмда тасвирланган.

Рекристалланиш диаграммаларининг амалий аҳамияти ғоят каттадир. Бу диаграммалардан фойдаланиб, рекристалланиш вақтида майда доналар ҳосил қилиш учун керак бўладиган оптимал температура ва оптимал деформация даражасини аниқлаш мумкин.

IV БОБ

ҚОТИШМАЛАР УМУМИЙ НАЗАРИЯСИ

1-§. ҚОТИШМАЛАР ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧА

Металлар билан металларни, металлар билан металлоидларни ёки металлоидлар билан металлоидларни бирга суюқлантириш орқали ҳосил қилинган жисм *қотишма* деб аталади. Металлар билан металларнинг қотишмаси *металл қотишма* дейилади. Кўпи металл ёки металлардан, қолгани эса металлоидлардан иборат бўлиб, металл хоссаларига эга қотишмалар ҳам металл қотишмалари жумласига киради.

Суюқлантирмай туриб, масалан, электролиз қилиш, қовуштириш, сублиматлаш* ва бошқа усуллар билан ҳосил қилинган қотишмалар ҳам бўлади, бундай қотишмалар *псевдоқотишмалар* деб аталади. Техникада тоза металлар эмас, балки уларнинг бошқа металлар билан ёки металлоидлар билан ҳосил қилган қотишмалари кўп ишлатилади. Масалан, тоза темир техникада қарийб ишлатилмайди, аммо темир билан углероддан ва жуда оз миқдорда бошқа баъзи элементлардан иборат қотишмалар кенг кўламда ишлатилади. Тоза мис техникада кам ишлатилади (тоза мисдан, асосан, электротехника саноатида фойдаланилади), аммо мис билан рух қотишмаси (латунь) ёки мис билан қалай, алюминий, кремний ва бошқа баъзи элементлардан иборат қотишма (бронза) анча кўп ишлатилади ва ҳоказо.

2-§. ФАЗА, СИСТЕМА ВА КОМПОНЕНТЛАР ТЎҒРИСИДА ТУШУНЧА

Суюқ ёки қаттиқ ҳолатдаги қотишманинг бошқа қисмларидан чегара сиртлар билан ажралган, бир хил химиявий тартибга ёки тузилишга эга бўлган ва бир хил агрегат ҳолатда турган бир жинсли (гомоген) қисми *фаза* дейилади.

Мувозанатда турган фазалар мажмуи *система* деб, системани ташкил этувчи моддалар эса *компонентлар* деб аталади.

Фазалар сонига қараб, системалар бир фазали, икки фазали ва ундан ортиқ фазали бўлиши мумкин. Масалан, бир жинсли суюқ эритма, бир жинсли қаттиқ эритма, химиявий бирикма бир фазали системалар жумласига киради, чунки уларда чегара сиртлар билан ажралган қисмлар бўлмайди, икки хил ва ундан ортиқ хил кристаллардан иборат

---

* *Сублимация* сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси қаттиқ ҳолатдан бирданига буғ ҳолатига ўтиш демакдир; *сублиматлаш* — қаттиқ ҳолатдан буғ ҳолатига ўтказиш.

аралашма эса икки фазали ёки ундан ортиқ фазали бўлади, чунки ҳар қайси хил кристалл бошқа хил кристаллардан ўз таркиби ёки тузилиши жиҳатидан фарқ қилади ва бир-биридан чегара сиртлар билан ажралган бўлади.

Система фазаларининг сонига халал етказмай ўзгартирилиши мумкин бўлган ташқи ва ички факторлар сони (температура, босим ва концентрация) системанинг *эркинлик даражалари сони* ёки *вариантлиги* дейилади.

3-§. ФАЗАЛАР ҚОИДАСИ

1873—1878 йилларда Д. Гиббс кўп фазали гетероген (кўп жинсли) системаларнинг мувозанатини ифодалаш учун, термодинамиканинг биринчи ва иккинчи қонунларига асосланиб, фазалар қоидаси деб аталадиган бир қонунни топди.

Биз фаза, система, компонент ва эркинлик даражалари сони (вариантлик) нима эканлигини билиб олдик. Энди фазалар қоидасини таърифлашга ўтсак бўлади.

Мувозанат ҳолатида турган ҳар қандай системанинг фазалари сони, компонентлари сони ва эркинлик даражалари сони орасидаги боғланишни кўрсатувчи математик ифода *фазалар қоидаси,* бошқача қилиб айтганда, *Гиббс қонуни* деб аталади.

Фазалар қоидасини келтириб чиқариш учун мувозанатда турган системанинг фазалари сонини $Ф$ ҳарфи билан, компонентлари сонини $К$ ҳарфи билан, эркинлик даражалари сонини $С$ ҳарфи билан белгилаймиз.

Икки компонентли фазанинг таркибини билиш учун компонентлардан бирининг процент билан ифодаланган миқдорини билиш кифоя. 100% дан биринчи компонентнинг процент билан ифодаланган миқдори айрилса, иккинчи компонентнинг миқдори чиқади. Бинобарин, бирор фазадаги компонентлар сони $К$ бўлса, фазанинг таркиби $(К—1)$ компонентнинг концентрацияси билан ифодаланади. Фазадаги компонентлардан бирининг концентрациясини билиш учун қолган барча компонентлар концентрацияларининг йиғиндисини 100 дан айириш керак. Демак, ҳар қайси фазада концентрация параметрлари сони $(К—1)$ бўлади. Системанинг барча фазаларидаги концентрация параметрлари сони $(К—1)$ $Ф$ га тенг. Бунга яна икки параметрни (факторни) — босим билан температурани қўшсак, системадаги барча параметрлар сони чиқади:

$$(К - 1)\ Ф + 2.$$

Мувозанатда турган система учун ҳар қайси компонентнинг барча фазалардаги эркин энергия даражаси (термодинамик потенциали) бир хил бўлиши керак. Буни қуйидаги тенгламалар системаси билан ифодалаймиз (μ — эркин энергия даражаси):

1-компонент учун $\mu_1^{I} = \mu_1^{II} = \mu_1^{III} = \mu_1^{IV} = \ldots = \mu_1^{ф}$

2-компонент учун $\mu_2^{I} = \mu_2^{II} = \mu_2^{III} = \mu_2^{IV} = \ldots = \mu_2^{ф}$

3-компонент учун $\mu_3^{I} = \mu_3^{II} = \mu_3^{III} = \mu_3^{IV} = \ldots = \mu_3^{ф}$

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

$К$-компонент учун $\mu_к^{I} = \mu_к^{II} = \mu_к^{III} = \mu_к^{IV} = \ldots = \mu_к^{ф}$

Бу тенгламалар системасида эркинлик даражалари сони (C) нимага тенглигини ҳисоблаб топайлик.

Юқоридаги тенгламалар системасида ҳаммаси бўлиб K сатр ва ҳар қайси сатрда $(Ф-1)$ тенглама бор. Бир сатрдаги тенгламалар сонини сатрлар сонига кўпайтирсак, барча тенгламалар сони чиқади:

$$(Ф-1)\ K.$$

Биз кўриб чиқаётган системада мустақил ўзгарувчилар температура, босим ва концентрациядир. Ҳар бир фазага барча компонентлар киради деб фараз қилиб, K—1 та компонентнинг концентрациясини ўзгартириш мумкин. Энг охирги компонентнинг концентрацияси айирмага қараб топилади.

Фазалар сони $Ф$ бўлганлигидан, мустақил ўзгарувчилар сони концентрация учун $(K-1)\ Ф$ га, температура учун 1 га ва босим учун 1 га тенгдир. Буларни бир-бирига қўшсак, барча мустақил ўзгарувчилар сони чиқади:

$$(K-1)\,Ф+1+1=(K-1)\,Ф+2.$$

Системанинг эркинлик даражалари сони мустақил ўзгарувчилар сони билан тенгламалар сони орасидаги айирмага тенг:

$$C=(K-1)\,Ф+2-(Ф-1)\,K.$$

Қавсларни очиб, ўхшаш ҳадларни ихчамласак, қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$C=K-Ф+2.$$

Ана шу тенглама фазалар қоидасининг ифодасидир.

Шуни яна бир марта таъкидлаб ўтиш керакки, фазалар қоидаси фақат мувозанатда турган системалар учунгина татбиқ этилиши мумкин. Мувозанатда турмаган системалар учун бу қоидани татбиқ этиб бўлмайди.

Агар мувозанатда турган система компонентларида содир бўладиган барча процесслар (ўзгаришлар) ўзгармас босимда борса, мустақил ўзгарувчилар сони битта камаяди ва фазалар қоидасининг тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$C=K-Ф+1.$$

$C=0$ бўладиган ҳолни кўриб чиқайлик. Бир компонентли (тоза металлдан иборат) системани олайлик. Металл суюқ ҳолатда бўлганда, системанинг эркинлик даражалари сони 1 га тенг бўлади, чунки компонентлар сони ҳам, фазалар сони ҳам 1 га тенгдир:

$$C=K-Ф+1=1-1+1=1.$$

Бундай ҳолда металлнинг агрегат ҳолатини ўзгартирмай, температурани ўзгартириш мумкин. Суюқ металлнинг кристалланиш пайтида система бир компонент ва икки фазадан иборат бўлади, бунда системанинг эркинлик даражалари сони нолга тенгдир:

$$C=K-Ф+1=1-2+1=0.$$

Демак, $C=0$ бўлганда маълум бир температурадагина (суюқланиш температурасидагина) икки фаза мувозанатда туради ва бу мувозанатни фазалардан бири йўқолгунча ўзгартириб бўлмайди.

Мувозанатда турган барча металл қотишмаларини (системаларини) ўрганишда $C=K-Ф+1$ тенгламадан фойдаланамиз, чунки процесслар ўзгармас босимда боради.

Эркинлик даражалари сони нолга тенг системалар *вариантсиз (нонвариантли* ёки *инвариантли)*, эркинлик даражалари сони бирга тенг системалар *бир вариантли (моновариантли)*, эркинлик даражалари сони иккига тенг системалар *икки вариантли (бивариантли)*, эркинлик даражалари сони учга тенг системалар *уч вариантли (тривариантли)* системалар деб аталади.

Агар система вариантсиз бўлса, системанинг ташқи ва ички факторлари (температура, босим, концентрация) ўзгартирилганда, система фазалари сони ҳам ўзгаради. Агар система бир вариантли бўлса, системанинг ташқи ва ички факторларидан бири маълум чегарада ўзгартирилганда сисгема фазаларининг сони ўзгармаслиги мумкин.

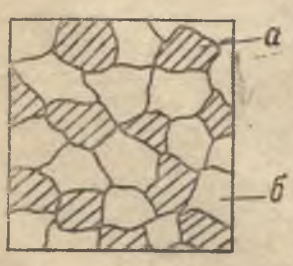
Бинобарин, фазалар қоидаси система мувозанат шартининг математик ифодасидир.

4- §. ҚОТИШМАЛАРНИНГ БИРЛАМЧИ КРИСТАЛЛАНИШИ

Қотишманинг тузилиши, маълумки, тоза металлнинг тузилишига қараганда анча мураккаб бўлади. Қотишманинг тузилиши шу қотишма таркибига кирган компонентларнинг ўзаро қандай таъсир этишига боғлиқдир. Бирламчи кристалланишда қотишма таркибига кирувчи моддалар бир-бирида эрий олмаслиги ҳам, ўзаро химиявий таъсир эта олмаслиги ҳам мумкин; бундай ҳолларда *механик аралашмалар* ҳосил бўлади. Қотишма таркибига кирувчи моддалар (оддий моддалар) бир-бирида эриб, *қаттиқ эритмалар* ҳосил қилиши ва бир-бири билан химиявий таъсир этиб, *химиявий бирикмалар* ҳосил қилиши ҳам мумкин. Қаттиқ эритма ва химиявий бирикмалардан ташқари, шундай фазалар ҳам борки, уларни қаттиқ эритмаларга ҳам, химиявий бирикмаларга ҳам тўла киритиб бўлмайди — улар гўё оралиқ фазалардир (шу бобнинг 7- параграфига қаранг). Буларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

5- §. МЕХАНИК АРАЛАШМАЛАР

Компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримайдиган ва химиявий бирикма ҳам ҳосил қилмайдиган системалар (қотишмалар) *механик аралашмалар* дейилади. Масалан, *А* ва *В* компонентлардан тузилган система бор деб фараз қилайлик. Бу система суюқ ҳолатда бир жинсли бўлсин, аммо қотиш (кристалланиш) жараёнида *А* компонентнинг атомлари билан *В* компонентнинг атомлари умумий бир кристалл панжаранинг таркибига кирмай, яъни бир-бирида эримай, алоҳида-алоҳида кристалл панжаралар ҳосил қилсин. Ана шу система батамом кристалланганидан кейин механик аралашма бўлади. Демак, механик аралашма *А* компонент кристаллари билан *В* компонент кристалларидан иборат қотишмадир (69- расм).



69- расм. Механик аралашманинг микроскопик тузилиши (схема):

а — *А* компонент кристаллари;
б — *В* компонент кристаллари.

Механик аралашмада ҳар қайси компонентнинг ўз кристалл панжараси борлигини рентгенография усулида аниқлаш мумкин.

Механик аралашмадаги *А* компонент кристалининг хоссалари тоза *А* компонент хоссалари билан, *В* компонент кристалининг хоссалари эса тоза *В* компонент хоссалари билан бир хил бўлади. Бинобарин, механик аралашма ҳосил қилган компонентларнинг хоссалари ўзгармайди.

Қотишма компонентларидан бири атомининг диаметри иккинчи компонент атомининг диаметридан анча (15—17% дан ортиқ) фарқ қилса, компонентлар Д. И. Менделеев даврий жадвалида бир-биридан узоқда турган бўлса ва уларнинг суюқланиш температураларида ҳам анчагина фарқ бўлса, шундагина механик аралашма ҳосил бўлиши аниқланган. Аммо шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, металл қотишмалари компонентларининг бир-бирида батамом эримаслиги амалда кузатилмайди. Бир компонентнинг ҳеч бўлмаганда жуда оз миқдори иккинчи компонентда эрийди, яъни уларда бир-бирида чекланган миқдорда эрувчанлик хусусияти бўлади.

6-§. ҚАТТИҚ ЭРИТМАЛАР

Кўпчилик қотишмалар (металл қотишмалари) суюқ ҳолатда бир жинсли, яъни компонентлари бир-бирида эриган ҳолатда бўлади. Кристалланиш жараёнида бир жинслилик сақланиб қолади—система компонентларининг атомлари умумий кристалл панжаранинг таркибига киради, яъни компонентлар бир-бирида эрийди. Демак, эрувчи компонентнинг эрувчанлиги ва эритувчи компонентнинг эритувчанлиги қаттиқ ҳолатда ҳам сақланиб қолади. Бундай қотишманинг кристалланишида ҳосил бўладиган қаттиқ фаза *қаттиқ эритма* дейилади. Бинобарин, қаттиқ эритма бир фазали, бир турдаги кристаллардан иборат ва бир кристалл панжарага эга қотишмадир. Қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши 70-расмда тасвирланган.



70-расм. Қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши (схема).

Атомларининг диаметрлари бир-биридан 15% дан кам фарқ қиладиган, Д. И. Менделеев даврий жадвалида бир-бирига яқин турган элементлар, кўпинча, қаттиқ эритмалар ҳосил қилади.

Қаттиқ эритма ҳосил бўлишида эритувчи вазифасини: а) металл ўташи, б) металл билан металлнинг ёки металл билан металлоиднинг барқарор химиявий бирикмаси ўташи мумкин.

Эритувчи вазифасини металл ўтайдиган қаттиқ эритмалар. Бундай қаттиқ эритмалар *бирламчи қаттиқ эритмалар* дейилади. Бирламчи қаттиқ эритмалар ҳам, ўз навбатида, икки хил бўлади, булардан бири ўрин олиш қаттиқ эритмалари бўлса, иккинчиси сингиш қаттиқ эритмаларидир. Қотишмада эрувчи компонентнинг атомлари эритувчи компонент кристалл панжарасидаги атомлар ўрнини қисман олишидан ҳосил бўлган қаттиқ эритма *ўрин олиш қаттиқ эритмаси* деб аталади. Агар қаттиқ эритма эрувчи компонент атомларининг эритувчи компонент кристалл панжарасидаги атомлар оралиғига кириши (сингиши) натижасида ҳосил бўлса, бундай қаттиқ эритма *сингиш қаттиқ эритмаси* дейилади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари. Қаттиқ эритманинг кристалл панжарасида эрувчи компонент атомларининг эритувчи атомлари ўрнини олиш ҳодисаси қандай содир бўлади, деган савол туғилади. Бу саволга жавоб бериш учун реал мавжуд кристалл модданинг тузилишини ҳозирги замон физикаси нуқтаи назаридан тасаввур қилиш керак. Маълумки, атомлар барча тугунларида бир текис ва мунтазам жойлашган панжаралар ҳақиқатда мавжуд бўлмаган, яъни идеал панжаралардир. Ҳақиқатда эса қаттиқ моддаларнинг кристалл панжаралари-

да бир қатор нуқсонлар бўлиб, бу нуқсонлар кристалл панжаранинг мунтазам тузилишини бузади.

Бундай нуқсонлардан бири, юқорида (22-бетда) айтиб ўтилганидек, кристалл панжара тугунларида вакансиялар, яъни атом (ион) билан банд бўлмаган жойлар борлиги бўлса, яна бири дислокацияланган, яъни кристалл панжаранинг тугунларида эмас, балки улар орасида жойлашган атомлар борлигидир. Бинобарин, кристалл панжарада атомларнинг иссиқликдан бўладиган ҳаракати уларнинг тебраниш ҳаракатидангина иборат бўлиб қолмай, балки илгарилама силжишидан ҳам иборатдир. Атомларнинг ана шу илгарилама силжиши кристалл панжаранинг нормал тузилишини гоҳ тиклаб, гоҳ бузиб, яъни нуқсонли жойлар ҳосил қилиб туради. Оддий моддаларнинг кристалл панжараларидаги атомларнинг илгарилама силжиши *ўздиффузия* деб, кристалл панжарага бегона атомларнинг кириб қолиши эса *диффузия* деб аталади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлишининг, яъни эрувчи компонент атомлари эритувчи компонент атомлари ўрнини олиш ҳодисасининг сабаби ўздиффузия ва диффузия процессларини келтириб чиқарадиган ана шу нуқсонлардир.

Ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида кристалл панжара параметрлари ё ортади ёки камаяди. Панжара параметрларининг ортиши ёки камайиши эрувчи компонент атомларининг ўлчамларига ва уларнинг эритувчи компонент атомлари билан ўзаро таъсир кучига боғлиқ бўлади. Агар эрувчи компонент атоми эритувчи атомидан катта бўлса, панжаранинг элементар катакчаси катталашади ва, аксинча, эрувчи компонент атоми эритувчи атомидан кичик бўлса, панжаранинг элементар катакчаси кичраяди.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари компонентлари чексиз эрийдиган ва компонентлари маълум чегарагача эрийдиган эритмаларга бўлинади. Компонентлари чексиз эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмаси (қотишма) эрувчи компонентнинг барча концентрацияларида бир жинсли бўлади. Компонентлари чексиз эрийдиган қаттиқ эритмалар тартибсиз ва тартибли бўлиши мумкин (86-бетга қаранг).

Кўпчилик металлар компонентлари маълум чегарагача эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади. Алюминий билан мис, мис билан рух, мис билан қалай қотишмалари ана шундай қаттиқ эритмаларга мисол бўла олади. Компонентлари маълум чегарагача эрийдиган қаттиқ эритмалар компонентларининг муайян концентрацияларидагина бир жинсли бўлади.

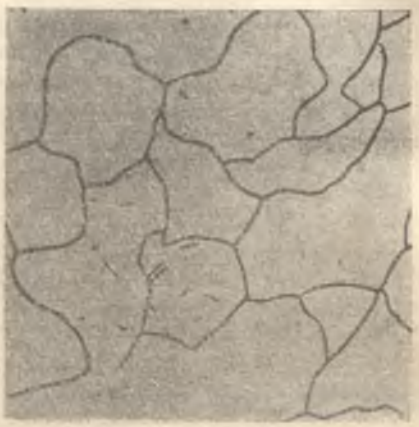
Компонентлари маълум чегарагача эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмалари уч турга: температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги камаядиган, температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги ўзгармайдиган ва температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги ортадиган қаттиқ эритмаларга бўлинади. Металларнинг энг кўпи биринчи тур ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади.

С и н г и ш қ а т т и қ э р и т м а л а р и. Ўрин олиш қаттиқ эритмалари билан сингиш қаттиқ эритмаларининг мавжудлиги рентгеноструктура анализи ёрдамида аниқланган; микроструктура анализи қаттиқ эритмалар тузилишидаги ўзига хос хусусиятларни очиб бера олмайди. Ҳамма ҳолларда ҳам микроскоп остида тоза қаттиқ эритманинг металл доналарига ўхшаш доналари кўринади. Бунга углероднинг γ-темирдаги сингиш қаттиқ эритмаси мисол бўла олади. Бу қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши (доналарнинг шакли ҳисобга олинмаганда) техник темирнинг микроскопик тузилишидан фарқ қилмайди (71-расм).

Сингиш қаттиқ эритмалари металлар билан металлоидлар, масалан, темир билан углерод, темир билан азот, темир билан кислород, темир билан бор, темир билан водород қотиштирилганда ҳосил бўлади. Сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлишида кристалл панжара параметрлари ҳамма вақт ортади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида ҳам, сингиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида ҳам эрувчи атомлари эритувчи кристалл панжарасида тартибсиз жойлашади.

Эритувчи вазифасини химиявий бирикма ўтайдиган қаттиқ эритмалар. Юқорида кўриб ўтилган бирламчи қаттиқ эритмалардан ташқари, эритувчи вазифасини химиявий бирикма ўтайдиган иккиламчи қаттиқ эритмалар ҳам бор. Иккиламчи қаттиқ эритмаларда атомларнинг бир қисми тартибли, бир қисми эса тартибсиз жойлашган бўлади. Масалан, эритувчи вазифасини A_nB_m таркибли химиявий бирикма ўтайди ва бу бирикма асосида иккиламчи қаттиқ эритма ҳосил бўлади, деб фараз қилайлик. Бундай иккиламчи эритма ҳосил бўлишида A_nB_m бирикманинг кристалл панжараси сақланиб қолади, аммо ортиқча атомлар, масалан, *B* элементнинг атомлари панжарада *A* элементнинг атомлари ўрнини олади.



71- расм. Техник темирнинг микроскопик тузилиши. ×400.

Химиявий бирикмада учинчи элемент ҳам эриши мумкин, бунда учинчи элемент *C* нинг атомлари кристалл панжара тугунларида *A* элементнинг ёки *B* элементнинг атомлари ўрнини олади.

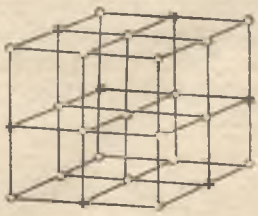
Иккиламчи қаттиқ эритмалар ҳосил бўлишида химиявий бирикманинг формуласи ўзгаради, яъни ундаги атомларнинг нисбати стехиометрик (ҳақиқий) нисбатига тўғри келмай қолади.

Иккиламчи қаттиқ эритма ҳосил бўлишида кристалл панжара тугунларидаги баъзи атомларнинг ўрни бўшаб қолиши, яъни панжаранинг айрим тугунлари атомлар билан банд бўлмаслиги ҳам мумкин.

Кристалл панжараси тугунларида бўш жойлар қоладиган қаттиқ эритмалар *айириш қаттиқ эритмалари* деб аталади.

Айириш қаттиқ эритмасининг кристалл панжараси 72- расмда тасвирланган.

Титан билан титан карбид, ванадий билан ванадий карбид, ниобий билан ниобий карбид қотишмалари айириш қаттиқ эритмаларига мисол бўла олади, чунки кристалланиш жараёнида бу карбидлар кристалл панжараларининг баъзи тугунлари углерод атомларидан бўшаб қолади.



Δ – панжаранинг бўш қолган тугунлари

○ – A компонент атомлари

● – B компонент атомлари

72- расм. Айириш қаттиқ эритмасининг кристалл панжараси.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, ўз таркибий қисмларидан қаттиқ эритмалар ҳосил қилмайдиган химиявий бирикмалар ҳам бўлади, аммо шундай бирикмалар ҳам борки (масалан $CuAl_2$), улар ўз таркибига

кирувчи элементлар атомларининг стехиометрик нисбатида фақат қаттиқ эритмалар тарзидагина мавжуд бўлиб, соф химиявий бирикма ҳолида мавжуд бўла олмайди. Н. С. Курнаков таркибидаги атомларнинг стехиометрик нисбатида мавжуд бўла олмай, фақат қаттиқ эритмалар ҳолидагина мавжуд бўладиган бирикмаларни К. Бертолле шарафига *бертоллидлар* деб, таркибидаги атомлар стехиометрик нисбатда бўладиган, яъни атомларининг нисбати ўзгармайдиган химиявий бирикмалар асосида вужудга келадиган қаттиқ эритмаларни эса Д. Дальтон шарафига *дальтонидлар* деб атади.

7- §. ХИМИЯВИЙ БИРИКМАЛАР ВА ОРАЛИҚ ФАЗАЛАР

Бирламчи кристалланиш жараёнида қотишма компонентлари бир-бири билан реакцияга киришиб, химиявий бирикмалар ва оралиқ фазалар ҳосил қилиши ҳам мумкинлиги юқорида (4- параграф) айтиб ўтилган эди. Бу параграфда ана шу химиявий бирикмалар билан оралиқ фазаларни кўриб чиқамиз.

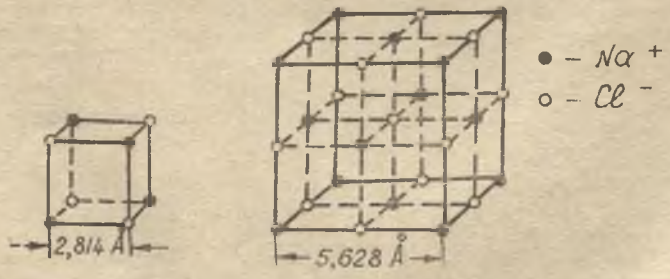
Бирламчи кристалланиш процессида ҳосил бўладиган химиявий бирикмалар ва оралиқ фазаларни уч группага: нормал валентли химиявий бирикмалар, электрон бирикмалар, сингиш фазалари группаларига бўлиш мумкин.

Нормал валентли химиявий бирикмалар. Бундай бирикмалар металлар билан металлар орасида ҳам, металлар билан металлоидлар орасида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Металлар билан металлар орасида ҳосил бўладиган химиявий бирикмаларга (интерметалл бирикмаларга) Mg_2Sn, Mg_2Pb, Mg_3Bi_2 ва бошқалар, металлар билан металлоидлар орасида ҳосил бўладиган химиявий бирикмаларга эса Mg_2Si, MgS, $NaCl$, $CaCl_2$ ва бошқалар мисол бўла олади.

Нормал валентли химиявий бирикмаларнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, биринчидан, уларда бир таркибий қисм атомлари билан иккинчи таркибий қисм атомлари оддий формула орқали ифодаланадиган стехиометрик нисбатда бўлади, иккинчидан, уларнинг кристалл панжараси таркибий қисмларининг кристалл панжарасига ўхшамайди, буни рентгенография усули билан аниқлаш мумкин. Нормал валентли химиявий бирикмалар кристалл панжарасида таркибий қисмларнинг атомлари батартиб жойлашади.

Масалан, натрий хлорид (ош тузи) NaCl нинг кристалл панжарасини олайлик (73- расм).

Расмдан кўриниб турибдики, натрий хлорид кристалл панжарасида хлор ионлари ёқлари марказлашган куб, натрий ионлари ҳам ёқлари



73- расм. Натрий хлориднинг кристалл панжараси:
а — панжаранинг элементар катакчаси; *б* — панжаранинг ўзи.

марказлашган куб панжара ҳосил қилади, аммо бу панжаралар бир-бирига нисбатан ярим давр (параметр) силжиган бўлади. Табиийки, бунда стехиометрик нисбат сақланиб қолади. Бу нисбат атомларнинг батартиб жойлашувидан келиб чиқади.

Натрий хлориддаги боғланиш ион боғланишдир, чунки панжара тугунларида мусбат зарядли натрий ионлари (Na^+) билан манфий зарядли хлор ионлари (Cl^-) бор, бу ионлар электростастик куч таъсирида бир-бирига тортилиб туради.

Агар нормал валентли химиявий бирикма интерметалл бирикма бўлса, унинг панжараси тугунларида мусбат ионлар жойлашади ва бу ионлар бир-бирига электронлар булути воситасида боғланади, бинобарин, интерметалл бирикмалардаги боғланиш металл боғланишдир. Бу боғланиш пухта бўлмай, муайян шароитда бирикмани ҳосил қилган элементлардан бири атомларининг сони стехиометрик нисбатга тўғри келадиган сонидан ортиб ёки камайиб қолади, натижада қаттиқ эритма ҳосил бўлади (83-бетга қаранг).

Нормал валентли химиявий бирикмаларнинг ўзига хос химиявий ва физикавий хоссалари бўлади. Улар муайян температурада суюқланади, бу бирикмаларнинг таркиби ўзгариши билан уларнинг хоссалари тўсатдан (кескин) ўзгаради. Интерметалл бирикмаларнинг қаттиқлиги таркибий қисмларидан ҳар бирининг қаттиқлигига қараганда юқори бўлади.

Нормал валентли химиявий бирикмаларда шу бирикмаларни ҳосил қилган компонентлар қаттиқ ҳолатда деярли эримайди.

Электрон бирикмалар (Юм-Розери фазалари). Инглиз металлофизиги В. Юм-Розери кўрсатиб ўтганидек, электрон бирикмаларда валент электронлар сонининг бирикма таркибидаги атомлар сонига нисбати, яъни электронлар концентрацияси ўзгармас бўлади. Бундай бирикмалар жумласига интерметалл бирикмаларнинг кўпчилиги киради. Электрон бирикмалар Cu — Zn, Cu — Sn, Cu — Al, Ag — Zn, Au — Zn системалари ва бошқа системаларда ҳосил бўлади.

Электрон бирикмаларда электронларнинг ҳар қайси концентрациясига муайян кристалл панжара тўғри келади.

Валент электронлар сонининг бирикма таркибидаги атомлар сонига нисбатини, яъни электронлар концентрациясини N ҳарфи билан белгиласак, масалан, Cu — Zn системасида $\frac{3}{2}$ нисбатга CuZn бирикма, $\frac{21}{13}$ нисбатга Cu_5Zn_8 бирикма, $\frac{7}{4}$ нисбатга эса $CuZn_3$ бирикма тўғри келади. Дарҳақиқат, CuZn таркибли бирикмада миснинг валент электронлари сони 1 га, рухнинг валент электронлари сони 2 га тенг, бирикмадаги атомлар сони эса 2 га баравардир. Демак, CuZn учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлади:

$$N_{CuZn} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}.$$

Cu_5Zn_8 бирикмада миснинг валент электронлари сони 5 га, рухнинг валент электронлари сони 2·8 га тенг, бирикмадаги атомлар сони эса 13 га баравар. Бинобарин, Cu_5Zn_8 учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлади:

$$N_{Cu_5Zn_8} = \frac{5+16}{13} = \frac{21}{13}.$$

Худди юқоридагидек мулоҳаза юритиб, $CuZn_3$ бирикма учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлишини топамиз:

$$N_{CuZn_3} = \frac{1+6}{4} = \frac{7}{4}.$$

CuZn фаза β-фаза деб, Cu_5Zn_8 фаза γ-фаза деб, $CuZn_3$ фаза эса ε-фаза деб аталади. β- фазанинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб, γ- фазанинг панжараси мураккаб куб, ε- фазаники эса гексагонал панжарадир. Одатда, системада учала фазанинг ҳаммаси ҳам учрайди.

Электрон бирикмаларни химиявий бирикмалар жумласига киритиш мумкин, чунки улар атомларнинг муайян нисбатига ва таркибидаги металларнинг кристалл панжараларидан ўзгача, яъни янги кристалл панжарага эгадир. Аммо уларда атомлар тартибли жойлашган эмас. Юқори температурада электрон бирикмалар таркибидаги металларнинг атомлари кристалл панжаранинг муайян тугунларида турмайди, температура бирор қийматга тушганда эса атомлар маълум даражада тартибга тушади; демак, бундай температурада электрон бирикмани қаттиқ эритмалар жумласига киритиш ҳам мумкин. Бинобарин, электрон бирикмаларни химиявий бирикмалар билан қаттиқ эритмалар орасидаги *оралиқ фазалар* деб ҳисобламоқ керак.

Одатдаги қаттиқ эритмаларда эриган компонент атомларининг эритувчи компонент кристалл панжарасида тартибсиз жойлашуви юқорида (6- параграфда) айтиб ўтилган эди. Аммо маълум шароитда атомлар кристалл панжара тугунларида муайян ўринларни ишғол этиб қолади, яъни тартибсиз вазиятдан тартибли вазиятга ўтади. Бу процесс *тартибга тушиш* деб, эриган элементнинг атомлари тартибли жойлашган қаттиқ эритмалар эса *тартибли қаттиқ эритмалар* деб аталади.

Эриган элемент атомларининг тартибга тушиш процесси тўла бўлиши, яъни атомлар тартибли қаттиқ эритма кристалл панжарасида тегишли ўринларни ишғол қилиши ва чала бўлиши, яъни атомларнинг бир қисми кристалл панжарада муносиб ўринларни ишғол қилиб, бир қисми эса тартибсиз жойлашуви мумкин.

Эриган элемент атомларининг тартибга тушиш процесси диффузион, яъни атомларнинг кўчиши билан боғлиқ бўлган процессдир, шунинг учун қотишманинг секин совитилиши атомларнинг тартибга тушувига ёрдам беради. Атомларнинг тартибга тушувида кристалл панжаранинг параметрлари (даврлари) ўзгариб, тузилиши ўзгармайди, яъни панжаранинг тури аввалгисидек бўлиб қолаверади. Баъзи ҳоллардагина кристалл панжара бир оз ўзгаради.

Қаттиқ эритмаларда эрувчи атомларининг эритувчи кристалл панжарасида тартибсиз вазиятдан тартибли вазиятга ўтиш ҳодисасини 1914 йилда Н. С. Курнаков, С. Ф. Жемчужний ва М. Заседателев биринчи бўлиб топдилар. Мис билан олтин қотишмаларининг электр қаршилигини текшириш вақтида уларнинг микроскопик тузилиши сезиларли даражада ўзгармаса-да, хоссаларининг ўзгариши аниқланди. Кейинчалик бориб, қотишма хоссаларининг ўзгариши кристалл панжара ичида атомларнинг қайта тақсимланишидан келиб чиқиши рентген анализидан фойдаланиш йўли билан топилди.

Тартибли қаттиқ эритмалар ҳам химиявий бирикмалар билан қаттиқ эритмалар оралиғидаги фазалардир. Эрувчи элемент атомлари батамом тартибга тушганда бундай фаза химиявий бирикмага ўхшайди, чунки, биринчидан, уларда маълум сондаги атомлар бўладики, уларни химиявий формула билан ифодалаш мумкин, иккинчидан, уларнинг кристалл панжарасида атомлар тартибли жойлашган бўлади. Тартиб-

ли қаттиқ эритмаларни одатдаги қаттиқ эритмалар жумласига киритиш ҳам мумкин, чунки уларда эритувчи металлнинг кристалл панжараси сақланиб қолади.

Сингиш фазалари. Сингиш фазалари оралиқ группа металлари билан атом радиуси кичик бўлган металлоидлар, масалан, водород, азот ва углероддан ҳосил бўлган оралиқ фазаларнинг каттагина группасидан иборатдир. Бу фазалар структурасининг характери металлоид атоми радиусининг металл атоми радиусига бўлган нисбатига боғлиқдир. Металлоидни *Э* билан ва металлни М билан белгиласак, бу нисбат $\frac{r_э}{r_м}$ билан ифодаланади. Агар $\frac{r_э}{r_м} \leqslant 0{,}59$ бўлса, металл атомлари оддий кристалл панжара ҳосил қилади ва бу кристалл панжарадаги металл атомлари оралиғига металлоид атомлари кириб (сингиб), сингиш фазалари ҳосил қилади.

Сингиш фазаларида металлар ёқлари марказлашган куб, ҳажмн марказлашган куб, атомлари зич жойлашган гексагонал панжара ёки оддий гексагонал панжара ҳосил қилади.

Сингиш фазалари химиявий бирикмалар жумласига киритилиши мумкин, чунки уларнинг таркибини оддий формулалар — $М_4Э$, $М_2Э$, МЭ, $МЭ_2$ билан ифодалаш мумкин, бундан ташқари, улар ўз таркибига кирувчи элементларнинг панжараларидан ўзгача панжаралар ҳосил қилади. Масалан, $М_4Э$ формулага тўғри келадиган сингиш фазаларида (чунончи, Fe_4N да) металл, бизнинг мисолимизда эса темир атомлари ёқлари марказлашган куб панжара ҳосил қилади, азот атомлари эса октаэдрларнинг марказларида туради.

Сингиш фазалари асосида ҳосил бўладиган қаттиқ эритмаларнинг ўзига хос хусусиятлари бор. Металл қотишмаларидаги сингиш фазалари таркибидаги атомлар қарийб ҳеч қачон стехиометрик нисбатда бўлмайди, яъни уларда металл атомлари ортиқча бўлади. Бунда металлоид атомлари ўрнини металл атомлари олмайди, балки металлоид атомлари етишмайди, яъни сингиш фазалари асосида айириш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлади.

8-§. ҚОТИШМАЛАРНИНГ ИККИЛАМЧИ КРИСТАЛЛАНИШИ

Металларда иккиламчи кристалланиш, яъни қаттиқ ҳолатда қайта кристалланиш содир бўлиши юқорида (38-бет) айтиб ўтилган эди. Иккиламчи кристалланиш ҳодисаси қотишмаларда ҳам бўлади. Қотишмаларнинг иккиламчи кристалланиши улар компонентларининг аллотропик шакл ўзгаришлари билан ёки қаттиқ эритмаларнинг қисман ёхуд батамом парчаланиши билан боғлиқдир. Қаттиқ эритмалар парчаланганда янги қаттиқ эритма, химиявий бирикма ёки механик аралашма ҳосил бўлиши мумкин.

Қаттиқ ҳолатдаги қотишмалар ўзгарганда янги фазалар ҳосил бўлганлигидан, бундай ўзгаришлар *фаза ўзгаришлари* дейилади, фаза ўзгаришлари содир бўладиган температура эса *фаза ўзгаришлари температураси* деб аталади.

Иккиламчи кристалланиш суюқ ҳолатдан кристалланишнинг умумий қонунига бўйсунади, аммо иккиламчи кристалланишнинг ўзига хос хусусиятлари ҳам бўлади. Бу хусусиятлар шундан иборатки, кристалланиш марказлари асосан фазаларни бир-биридан ажратиб турган чегараларда вужудга келади, янги ва аввалги фазалар орасида эса маълум вақт давомида структура мослиги (когерентлик) сақланиб туради.

9- §. ИККИ КОМПОНЕНТЛИ (БИНАР) СИСТЕМАЛАР (ҚОТИШМАЛАР)

Ҳолат диаграммалари тузиш усуллари. Система ҳолатининг температура ва концентрацияга қараб ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма *ҳолат диаграммаси* деб аталади.

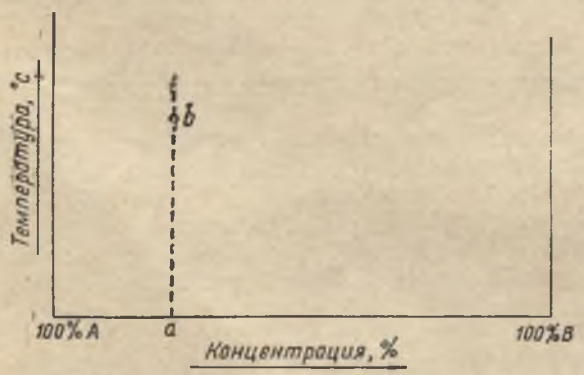
Ҳолат диаграммаси қотишманинг барқарор ҳолатларини, яъни айни шароитда энг кичик эркин энергияга эга ҳолатларини кўрсатади. Шунинг учун ҳолат диаграммасини *мувозанат диаграммаси* деб аташ мумкин, чунки у айни шароитда қандай фазалар ўзаро мувозанатда турганлигини кўрсатади.

Агар система бир компонентли бўлса, унинг ҳолат диаграммаси оддий бўлади, яъни бир тўғри чизиқ (температуралар ўқи) билан ифодаланади ва бу ўқдаги тегишли нуқталар системанинг мувозанат температураларини кўрсатади.

Агар система икки компонентдан иборат бўлса, бундай системанинг ҳолат диаграммасини тузиш учун бир-бирига тик иккита тўғри чизиқдан (абсциссалар ўқи билан ординаталар ўқидан) фойдаланилади. Бунда ординаталар ўқига температура, абсциссалар ўқига эса система компонентларининг концентрацияси қўйилади (74- расм).

Қотишмада иккала компонентнинг умумий миқдори 100% бўлади ва абсциссалар ўқининг ҳар бир нуқтаси ҳар қайси компонентнинг маълум бир миқдорига тўғри келади. Диаграмманинг энг чекка ординаталари бир компонентли системаларнинг ҳолат диаграммаларини ифодалайди, яъни улар тоза компонентларга (чапки ордината, масалан, тоза *A* компонентига, ўнгдаги ордината эса тоза *B* компонентга) тўғри келади. Бу ординаталар орасида икки компонентли қотишмалар бўлади. Масалан, таркиби *a* нуқтага тўғри келадиган қотишма (74- расм) *a*% *A* билан (100 — *a*) % *B* дан иборат.

Чекка ординаталар орасидаги ҳар қандай нуқта (масалан, *b* нуқта, 74- расм) қотишманинг таркиби билан температурасини кўрсатади. Бундай нуқталар системанинг *фигуратив нуқталари* дейилади, бундай нуқталар орқали ўтказилган вертикал чизиқлар (бизнинг мисолимизда *ab* чизиқ) эса *фигуратив нуқталарнинг чизиқлари* деб аталади.



74- расм. Икки компонентли системанинг ҳолат диаграмасини тузишда фойдаланадиган координата ўқлари.

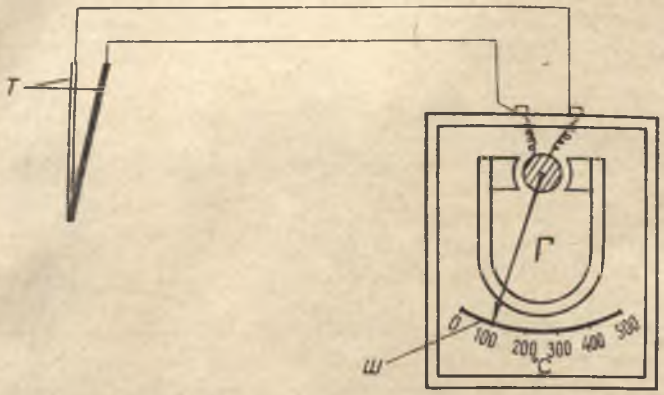
Ҳолат диаграммаси тузиш учун, одатда, термик анализ натижаларидан фойдаланилади. Термик анализ натижасида олинган маълумотлардан фойдаланиб, совиш эгри чизиқлари тузилади, совиш эгри чизиқларидаги горизонталлар — процесснинг иссиқлик эффектидан келиб чиққан горизонталлар ва эгилишларга қараб эса ўзгариш температуралари аниқланади.

Металларнинг температураси термоэлектрик пирометр (75- расм) ёрдамида ўлчанади.

Термоэлектрик пирометр термопара билан гальванометрдан тузилган ўлчов асбобидир. Термопара бир томондаги учлари бир-бирига

кавшарланган икки хил металл симдан иборат. Термопаранинг кавшарланмаган икки учи гальванометрнинг икки клеммасига уланади, натижада пирометр ҳосил бўлади. Гальванометр жуда кичик потенциаллар айирмасини ўлчаш учун хизмат қилади.

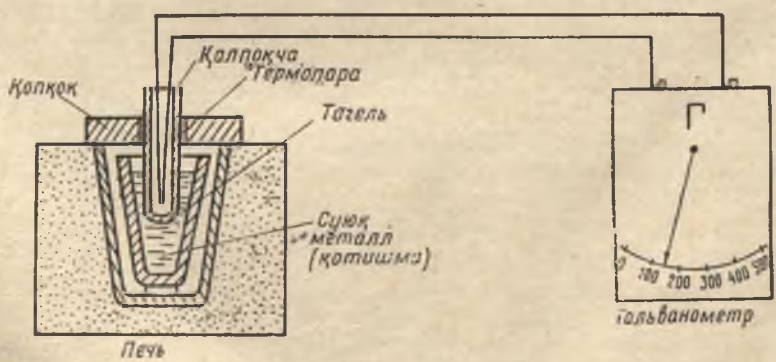
Термопаранинг кавшарланган учлари қиздирилганда термопара симларида потенциаллар айирмаси (термоток) ҳосил бўлади, буни гальванометр стрелкасининг оғишидан билиш мумкин. Гальванометр стрелкасининг оғиш даражаси температурага тўғри пропорционал бўлади,



75- расм. Термоэлектрик пирометрнинг тузилиши:
Т — термопара; *Г* — гальванометр; *Ш* — гальванометр шкаласи.

яъни температура кўтарилган сари гальванометр стрелкасининг оғиш бурчаги ортиб боради. Неча градус температурада гальванометр стрелкасининг қандай бурчакка оғиши билиб олингандан кейин, гальванометр шкаласи температураларга даражалаб чиқилади, демак, стрелка потенциаллар айирмасини эмас, тўғридан-тўғри температураларни кўрсатади.

Металл ёки қотишманинг температураси қуйидагича ўлчанади (76-расм). Ичига текширилиши керак бўлган металл ёки қотишма солин-



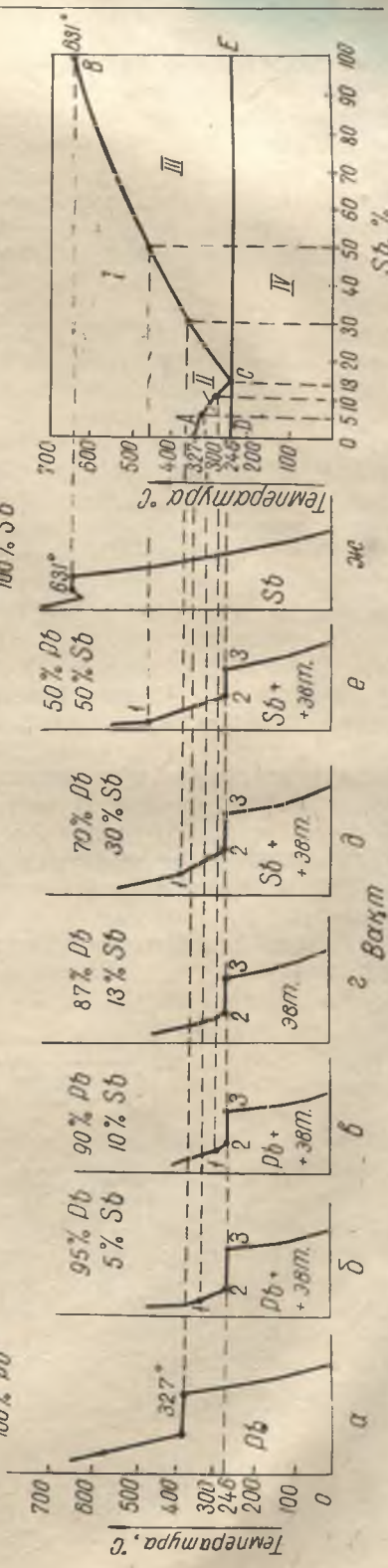
76- расм. Металл (қотишма) температурасини термоэлектрик пирометр ёрдамида ўлчаш схемаси.

ган тигелча муфель печига қўйилиб, металл (қотишма) суюқлантирилади. Сўнгра суюқ металл (қотишма) ичига термопаранинг чинни ёки кварц қалпоқча билан ҳимояланган учи туширилиб, печь ўчи-

рилади. Тигелдаги металл совиши билан унинг температураси маълум вақт оралиқларида ёзиб борилади. Шу тариқа олинган маълумотлардан фойдаланиб, температура — вақт координаталар системасида металлнинг ёки қотишманинг совиш эгри чизиғини, бир неча қотишмадан ҳар бирининг ўзгариш температураларини топиб, топилган температуралар асосида эса қотишмаларнинг ҳолат диаграммасини тузиш мумкин.

Масалан, қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримайдиган ва бир-бири билан химиявий бирикма ҳосил қилмайдиган, аммо суюқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган икки компонентдан иборат система бор, деб фараз қилайлик. Бундай система сифатида қўрғошин билан сурьмадан иборат системани оламиз*. Бу икки металлнинг бир неча хил қотишмасини, масалан, сурьманинг концентрацияси 5, 10, 13, 30 ва 50% бўлган қотишмаларини олиб, термик усулда уларнинг ҳар бири учун совиш эгри чизиғини тузамиз (77-расм).

77-расм, *а* да тоза қўрғошиннинг совиш эгри чизиғи тасвирланган. 327°С температурадан юқорида қўрғошин суюқ ҳолатда бўлади. Суюқ қўрғошин совитилганда 327°С да кристаллана бошлаб, шу температурада тамом кристалланиб бўлади. 76-расм, *б* да тасвирланган эгри чизиқ 95% қўрғошин билан 5% сурьмадан иборат қотишманинг совиш эгри чизиғидир. Бундай таркибли суюқ қотишма совитилса, *1* нуқтада кристаллана бошлаб, кристалланиш процесси ўзгарувчан температурада *2* нуқтагача давом этади, суюқ қотишманинг қолган қисми ўзгармас (246°С) температурада кристалланиб бўлади. *1—2* кесмада (ўзгарувчан температурада) суюқ қотишмадан қўрғошин кристаллари ҳосил бўлади.



77-расм. Қўрғошин—сурьма қотишмаларининг совиш эгри чизиқлари (чапда) ва ҳолат диаграммаси (ўнгда).

* Қўрғошин билан сурьма (шунингдек, бошқа барча металлар ҳам) қаттиқ ҳолатда, гарчи жуда оз бўлса-да, бир-бирида эрийди, бу металларнинг қаттиқ ҳолатда эрувчанлигини ҳисобга олмай, қўрғошин — сурьма системасини айтилган шартни қондирувчи система деб қараш мумкин.

Қўрғошин билан сурьманинг бир вақтда кристалланиши ўзгармас температурада (*2—3* кесма) бориши керак, чунки бу ҳолда система уч фазадан (суюқ қотишма, қўрғошин кристаллари ва сурьма кристалларидан) иборат бўлиб, системанинг эркинлик даражалари сони нолга тенгдир.

Совиш эгри чизиғининг *1—2* қисмида узлуксиз равишда қўрғошин кристалланиб борганлигидан, суюқ қотишмада сурьма миқдори ортиб боради ва *2* нуқтада суюқ қотишма таркибида 13% сурьма бўлади, бу нарса тажрибада аниқланган.

Кристаллана бошлаш нуқтаси (*1* нуқта) *ликвидус** нуқтаси деб, батамом кристалланиб бўлиш нуқтаси (*3* нуқта) эса *солидус*** нуқтаси деб аталади.

90% қўрғошин билан 10% сурьмадан иборат қотишма ҳам худди таркибида 5% сурьма бўлган қотишма каби кристалланади, аммо унинг кристалланиши 300°С дан бир оз паст температурада бошланади (77-расм, *в*).

Агар 87% қўрғошин ва 13% сурьмадан иборат суюқ қотишма совитилса, қўрғошин ҳам, сурьма ҳам бир температуранинг ўзида (246°С да) кристаллана бошлаб, худди шу температурада кристалланиб бўлади (77-расм, *г*).

Энди, 70% қўрғошин ва 30% сурьмадан иборат суюқ қотишмани олиб кўрайлик. Бундай суюқ қотишма совитилса, олдин сурьма узлуксиз равишда кристалланади, бунда суюқ қотишма таркибидаги қўрғошин миқдори ортиб боради. Суюқ қотишма 246°С температурагача совитилса, шу температурада (*2* нуқтада) сурьма билан қўрғошин бирга кристаллана бошлаб, *3* нуқтада қотишма батамом кристалланиб бўлади (77-расм, *д*).

50% қўрғошин ва 50% сурьмадан иборат қотишма ҳам таркибида 30% сурьма бўлган қотишма каби кристалланади, аммо унинг кристалланиши юқорироқ температурада бошланади (77-расм, *е*).

77-расм, *ж* да тасвирланган эгри чизиқ тоза сурьманинг совиш эгри чизиғидир. 631°С температурадан юқорида сурьма суюқ ҳолатда бўлади. 631°С да сурьма кристаллана бошлаб, шу температурада батамом кристалланиб бўлади.

Термик усулда топилган температуралар абсциссалар ўқида температура, ординаталар ўқида эса қўрғошин билан сурьманинг концентрациялари олинган координаталар системасига кўчирилса, 77-расмнинг ўнг томонида тасвирланган диаграмма ҳосил бўлади. Ана шу диаграмма қўргошин билан сурьмадан иборат системанинг (қотишманинг) ҳолат диаграммасидир.

Диаграммадаги *ACB* чизиғи ликвидус нуқталарининг геометрик ўрни бўлиб, *ликвидус чизиғи* деб аталади. Ликвидус чизиғидан юқорида (*I* соҳада) қотишмалар суюқ ҳолатда бўлади.

Диаграммадаги *DCE* чизиғи солидус нуқталарининг геометрик ўрни бўлиб, *солидус чизиғи* дейилади. Равшанки, солидус чизиғидан пастда (*IV* соҳада) қотишмалар қаттиқ ҳолатда бўлади. Таркибидаги сурьма миқдори 13% дан кам бўлган суюқ қотишмалардан дастлаб қўрғошин кристаллари ажралиб чиқади. Бинобарин, ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи орасида (*II* соҳада) бундай қотишмалар суюқ фаза билан қўрғошин кристалларидан иборат бўлади. Худди шунингдек, таркиби-

---

* *Ликвидус* сўзи латинча бўлиб, унинг таржимаси *суюқ* демакдир.

** *Солидус* (латинча сўз), унинг таржимаси *қаттиқ* демакдир.

даги сурьма миқдори 13% дан ортиқ бўлган суюқ қотишмалардан дастлаб сурьма кристалланганлигидан, ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи орасида (*III* соҳада) бундай қотишмалар суюқ фаза билан сурьма кристалларидан иборатдир.

Шундай қилиб, 77-расмнинг ўнг томонида тасвирланган диаграмма икки компонентли системанинг (қотишмаларнинг) ҳар қандай концентрациядаги ва ҳар қандай температурадаги ҳолатини ифодалайди. Бундай диаграммаларнинг ҳолат диаграммалари деб аталишига сабаб ҳам ана шу.

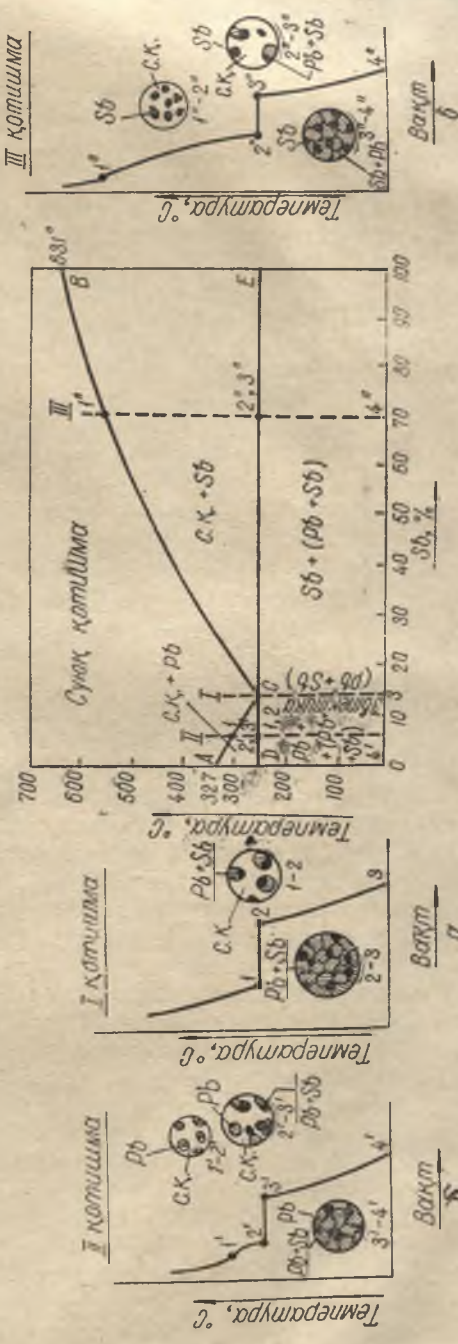
Ҳолат диаграммаларининг амалий металлшунослик учун, айниқса, термик ишлаш учун аҳамияти ғоят каттадир, чунки бу диаграммалар секин совитилган қотишмаларнинг микроскопик тузилишини аниқлашга, шунингдек, қотишмаларни термик ишлаш йўли билан уларнинг микроскопик тузилишини ўзгартириб бўлиш-бўлмаслигини билишга имкон беради, қотишмаларнинг технологик ва ишлатилиш хоссалари эса уларнинг микроскопик тузилиши билан узвий боғлиқдир.

Биринчи тип ҳолат диаграммаси. Иккала компоненти суюқ ҳолатда исталганча эриб, қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримайдиган ва бир-бири билан химиявий бирикмалар ҳосил қилмайдиган, яъни механик аралашмалар ҳосил қиладиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси *биринчи тип ҳолат диаграммаси* деб аталади.

Биринчи тип ҳолат диаграммасини юқорида келтирилган Pb—Sb системаси мисолида кўриб чиқамиз, чунки бу система компонентлари суюқ ҳолатда бир-бирида исталганча эриб, қаттиқ ҳолатда эримайди ва бир-бири билан химиявий бирикма ҳосил қилмайди.

Pb — Sb системасининг (қотишмаларининг) ҳолат диаграммасини яна келтириб ўтамиз (78-расм).

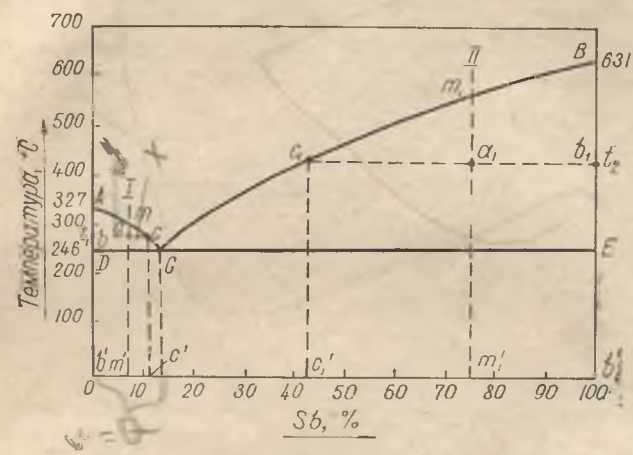
Диаграммадаги *ACB* — ликвидус чизиғи, *DCE* — солидус чизиғи. Суюқ қотишма совитилганда *AC* чизиғида Pb



78-расм. Pb — Sb қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари.

Буни конкрет бир мисолда кўриб чиқайлик. Бунинг учун юқорида кўриб ўтилган Pb — Sb системасини олиб, унинг ҳолат диаграммасини яна чизиб кўрсатамиз (80- расм).

I котишманинг t_1 температурадаги ҳолатини кўрсатувчи *a* нуқтада қотишма Pb кристаллари билан суюқ фазадан иборатдир. *m* нуқтадан юқорида қотишма фақат бир фазадан — суюқ фазадан иборат бўлади ва бу фаза компонентларининг концентрацияси *m* нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияси m' дан топилади. Суюқ қотишма совитилганда ундан Pb кристаллари ажралиб чиқади, натижада суюқ қотишманинг таркиби ўзгаради, яъни унда Sb нинг концентрацияси ортади. t_1 температурада суюқ қотишмадаги Pb нинг концентрацияси *c* нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияси c' дан топилади; Pb нинг бу концентрацияси қўрғошиннинг t_1 температурада суюқ қотишма таркибида бўлиши мумкин бўлган энг кўп миқдоридир. Котишма эвтектика температурасигача (246°C гача) совитилса, суюқ фазанинг концентрацияси эвтектика концентрациясига тенг бўлиб қолади. Демак, *I* қотишма совитилганда суюқ фазанинг концентрацияси *mc* чизиғи бўйича ўзгаради. Ажралиб чиқадиган Pb кристаллари ўзгармас таркибга эгадир, яъни у тоза компонент (Pb) бўлиб, унинг концентрацияси b' нуқтадан топилади, яъни у 100% га тенг бўлади.



80 расм Pb— Sb системасининг ҳолат диаграммаси.

t_1 температурадаги *I* қотишма учун иккала фазалаги компонентларнинг концентрацияси (таркиби) *b* ва *c* нуқталарнинг концентрациялар ўқидаги проекциялари (b' ва c') дан топилади. Демак, b' нуқта тоза қўрғошинни, c' нуқта эса суюқ фазадаги қўрғошиннинг концентрациясини билдиради.

Айни температурадаги қотишмада мувозанатда турган қаттиқ фаза (Pb кристаллари) билан суюқ фаза *ёндош фазалар* деб, шу фазаларга тегишли нуқталар (*b* ва *c*) *ёндош нуқталар* деб, диаграммада ёндош нуқталарни туташтирувчи чизиқ эса *конода* деб аталади. Фигуратив нуқта орқали ўтказилган бундай конода ёндош фазаларнинг концентрациясинигина эмас, балки уларнинг бир-бирига ёки бутун қотишма оғирлигига бўлган *миқдорий нисбатларини* ҳам аниқлашга имкон беради.

Масалан, *I* қотишмада m' % Pb ва $(100 - m')$% Sb бор. Бинобарин, *bc* кесма ҳамма қотишманинг миқдорини (оғирлигини), *ba* кесма қотишмадаги сурьма миқдорини, *ac* кесма эса қотишмадаги қўрғошин кристаллари миқдорини ифодалайди. *a* нуқтада қотишма қўрғошин кристаллари билан *c* концентрацияли суюқ фазадан иборат. t_1 температурада суюқ фаза ҳамма қотишманинг қандай қисмини ташкил этишини билиш керак, дейлик. Ҳамма қотишманинг миқдорини *Q* билан, ажралиб чиққан қўрғошин кристаллари миқдорини эса *x* билан белгилаймиз. *bac* конодадаги *bc* кесма ҳамма қо-

тишманинг оғирлигини, *ca* кесма эса ажралиб чиққан қўрғошин кристаллари миқдорини ифодалагани учун мана бундай ёза оламиз:

$$\frac{x}{Q} = \frac{ac}{bc}, \qquad (1)$$

бундан:

$$x = \frac{ac}{bc} \cdot Q$$

бўлади. $\frac{ac}{bc}$ нисбатнинг қийматини *b*, *a* ва *c* нуқталарнинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияларидан топиш мумкин. Агар ҳамма қотишманинг оғирлиги (*Q*) маълум бўлса, *a* нуқтадаги Pb кристаллари миқдорини (оғирлигини) топиш қийин эмас.

$Q = 1$ деб олсак, $\frac{ac}{bc}$ нисбат ажралиб чиққан қўрғошин кристалларининг миқдорини ифодалайди. Буни қуйидагича исботлаймиз.

Қотишманинг умумий оғирлиги бирга тенг деб олинганлиги учун, ажралиб чиққан қўрғошин кристалларининг миқдори (оғирлиги) *x*, суюқ фазанинг миқдори эса $1 - x$ бўлади. Бу ҳолда ажралиб чиққан қўрғошин кристалларининг миқдори қуйидагича топилади:

$$c'b'(1 - x) = c'b' - c'b'x = m'b'$$

$$xc'b' = c'b' - m'b'$$

$$x = \frac{c'b' - m'b'}{c'b'}$$

$c'b' - m'b' = ac$ ва $c'b' = bc$ бўлганлигидан:

$$x = \frac{ac}{bc}$$

бўлади.

Суюқ фаза учун:

$$c'b' \cdot x = m'b'$$

$$x = \frac{m'b'}{c'b'}$$

$m'b' = ab$; $c'b' = bc$ бўлганлигидан бундай ёзамиз:

$$x = \frac{ba}{bc}.$$

Бу ерда $\frac{ba}{bc}$ нисбат *c* концентрацияли суюқ фазанинг миқдорини ифодалайди. Суюқ фаза миқдори билан ажралиб чиққан Pb кристаллари миқдорини адаштириб юбормаслик учун суюқ фаза миқдорини *y* билан белгилаймиз.

Энди, *I* қотишмадаги *c* концентрацияли суюқ фазанинг миқдори (*y*) ни аниқлайлик. Бунда ҳам қотишманинг умумий оғирлигини *Q* билан белгилаймиз. *bac* конодадаги *bc* кесма ҳамма қотишманинг оғирлигини, *ba* кесма эса *c* концентрацияли суюқ фазанинг оғирлигини ифодалагани учун, қуйидагиларни ёзамиз:

$$\frac{y}{Q} = \frac{ba}{bc}, \qquad (2)$$

бундан:

$$y = \frac{ba}{bc} \cdot Q$$

келиб чиқади. Агар $Q = 1$ деб олсак, $\frac{ba}{bc}$ нисбат *I* қотишмадаги суюқ фазанинг миқдорини ифодалайди. Бунинг исботи ҳам юқорида келтирилган.

Ниҳоят, ёндош фазаларнинг нисбатини топиш керак бўлса, қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$\frac{x}{y} = \frac{ac}{ba} \text{ ёки } \frac{y}{x} = \frac{ba}{ac}. \tag{3}$$

Pb — Sb системасининг ҳолат диаграммасидаги *II* қотишмани кўриб чиқайлик (80- расм). Бу ерда ҳам ҳамма қотишманинг оғирлигини Q_1 билан, ажралиб чиққан сурьма кристаллари оғирлигини x_1 билан белгилаймиз. $b_1a_1c_1$ конодадаги b_1c_1 кесма ҳамма қотишманинг оғирлигини, c_1a_1 кесма эса ажралиб чиққан сурьма кристаллари оғирлигини ифодалагани учун, бундай ёза оламиз:

$$\frac{x_1}{Q_1} = \frac{a_1c_1}{b_1c_1},$$

бундан

$$x_1 = \frac{a_1c_1}{b_1c_1} \cdot Q_1 \tag{1'}$$

бўлади. $\frac{a_1c_1}{b_1c_1}$ нисбатнинг қийматини b_1, a_1 ва c_1 нуқталарнинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияларидан топамиз. Ҳамма қотишманинг оғирлиги (Q_1) маълум бўлса, a_1 нуқтадаги Sb кристаллари оғирлигини топиш мумкин.

Энди, *II* қотишмадаги c_1 концентрацияли суюқ фазанинг миқдори (y_1) ни топайлик. Қотишманинг умумий оғирлиги Q_1 бўлганлигидан ва $b_1a_1c_1$ конодадаги b_1c_1 кесма ҳамма қотишманинг оғирлигини, b_1a_1 кесма эса c_1 концентрацияли суюқ фазанинг оғирлигини ифодалаганлигидан қуйидагини ёза оламиз:

$$\frac{y_1}{Q_1} = \frac{b_1a_1}{b_1c_1},$$

бундан:

$$y_1 = \frac{b_1a_1}{b_1c_1} \cdot Q_1 \tag{2'}$$

келиб чиқади.

Ёндош фазаларнинг бир-бирига нисбатини топиш керак бўлса, қуйидаги ифодадан фойдаланамиз:

$$\frac{x_1}{y_1} = \frac{a_1c_1}{b_1a_1} \text{ ёки } \frac{y_1}{x_1} = \frac{b_1a_1}{a_1c_1}. \tag{3'}$$

Кўрамизки, фазаларнинг миқдорларини ва уларнинг нисбатини аниқлаш принципи ҳолат диаграммасининг икки фазали барча соҳаларида ҳам бир хилдир.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, кесмалар қоидасидан фойдаланишда кесмаларнинг диаграммадаги фазаларга нисбатан қайси вазиятда жойлашганлигига ҳамма вақт эътибор бериш керак. Конодада, одатда, иккита кичик кесма (*ab* ва *ac* кесмалар) ва битта катта кесма (*bc* кесма) бўлади. Кесмаларнинг нисбатини фазаларнинг оғирликларига пропорционал қилиб олишда ёндош фазага мувофиқ келадиган кичик кесма диаграммада шу фаза вазиятининг тескари томонида жойлашган бўлиши керак. Масалан, суюқ фаза учун *ab* кесма, яъни суюқ қотишма чегарасига тегиб турмайдиган кесма, каттиқ фаза учун эса *bc* кесма, яъни қўрғошин кристаллари вазиятига тегиб турмайдиган кесма олиниши зарур.

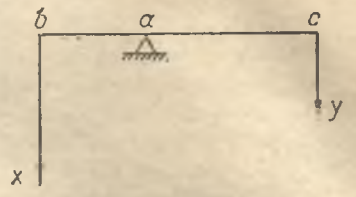
ҳққол бўлиши учун кесмалар қоидасини механикадаги ричаг қоидаси билан таққослаб кўриш мумкин. Pb — Sb ҳолат диаграммасида *I* қотишманинг маълум бир ҳолатини кўрсатувчи *a* нуқтани ричагнинг таянч нуқтаси деб қабул қилсак (81- расм), *c* нуқта суюқ фазанинг концентрациясини, *b* нуқта эса қаттиқ фазанинг концентрациясини кўрсатади.

Қаттиқ фаза (қўрғошин кристаллари) миқдори x нинг суюқ фаза миқдори y га нисбати биринчи тур ричаг моментлари тенгламасидан топилади:

$$x \cdot ab = y \cdot ac.$$

Бу тенгламанинг иккала томонини $y \cdot ab$ га бўлсак, қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$\frac{x}{y} = \frac{ac}{ab}.$$



81- расм. Ричагнинг схемаси.

Температура пасайгани сари $\frac{ac}{ab}$ нисбатнинг катталашиб боришини ҳолат диаграммасидан кўриш қийин эмас (80- расмга қаранг). Солидус чизиғига, яъни суюқликдан эвтектика ҳосил бўлиш чизиғига тушилганда қаттиқ фаза оғирлигининг ҳамма қотишма оғирлигига нисбати қуйидагича бўлади:

$$\frac{x}{Q} = \frac{aC}{DC},$$

бундан:

$$x = \frac{aC}{DC} \cdot Q.$$

Суюқ фаза оғирлигининг ҳамма қотишма оғирлигига нисбати эса бундай ёзилади:

$$\frac{y}{Q} = \frac{Da}{DC}, \qquad (4)$$

бундан:

$$y = \frac{Da}{DC} \cdot Q.$$

Солидус чизиғидан пастда суюқ фазанинг ҳаммаси батамом эвтектикага ўтади ва (4) ифода ўз кучини сақлаб қолади. Бинобарин, (4) ифодадан фойдаланиб солидус чизиғидан пастки ҳар қандай қаттиқ қотишмадаги эвтектика миқдорини ҳам аниқлаш мумкин.

Биринчи тип ҳолат диаграммаларида кесмалар қоидасини фақат икки фазали соҳаларгагина татбиқ этиш мумкин. Бир фазали соҳаларда эса фақат битта фаза бўлади; демак, бир фазали соҳа ичидаги ҳар қандай нуқта шу фазанинг концентрациясини (таркибини) кўрсатади.

Юқорида келтирилган ифодаларга температура кирмаганлигидан, кесмалар қоидаси ҳар қандай температуралар учун ҳам, демак, ҳар хил ҳолат диаграммаларининг икки фазали ҳар қандай соҳаси учун ҳам татбиқ қилиниши мумкин. Буни биз юқорида кўриб ўтдик.

Юқорида айтилганларни конкрет мисолларда кўриб чиқайлик.

1- мисол. 300°С температурада 60% Sb ва 40% Pb дан иборат қотишмадаги суюқ фаза миқдори билан қаттиқ кристаллар миқдорини аниқланг (82- расм, *а*).

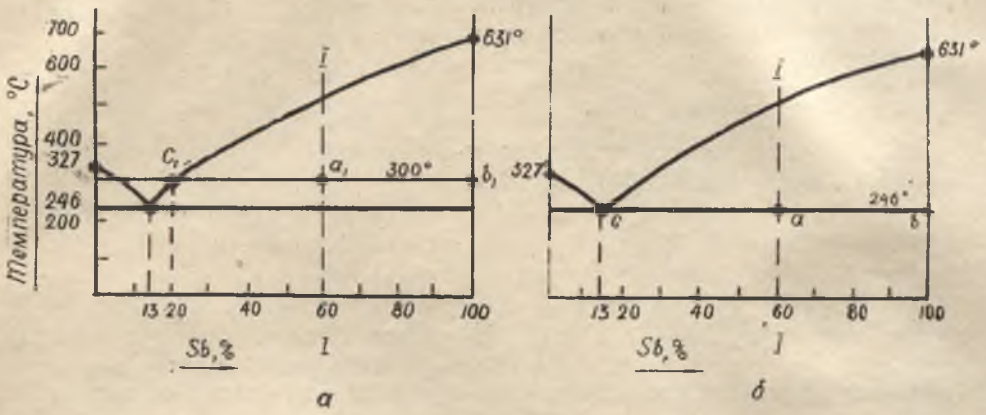
Айни температурада суюқ фазанинг таркиби c_1 нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекциясидан топилади, яъни унда 20% Sb бор. a_1 нуқтада *I* қотишма Sb кристалларидан (x_1) ва суюқ фазадан (y_1) иборат бўлади. *I* — *I* чизиғи 80 бирликка тенг бўлган узунликдаги b_1c_1 горизонтал чизиқни (изотермани) узунлиги 40 бирликка тенг бўлган c_1a_1 кесма билан узунлиги 40 бирликка тенг бўлган a_1b_1 кесмага ажратади.

(1′) ифодага мувофиқ, бундай ёзамиз:

$$x_1 = \frac{a_1c_1}{b_1c_1} \cdot Q_1 = \frac{40}{80} \cdot Q_1 = \frac{1}{2} Q_1$$

Ҳамма қотишманинг оғирлиги 100% бўлганлигидан, Q_1 нинг ўрнига 100% ни қўйсак, қуйидаги келиб чиқади:

$$x_1 = \frac{1}{2} \cdot 100\% = 50\%.$$



82- расм.

Демак, a_1 нуқтада Sb кристаллари ҳамма қотишманинг 50 процентини ташкил қилар экан.

Суюқ фазанинг миқдори (2′) ифоладан топилади:

$$y_1 = \frac{b_1a_1}{b_1c_1} \cdot Q_1 = \frac{40}{80} \cdot Q_1 = \frac{1}{2} Q_1.$$

Q_1 нинг ўрнига ўз қийматини қўйсак:

$$y_1 = \frac{1}{2} \cdot 100\% = 50\%$$

бўлади. Демак, суюқ фаза ҳам ҳамма қотишманинг 50 процентини ташкил қилар экан.

Шундай қилиб, 300°С температурада a_1 нуқтада *I* қотишма 50% Sb кристаллари ва 50% суюқ фазадан иборатдир.

2- мисол. Худди ўша *I* қотишманинг батамом совитилгандан кейинги структуралари миқдорини аниқланг (82- расм, *б*). 60% Sb кристалларидан ва 40% суюқ фазадан иборат қотишма батамом совитилгандан кейин, у Sb кристаллари билан эвтектика ($Sb_{кр} + Pb_{кр}$) дан иборат бўлади. Sb кристаллари миқдорини Q_{Sb} билан, эвтектика миқдорини эса $Q_э$ билан белгилаб, (4) ифодани бундай ўзгартириб ёзамиз:

$$\frac{Q_{Sb}}{Q_1} = \frac{ca}{cb} \quad \text{ва} \quad \frac{C_э}{Q_1} = \frac{ab}{cb},$$

бундан;

$$Q_{Sb} = \frac{ca}{cb} \cdot Q_1$$

ва

$$Q_э = \frac{ab}{cb} \cdot Q_1$$

бўлади.

$cb = 87$, $ca = 47$, $ab = 40$ ва $Q_1 = 100\%$ бўлганлигидан, бундай ёза оламиз:

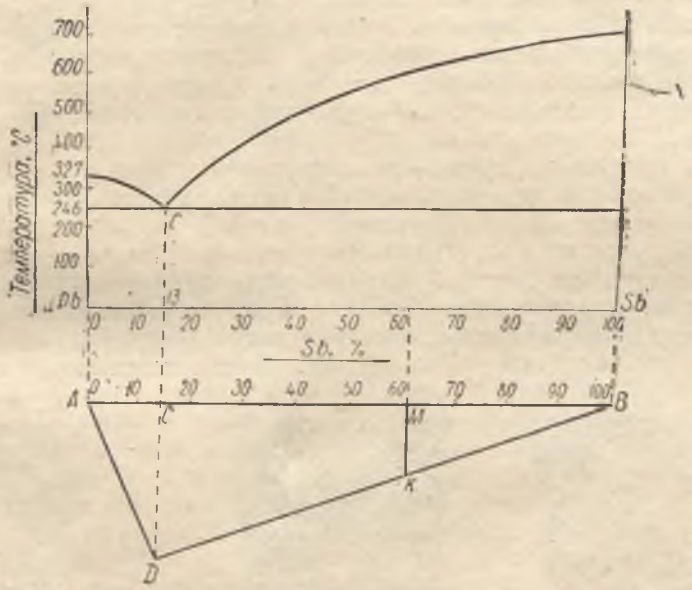
$$Q_{Sb} = \frac{47}{87} \cdot 100 \approx 54\%$$

ва

$$Q_э = \frac{40}{87} \cdot 100 \approx 46\%.$$

Бинобарин, қаттиқ қотишманинг структураси 54% Sb кристаллари билан 46% эвтектика ($Sb_{кр.} + Pb_{кр.}$) дан иборат экан.

Учбурчаклар усули. Қотишмадаги фазалар миқдорини аниқлашда *учбурчаклар усули* деб аталадиган усулдан фойдаланиш, кўпинча, анча қулай бўлади. Учбурчаклар усули ҳам кесмалар қоидасидан келиб чиқади. Бу усулнинг татбиқ этилишини яна ўша Pb — Sb системасининг ҳолат диаграммаси мисолида кўриб чиқайлик (83- расм). *C* нуқтага тўғри кела-



83- расм. Pb — Sb системасига учбурчаклар усулининг татбиқи.

диган қотишмада 100% эвтектика ($Sb_{кр.} + Pb_{кр.}$) бўлади. *A* нуқтада тоза қўрғошин, *B* нуқтада эса тоза сурьма бўлади, бу нуқталарда эвтектика бўлмайди. Бинобарин, *CD* кесмани 100% деб қабул қилсак, у ҳолда, *D* нуқтани *A* ва *B* нуқталар билан туташтириб, *ABD* учбурчакни ҳосил қиламиз. Ана шу учбурчакнинг ординаталари, яъни унинг *AD* ва *DB* томонларидан *AB* томонига чиқарилган тўғри чизиқ кесмалари шу система қотишмаларидаги эвтектиканинг миқдорини ифодалайди.

Учбурчаклар усулини яхшироқ тушуниб олиш учун бир мисол кўриб чиқайлик.

Мисол. 60% Sb ва 40% Pb дан иборат қотишма батамом совитилди (83- расм). Шу қотишманинг структурасини аниқланг.

Қотишманинг структураси (тузилиши) Sb кристаллари билан эвтектика ($Sb_{кр.} + Pb_{кр.}$) дан иборат бўлади.

MK кесма эвтектика миқдорини ифодалайди.

CDB ва *MKB* учбурчакларнинг ўхшашлигидан қуйидаги нисбатларни ёза оламиз:

$$\frac{MK}{CD} = \frac{MB}{CB} = \frac{40}{87}.$$

$CD = 100\%$ бўлганлигидан, CD ўрнига 100 ни қўйсак:

$$\frac{MK}{100} = \frac{40}{87}$$

бўлади. Бундан

$$MK = \frac{40}{87} \cdot 100 \approx 46\%.$$

Демак, 60% Sb ва 40% Pb дан иборат қотишма батамом совитилгандан кейин унинг таркибида 46% эвтектика ($Sb_{кр.} + Pb_{кр.}$) бўлар экан.

Қотишмаларда бўладиган ликвация. Қотишма совитилганда суюқ фаза концентрациясининг ликвидус чизиқлари бўйлаб ўзгаришини кесмалар қоидаси ёрдами билан аниқлаган эдик. Масалан, *I* қотишмада (80- расм) Pb бирламчи кристалланиб бўлгандан кейин қолган суюқ фазанинг таркиби *AC* чизиғидаги *m* нуқтадан *C* нуқтагача ўзгариб боради ва қотишма қотиб бўлгандан сўнг, суюқ фазасининг таркиби *C* нуқтадаги каби бўлган жойларда (Pb кристаллитлари орасида) худди шу таркибли, аммо эвтектик аралашма ($Sb_{кр.} + Pb_{кр.}$) тарзидаги қаттиқ қотишмалар ҳосил бўлади.

Қотиш процессида суюқ фаза таркибининг ўзгариши натижасида қаттиқ қотишмада ҳар хил таркибли жойлар ҳосил бўлиш ҳодисаси *ликвация** дейилади.

Pb — Sb системасида, яъни биз кўриб чиқаётган мисолда, таркиб жиҳатидан олганда, дастлаб ажралиб чиққан қўрғошин кристаллитлари билан шу кристаллитлар орасида жойлашган эвтектик аралашма бир-биридан фарқ қилади. Ликвациянинг бу тури *кристаллитлараро ликвация* деб аталади (84- расм, *а*). Кристаллитлараро ликвацияни



84- расм. Ликвацияларнинг схемаси:

а — кристаллитлараро ликвация; *б* — солиштирма оғирлик бўйича (каватли) ликвация; *в* — зонал ликвация

фақат микроскоп остидагина пайқаш мумкин. Бундай ликвация эвтектикагача бўлган ёки эвтектикадан кейинги қотишмаларнинг нормал тузилишини ташкил этади. Агар эвтектика қотишманинг ҳамма жойида ортиқча фаза билан бир текис навбатлашиб келса, бундай қотишманинг тузилишида нуқсон бўлмайди.

Аммо бу каби қотишмалар ҳамма вақт ҳам бенуқсон бўлавермайди; баъзан, суюқ қотишмадан ажралиб чиқадиган кристаллар ва қолган суюқ фаза суюқликнинг қота бориш давомида бир-биридан ажралади

* *Ликвация* сўзи латинча бўлиб, унинг таржимаси *суюқланиш* демакдир.

ва, солиштирма оғирликларига қараб, бир-бири устига жойлашиб қолади. Бундай қотишмаларда бўладиган ликвация *солиштирма оғирлик бўйича ликвация* ёки, тўғрироғи, *қаватли ликвация* деб аталади (84-расм, *б*). Бу хилдаги ликвацияни қотишма қуймасининг бўйлама кесимидан тайёрланган макрошлифда микроскопсиз ҳам кўрса бўлади.

Қаватли ликвация ҳосил бўлишига, биринчидан, ажралиб чиқадиган қаттиқ фазанинг солиштирма оғирлиги билан қолган суюқ фазанинг солиштирма оғирлиги орасидаги фарқ шароит туғдирса, иккинчидан, қотиш вақтида секин совитиш сабаб бўлади. Суюқликда чўка оладиган ёки қалқиб чиқа оладиган қаттиқ ажралмаларнинг ўз-ўзидан вужудга келиши ҳам бундай ликвация ҳосил бўлиши учун зарур шароит туғдиради.

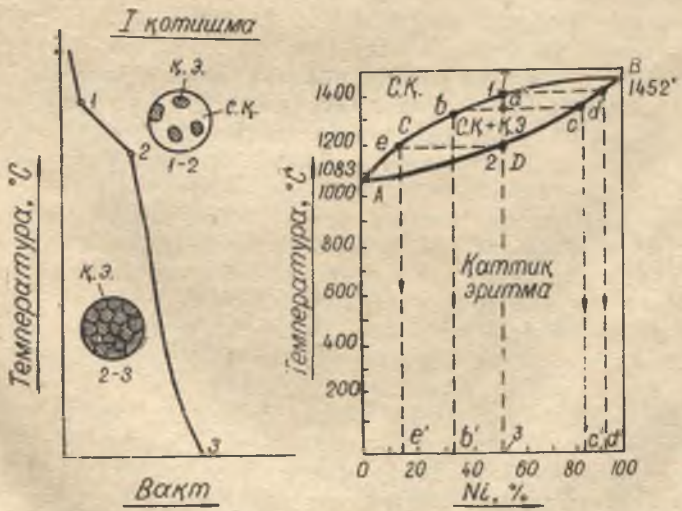
Аммо қаттиқ ажралмаларнинг ўз-ўзидан вужудга келиши амалда ҳамма вақт ҳам учрайвермайди.

Қолипга қуйилган суюқ қотишма қотаётганда, даставвал, қуйма қобиғидан ичкари томонга (бу қобиқ қуйманинг қолип деворларига тегиб, тез совишидан ҳосил бўлган жуда майда доначалардан иборатдир) узунчоқ кристаллитлар ўсиб чиқади, бу кристаллитлар қалқиб чиқа олмай ёки чўка олмай, транскристалланиш сиртқи девори ҳосил қилади. Бундай ҳолда ликвацияланувчи суюқлик қуйма ичига тўпланади. Бунинг натижасида ҳосил бўладиган ликвация *зонал ликвация* деб аталади (84-расм, *в*). Зонал ликвацияни ҳам, худди қаватли ликвация каби, микроскопсиз кўриш мумкин.

Ликвациянинг юқорида кўриб ўтилган турларидан ташқари, *кристалл ичра ликвация* ёки *дендрит ликвацияси* деб аталадиган тури ҳам бўлади. Бундай ликвация тўғрисида иккинчи тип ҳолат диаграммаларини кўриб чиқишда батафсил сўзланади.

Иккинчи тип ҳолат диаграммаси. Суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирида исталганча эрийдиган ва ўзаро химиявий бирикма ҳосил қилмайдиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси *иккинчи тип ҳолат диаграммаси* деб аталади.

Иккинчи тип ҳолат диаграммасини Cu — Ni системаси (қотишмалари) ҳолат диаграммаси мисолида кўриб чиқамиз (85-расм).



85-расм. Cu— Ni қотишмаларининг ҳолат диаграммаси ва *I* қотишманинг совиш эгри чизиғи.

Агар икки компонент суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирида исталганча эриса, системада фақат икки фаза — суюқ қотишма (с. қ.) ва қаттиқ эритма (қ. э.) мавжуд бўлиши мумкин. Бундай системада ўзгармас температурада борадиган кристалланиш вужудга келмайди. Демак, иккинчи тип ҳолат диаграммасида горизонтал чизиқ бўлмайди.

85-расмда тасвирланган диаграмманинг қандай соҳалардан иборат эканлиги шу диаграмманинг ўзидан кўриниб турибди.

Диаграммадаги *ACB* чизиғи суюқ қотишманинг кристаллана бошлаш чизиғи, яъни ликвидус чизиғи бўлиб, *ADB* чизиғи батамом кристалланиб бўлиш, яъни солидус чизиғидир. 85-расмнинг чап томонида *1* қотишманинг совиш эгри чизиғи ва кристалланиш процессининг схемаси тасвирланган. Бу эгри чизиқда *1* нуқта кристалланишнинг бошланишига, *2* нуқта эса кристалланишнинг охирига тўғри келади. *1* нуқта билан *2* нуқта орасида қотишма икки фазадан — суюқ фаза билан қаттиқ фазадан иборатдир.

Диаграмманинг ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи орасидаги соҳа моновариантли системадир, чунки унинг эркинлик даражаси 1 га тенг ($C = K - \Phi + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$). Моновариантли системада температуранинг ўзгариши фазалардаги компонентлар концентрациясининг ўзгаришига олиб боради. Ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи орасидаги қотишмада фазалардаги компонентлар концентрацияси ва фазалар миқдори кесмалар қоидаси ёрдамида топилади. Масалан, Cu — Ni қотишмалари ҳолат диаграммасидаги *1* қотишмани олайлик (85-расмга қаранг). *a* нуқтада бу қотишма суюқ фаза билан қаттиқ фазадан иборат бўлади. Суюқ фазанинг таркиби *b* нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияси (*b′*) дан, қаттиқ фазанинг таркиби эса *c* нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияси (*c′*) дан топилади. Қаттиқ фазанинг миқдори (оғирлиги) $\frac{ba}{bc}$ нисбатдан, суюқ фазанинг миқдори эса $\frac{ac}{bc}$ нисбатдан аниқланади:

$$x = \frac{ba}{bc} \cdot Q \quad \text{ва} \quad y = \frac{ac}{bc} \cdot Q,$$

бу ерда x — қаттиқ фазанинг миқдори;
y — суюқ фазанинг миқдори;
Q — ҳамма қотишманинг миқдори.

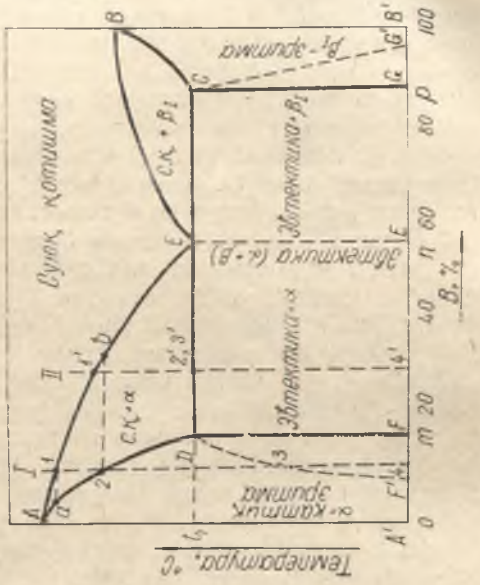
1 нуқтадан *2* нуқтагача бўлган кристалланиш процессида суюқ қотишмадан таркибида қийин суюқланувчи компонент тобора кўп бўлган кристаллар ажралиб чиқа боради. Дастлабки кристалларнинг таркиби солидус чизиғидаги *d* нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекцияси *d′* дан аниқланади.

2 нуқтада *1* қотишма батамом кристалланади. Суюқ фазанинг таркиби *1 — e* чизиғи бўйлаб, қаттиқ фазанинг таркиби эса *d — 2* чизиғи бўйлаб ўзгаради. Кристалланиш процесси охирига етганда кристалларнинг таркиби *1* суюқ қотишма таркибидек бўлади.

Никелнинг концентрацияси ҳар хил бўлган қаттиқ эритмаларнинг микроскопик тузилишларн бир хил бўлади ва тоза миснинг ҳамда тоза никелнинг микроскопик тузилишига ўхшайди.

Кесмалар қоидасидан фойдаланиб, ҳар хил температуралардаги қаттиқ қотишмалар фазаларининг таркибини аниқласак, қаттиқ қотишманинг дастлабки кристалларида қийин суюқланувчан компонент (никель) кўпроқ эканлигини, температура пасайиши билан эса суюқ эритма ҳам, қаттиқ эритма ҳам осон суюқланувчан компонентга (мисга) бойиб боришини кўрамиз. Қотиш охирида қаттиқ эритманинг кристал-

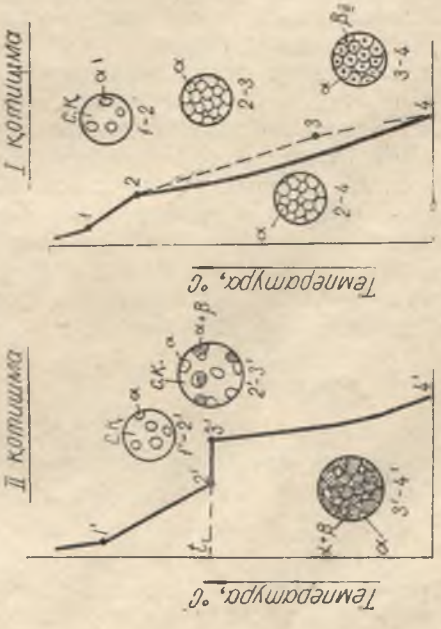
лари бир жинсли бўлиши, яъни уларнинг химиявий таркиби худди шу вертикал чизиқдаги суюқ эритманинг химиявий таркибига тўғри келиши керак. Таркибнинг бараварлашуви диффузия ҳодисаси туфайли рўй беради. Қотишма секин совитилганда диффузия процесси кристаллар таркибини бараварлаштиришга улгуради, тез совитилганда эса диффузия процесси тугалланмай қолади, яъни айрим кристалларнинг таркиби бараварлашмайди. Дендритларнинг марказий қисмида қийин суюқланувчи компонент, периферисида эса осон суюқланувчан компонент кўп бўлади. Дендритларнинг ҳар хил жойларида учрайдиган бундай химиявий турли жинслилик *кристалл ичра ликвация*, бошқача айтганда, *дендрит ликвацияси* деб аталади. Демак, қотишманинг тез совитилиши, қаватли (солиштирма оғирлик бўйича) ликвациядан фарқли ўлароқ, кристалл ичра ликвациянинг ўсишига ёрдам беради.



Суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирида исталганча эрийдиган икки компонентдан иборат системалар жумласига Cu — Ni системасидан ташқари, Au — Ag, Au — Pb, Fe — Ni, Fe — Cr, Fe — Co, Fe — V системалари ва баъзи бошқа системалар ҳам киради.

Учинчи тип ҳолат диаграммаси. Суюқ ҳолатда бир-бирида исталганча, қаттиқ ҳолатда эса бир-бирида маълум чегарагача эрийдиган ва химиявий бирикмалар ҳосил қилмайдиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси *учинчи тип ҳолат диаграммаси* деб аталади.

А ва В компонентлардан иборат бундай системаларда суюқ фаза, α-эритма (В компонентнинг А компонентдаги қаттиқ эритмаси) ва β-эритма (А компонентнинг В компонентдаги қаттиқ эритмаси) бир вақтда мавжуд бўладиган нонвариантли мувозанат қарор топиши мумкин. Ана шу шароитда қандай процесс боришига қараб, учинчи тип ҳолат диаграммаси икки хил бўлиши мумкин. Булардан бири эвтектикали, иккинчиси эса перитектикали ҳолат диаграммаларидир. Ана шу ҳолат диаграммаларини кўриб чиқайлик.



86- расм. А билан В қотишмаларининг эвтектикали ҳолат диаграммаси ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари.

А билан В қотишмаларнинг эвтектикали ҳолат диаграммаси. Бундай диаграмма ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 86-расмда тасвирланган.

Юқорида келтирилган қотишмаларнинг эвтектикали ҳолат диаграммасида *AEB* чизиғи ликвидус, *ADECB* чизиғи эса солидус чизиқларидир. Ликвидус чизиғидан юқорида қотишма суюқ ҳолатда, ликвидус билан солидус чизиқлари орасида суюқ ва қаттиқ ҳолатда, солидус чизиғидан пастда эса фақат қаттиқ ҳолатда бўлади.

Бу системада тоза компонентлардан иборат фазалар ҳосил бўлмайди. Бинобарин. *ADEA* соҳа суюқ қотишма билан α-қаттиқ эритмадан, *ECBE* соҳа эса суюқ қотишма билан β-қаттиқ эритмадан иборатдир. *ADFA'A* соҳада фақат α-қаттиқ эритма. *BCGB'B* соҳада эса фақат β-қаттиқ эритма мавжуд бўла олади. В компонентнинг А компонентда эрий оладиган энг кўп миқдори *F* нуқтадан (агар *DF* чизиғи тик бўлмаса, *DF'* чизиғидан), А компонентнинг В компонентда эрий оладиган энг кўп миқдори *G* нуқтадан (агар *CG* чизиғи тик бўлмаса, *CG'* чизиғидан) топилади. *DFGCD* соҳадаги қотишмаларнинг компонентлари бир-бирида эримайди ва қотишма $\alpha + \beta$ дан иборат икки фазали бўлади.

Энди *I* қотишманинг кристалланишини кўриб чиқайлик. *1* нуқтадан юқорида қотишма суюқ ҳолатда бўлади. *1* нуқтада қотишма кристаллана бошлайди. *1* нуқтадан пастга томон суюқ қотишмадан α-қаттиқ эритма кристаллари ажралиб чиқа боради, бу қаттиқ эритманинг концентрацияси (таркиби) *a — 2* чизиғи бўйлаб, суюқ фазанинг таркиби эса *1 — b* чизиғи бўйлаб ўзгаради.

2 нуқтада кристалланиш процесси тугайди ва ҳосил бўлган қаттиқ қотишма кристалларининг таркиби (мувозанатдаги кристалланиш учун) *1* нуқтадан юқориги суюқ фаза таркиби каби бўлади. Ҳосил бўлган қаттиқ қотишма кристаллари *DF'* чизиғидаги *3* нуқтагача ўзгармайди. *3* нуқтадан пастда α-қаттиқ эритма ўта тўйинган эритма бўлади ва ундан ортиқча кристаллар — β-қаттиқ эритма кристаллари ажралиб чиқади, яъни иккиламчи кристалланиш содир бўлади, буни биз суюқ қотишмадан ажралиб чиққан бирламчи β-қаттиқ эритмадан (β_I дан) фарқ қилиш учун β_{II} билан белгиладик. Қотишма совиган сари β_{II}-қаттиқ эритма кристалларининг миқдори ортиб боради.

I қотишманинг совиш эгри чизиғи ва унинг ҳар хил температуралардаги тузилиш схемалари 86-расм, *а* да тасвирланган.

Системада иккиламчи кристалланиш содир бўлмаса, яъни *DF'* чизиғи тик (*DF*) бўлса, β_{II}-кристаллари ажралиб чиқмайди.

Энди, *II* қотишманинг кристалланишини кўриб чиқайлик. *1'* билан *2'* нуқталар орасида котишма икки фазадан: суюқ котишма ва α-қаттиқ эритмадан иборат бўлади. Температура t_1 га етганда қотишмада учта фаза — *m* таркибли α-қаттиқ эритма, *n* таркибли суюқ қотишма ва *p* таркибли β-қаттиқ эритма мувозанатга келади, яъни системанинг эркинлик даражаси 0 га тенг бўлади:

$$C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0.$$

Температура t_1 бўлганда *n* таркибли суюқ эритмадан *m* таркибли α-қаттиқ эритма ва *p* таркибли β-қаттиқ эритма ажралиб чиқади, яъни эвтектик реакция содир бўлади:

$$\text{с. қ.} \rightarrow \alpha + \beta.$$

Эвтектик реакция ўзгармас температурада (t_1 температуранинг ўзида) боради.

3' нуқтада ва ундан пастда қотишма α-қаттиқ эритма билан эвтектик аралашма (α+β) дан иборат бўлади.

II қотишманинг совиш эгри чизиғи ва унинг ҳар хил температуралардаги тузилиш схемалари 86-расм, *б* да тасвирланган.

Эвтектикали ҳолат диаграммасидан кўриниб турибдики, *ADFA'A* ва *BCGB'B* соҳаларда қотишмалар иккинчи тип ҳолат диаграммасига мувофиқ, *DFE'ED* ва *EE'GCE* соҳаларда эса биринчи тип ҳолат диаграммасига мувофиқ кристалланади.

Учинчи тип ҳолат диаграммаларининг эвтектикали турига, масалан, Al — Si ва баъзи бошқа системаларнинг ҳолат диаграммалари киради.

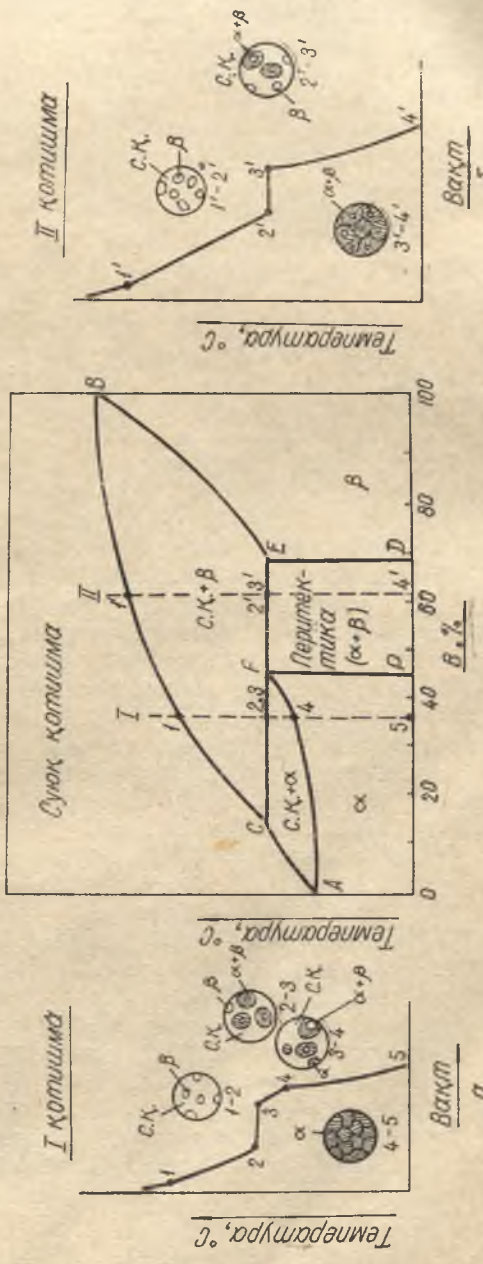
А билан В қотишмаларининг перитектикали ҳолат диаграммаси. Қаттиқ эритманинг тўғридан-тўғри суюқ қотишмадан ажралиб чиқиши юқорида кўриб ўтилди. Қаттиқ эритма суюқ қотишма билан қаттиқ фазанинг ўзаро таъсир этиши натижасида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Суюқ қотишма билан қаттиқ фазанинг ўзаро таъсир этиши натижасида янги қаттиқ эритманинг ҳосил бўлиш реакцияси *перитектик реакция* деб аталади. Перитектик процессда ҳам, худди эвтетик процессдаги каби, уч фаза — суюқ фаза, α-фаза ва β-фаза иштирок этади ва у ўзгармас температурада боради. Бунга фазалар қоидасини татбиқ этиш йўли билан ишонч ҳосил қилиш мумкин:

$$C = K - \Phi + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$$

А ва В қотишмаларининг перитектикали ҳолат диаграммаси ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 87-расмда тасвирланган.

А билан В қотишмаларининг перитектикали ҳолат диаграммасида *ACB* чизиғи ликвидус чизиғи бўлиб, *AFEB* чизиғи солидус чизиғидир.

Маълумки, ликвидус чизиғидан юқорида қотишма суюқ ҳолатда, солидус чизиғидан пастда эса қаттиқ ҳолатда бўлади. Диаграмманинг *ACFA* соҳаси суюқ қотишма билан α-қаттиқ эритмадан, *CBEFC* соҳаси эса суюқ қотишма билан β-қаттиқ эритмадан иборатдир.



87-расм. А билан В қотишмаларининг перитектикали ҳолат диаграммаси ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари.

I қотишманинг кристалланишини кўриб чиқайлик. Бу қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари 87-расм, *а* да тасвирланган. Суюқ қотишма *1* нуқтада кристаллана бошлайди, яъни суюқ қотишмадан β-фаза — В компонентнинг А компонентдаги қаттиқ эритмаси ажралиб чиқа бошлайди. Бу процесс *2* нуқтада тугалланади. *2* нуқта билан *3* нуқта оралиғида суюқ фаза ва β-қаттиқ эритма орасида перитектик реакция бошланиб, α-фаза, яъни А компонентнинг В компонентдаги қаттиқ эритмаси ҳосил бўла боради ва бу процесс ўзгармас температурада (*3* нуқтада) тугалланади. Перитектик процесс тугагандан кейин ҳам *F* концентрацияли α-қаттиқ эритма ҳосил бўлиши учун зарур миқдоридан ортиқчароқ миқдорда суюқ фаза қолади. Шу сабабли перитектик процесс β-қаттиқ эритманинг батамом реакцияга кириши билан тугайди. Бинобарин, *3* нуқта билан *4* нуқта орасида суюқ қотишмадан фақат α-қаттиқ эритма кристаллана боради ва бу процесс *4* нуқтагача давом этади. *4* нуқтадан пастда қотишма α-қаттиқ эритмадангина иборат бўлади.

Энди, *II* қотишманинг кристалланишини кўриб чиқишга ўтамиз. Бу қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари 87-расм, *б* да кўрсатилган. Суюқ қотишма *1′* нуқтада кристаллана бошлайди, бунда суюқ қотишмадан β-қаттиқ эритма кристаллари ажралиб чиқади. *2′* нуқтада суюқ фазанинг таркиби *C* нуқтадаги каби, қаттиқ фазанинг таркиби эса *E* нуқтадаги каби бўлади. Сўнгра суюқ фаза билан қаттиқ фаза (β-кристаллар) ўзаро реакцияга киришиб (перитектик реакция), концентрацияси *F* нуқтадагидек бўлган учинчи фазани — α-кристалларини ҳосил қилади.

β-фаза билан суюқ фазанинг α-фаза ҳосил бўлиши учун зарур миқдорий нисбати кесмалар қоидасига мувофиқ аниқланади. Биз кўриб ўтаётган *II* қотишмада β-қаттиқ эритманинг миқдори α-қаттиқ эритма кристаллари ҳосил бўлиши учун зарур миқдоридан ортиқчароқдир (буни ҳам кесмалар қоидасини татбиқ этиш йўли билан аниқлаш мумкин). Шу сабабли, процесс тугагач, β-қаттиқ эритма кристаллари ортиб қолади. Бинобарин, қотишма структураси перитектик процесс натижасида ҳосил бўлган α-кристаллар билан ортиб қолган (бирламчи) β-кристалларнинг механик аралашмасидан иборатдир. Бу механик аралашма *перитектика** дейилади. *2′* нуқта *F* нуқтага қанча яқин бўлса, ортиқча β-кристаллар шунча кам қолади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, оддий бўлиши учун *FP* ва *ED* чизиқлари тик қилиб берилган, умумий ҳолда эса бу чизиқлар қия бўлиши мумкин.

Техникада ишлатиладиган кўпгина қотишмаларнинг, масалан, Cu — Zn, Cu — Sn, Fe — C, Cd — Hg ва бошқа қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси перитектикали диаграммалардир.

Тўртинчи тип ҳолат диаграммаси. Суюқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган ва қаттиқ ҳолатда химиявий бирикмалар ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси *тўртинчи тип ҳолат диаграммаси* деб аталади.

Химиявий бирикма A_nB_m формула билан ифодаланади. Бу формула *n* та атом А компонент *m* та атом В компонент билан бирикканлигини кўрсатади.

Икки компонентдан ҳосил бўладиган химиявий бирикма барқарор ёки беқарор бўлиши мумкин. Шунга кўра, ҳолат диаграммаси ҳам икки хил бўлади. Ана шу ҳолат диаграммаларини кўриб чиқайлик.

---

* *Перитектика* сўзи грекча бўлиб, унинг маъноси *қуршов* демакдир.

Барқарор химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси. Химиявий бирикма суюқлангунча қиздирилганда таркибий қисмларга парчаланмаса, бу бирикма барқарор бўлади. А ва В компонентлардан иборат система бор, бу системанинг компонентлари A_nB_m таркибли барқарор химиявий бирикма ҳосил қилади ва бирикманинг ўзи ҳам, тоза компонентлар ҳам қаттиқ ҳолатда эритмалар ҳосил қилмайди, дейлик. Бундай системанинг ҳолат диаграммаси ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 88-расмда тасвирланган.

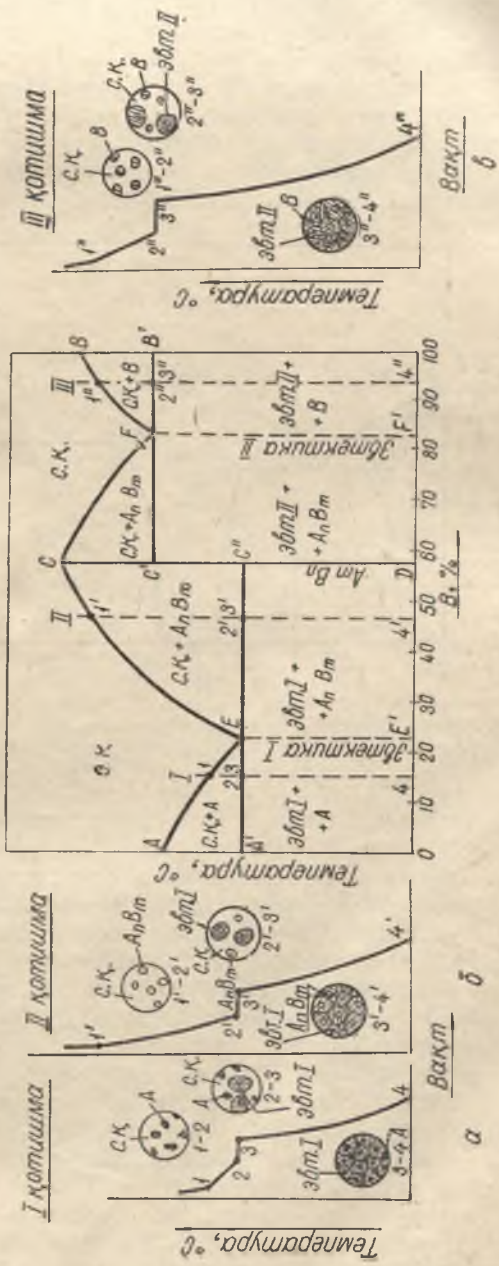
Диаграммада *CD* вертикал чизиқ A_nB_m таркибли бирикманинг ординатаси, *C* нуқта эса шу бирикманинг суюқланиш температурасидир.

CD вертикал чизиқнинг (ординатанинг) А — В система ҳолат диаграммасини икки қисмга бўлиши 88-расмдан яққол кўриниб турибди. А — В система ҳолат диаграммасининг чап қисми А — A_nB_m системанинг биринчи тип ҳолат диаграммасига, ўнг қисми эса A_nB_m — В системасининг ҳолат диаграммасига тўғри келади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, A_nB_m бирикма компонент бўла олмайди, чунки у А компонент билан В компонентнинг ўзаро таъсири натижасида ҳосил бўлади. A_nB_m бирикма бир температуранинг (*C* нуқтанинг) ўзида суюқланади, бу нуқта *сингуляр нуқта* деб аталади.

А — В системасининг ҳолат диаграммасида иккита эвтектик нуқта (*E* ва *F*) бор. *EE'* чизиқдаги эвтектика *I* А компонент кристаллари билан A_nB_m бирикма кристаллари аралашмасидан, *FF'* чизиқдаги эвтектика *II* эса В компонент кристаллари билан A_nB_m бирикма кристаллари аралашмасидан иборат.

AEC ва *CFB* чизиқлари ликвидус, *A'EC''* ва *C'FB'* чизиқлари эса солидус чизиқларидир. Суюқ қотишмадан *AE* чизиғида А компонент кристаллари, *EC* чизиғида эса A_nB_m бирикма кристаллари ажралиб чиқа бошлайди: Демак, *AA'EA* соҳа суюқ қотишма билан А компонент кристалларидан, *EC''CE* соҳа эса суюқ қотишма билан A_nB_m бирикма кристалларидан иборат бўлади. Суюқ қотишмадан *CF* чизиғида A_nB_m



88- расм. Барқарор химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари.

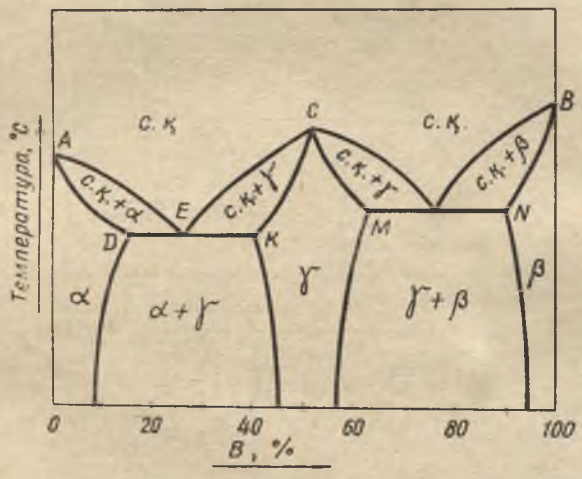
бирикма кристаллари ва *FB* чизиғида В компонент кристаллари ажралиб чиқади. Бинобарин, *CC′FC* соҳа суюқ қотишма билан A_nB_m бирикма кристалларидан, *FB′BF* соҳа эса суюқ қотишма билан В компонент кристалларидан иборатдир.

EE′ эвтектикагача бўлган қотишма эвтектика *I* (А + A_nB_m) билан А кристалларидан, *EE′* эвтектикадан кейинги қотишма эвтектика *I* (А+A_nB_m) билан A_nB_m кристалларидан, *FF′* эвтектикагача бўлган қотишма эвтектика *II* (В + A_nB_m) билан A_nB_m кристалларидан, *FF′* эвтектикадан кейинги қотишма эса эвтектика *II* (В + A_nB_m) билан В кристалларидан иборатдир.

I, *II* ва *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари ва тузилиш схемалари 88- расм, *а*, *б* ва *в* да тасвирланган.

Химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси иккита биринчи тип диаграммадан иборат эканлиги юқорида айтиб ўтилди.

Агар системанинг А ва В компонентлари ўзаро икки ва ундан ортиқ химиявий бирикма ҳосил қилса, бундай компонентлардан иборат қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси, гўё уч қўшалоқ, тўрт қўшалоқ ва ҳоказо биринчи тип ҳолат диаграммаларидан иборат бўлади.



89- расм. Компонентлари бир-бирига маълум чегарагача эрийдиган ва химиявий бирикмада эрийдиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси.

Агар системанинг А ва *В* компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида маълум чегарагача эриса, шунингдек, А ва В компонентлар A_nB_m бирикмада эрисса, А ва В компонентларнинг бир-бирида эришидан ҳосил бўлган α ва β- қаттиқ эритмалар ҳамда компонентларнинг A_nB_m бирикмада эришидан ҳосил бўлган γ - қаттиқ эритма системанинг ҳолат диаграммасида маълум соҳалар тарзида акс эттирилади ва бундай диаграмма иккита учинчи тип ҳолат диаграммасидан иборат бўлади (89- расм).

Беқарор химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси. Компонентлари ўзаро таъсир этиб, беқарор химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 90- расмда тасвирланган.

А компонент билан В компонентдан ҳосил бўлган A_nB_m химиявий бирикма фақат t_1 температурагача барқарор бўлади. Бу температурадан юқорида химиявий бирикма таркиби *D* нуқтадаги каби суюқ қотишма билан В кристалларига ажралади. Суюқ қотишма совитилганда эса тескари процесс содир бўлади. Бу процесс ҳам перитектик процесс дир, аммо бунда янги қаттиқ эритма ҳосил бўлмай, балки химиявий бирикма ҳосил бўлади.

Диаграмманинг қайси соҳасида қандай фазалар бўлиши шу диаграммада кўрсатилган.

I ва *II* қотишмаларнинг кристалланишини кўриб чиқайлик.

I қотишмани олайлик. Бу қотишма совитилганда мувозанат шароитида *1* нуқтада суюқ қотишмадан В компонент кристаллари ажралиб чиқа бош-

лайди. *2* нуқтада перитектик реакция бошланиб, беқарор химиявий бирикма (A_nB_m) ҳосил бўлади. Бу процесс ўзгармас t_1 температурада *3* нуқтагача давом этади, *3* нуқтада суюқ қотишма ортиб қолади, ортиқча суюқ қотишмадан A_nB_m кристаллари ажралиб чиқа бошлайди, бу процесс суюқ фазанинг концентрацияси *E* нуқтадагидек бўлгунча, яъни *4* нуқтагача давом этади. *4* нуқтада қолган суюқ қотишмадан А компонент кристаллари ажралиб чиқа бошлайди ва процесс *5* нуқтада тугайди. Демак, *5* нуқтадан пастда қотишма А кристаллари билан A_nB_m кристалларининг эвтектик аралашмасидан иборат бўлади.

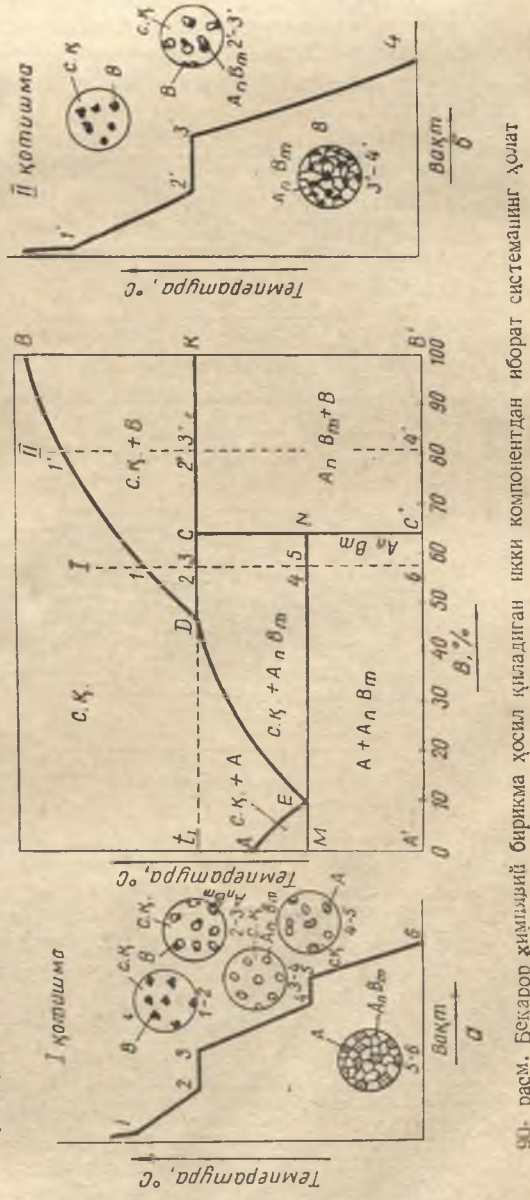
Энди, *II* қотишмани олайлик. Бу қотишма совитилганда *1'* нуқтада суюқ қотишмадан В компонент кристаллари ажралиб чиқа бошлайди ва процесс *2'* нуқтагача давом этади. *2'* нуқтада суюқ қотишмадан A_nB_m кристаллари ажралиб чиқа бошлайди, бу процесс ўзгармас t_1 температурада *3'* нуқтагача давом этади. Демак, *3'* нуқтадан пастда қотишма A_nB_m кристаллари билан В кристалларидан иборат бўлади.

Шундай қилиб, диаграммадаги *MEN* горизонтал чизиқ эвтектика ҳосил бўлишига, *DCK* горизонтал чизиқ эса беқарор химиявий бирикма ҳосил бўлишига оиддир.

Бешинчи тип ҳолат диаграммаси. Бирламчи кристалланиш натижасида ҳосил бўлган фазаларида қаттиқ ҳолатда иккиламчи ўзгаришлар (иккиламчи кристалланиш) содир бўладиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси *бешинчи тип ҳолат диаграммаси* деб аталади.

Қотишмада қаттиқ ҳолатда содир бўладиган иккиламчи кристалланиш (қайта кристалланиш) тоза компонентларнинг ва химиявий бирикмаларнинг аллотропик шакл ўзгаришлар ҳосил қилиши, қаттиқ эритмаларнинг қисман ёки батамом парчаланиши ёхуд қаттиқ эритмаларнинг тартибга тушуви ва бошқа ўзгаришлар билан боғлиқдир.

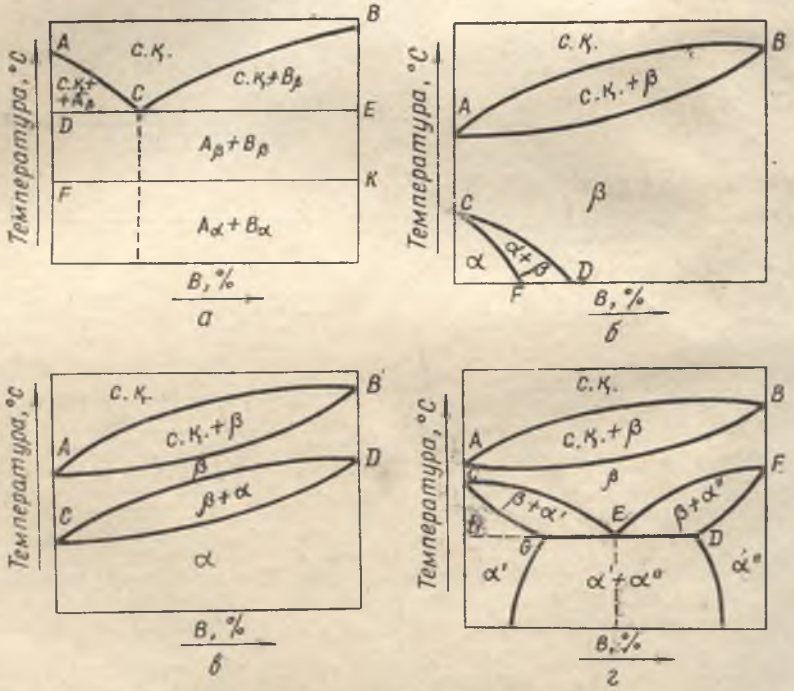
Иккиламчи кристалланиш процессида иккиламчи кристаллар ҳосил бўлади. Иккиламчи крис-



90- расм. Беқарор химиявий бирикма ҳосил қиладиган икки компонентдан иборат системанинг ҳолат диаграммаси ва *I* ҳамда *II* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари.

талланиш қотишма компонентларидан ҳеч бўлмаганда биттаси аллотропик шакл ўзгаришлар ҳосил қилгандагина содир бўлади. Бинобарин, температуранинг ўзгариши билан эрувчанликнинг ўзгариши натижасида қаттиқ эритманинг парчаланишидан ташқари, қаттиқ ҳолатда ўзгариш ҳодисаси компонентларидан ҳеч бўлмаганда бири аллотропик шакл ўзгаришлар ҳосил қилувчи барча қотишмаларнинг ҳолат диаграммаларида кузатилади. Аллотропик шакл ўзгариш билан ёки қаттиқ эритмаларнинг қисман ёхуд батамом парчаланиши билан боғлиқ бўлган қайта кристалланиш процесси борадиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси асосий тип ҳолат диаграммаларидан фарқ қилади.

Компонентлари қаттиқ ҳолатда иккиламчи ўзгаришлар ҳосил қилувчи баъзи қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари 91-расмда тасвирланган.



91- расм. Компонентлари қаттиқ ҳолатда иккиламчи ўзгаришлар ҳосил қилувчи қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари.

А—В қотишманинг А компоненти ҳам, В компоненти ҳам қаттиқ ҳолатда аллотропик шакл ўзгариш ҳосил қила олади, дейлик. Бундай аллотропик шакл ўзгариш ҳар қандай таркибли қотишмада ўзгармас температурада (*FK* чизиғида) содир бўлади (91-расм, *а*).

Агар В компонент кристаллари А компонентнинг юқори температурада мавжуд бўладиган аллотропик шакл ўзгаришига (A_β га) изоморф* бўлса, қотишманинг ҳолат диаграммаси 91- расм, *б* да тасвирланган кўринишда бўлади. Бу диаграммада *CDFC* соҳаси иккита қаттиқ эритманинг мувозанат ҳолатда мавжуд бўлиш соҳасидир. Агар А компонентда ҳам, В компонентда ҳам иккитадан шакл ўзгариш бўлса ва A_α билан B_α, худди A_β билан B_β каби, бир-бирига изоморф моддалар бўлиб, компонентлари исталганча эрийди-

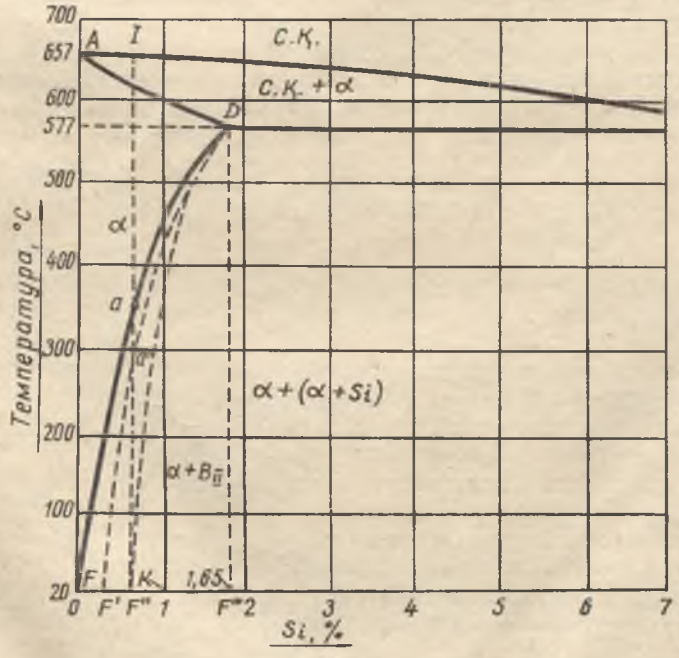
* *Изоморф* сўзи грекча бўлиб, унинг таржимаси *шакл жиҳатидан ўхшаш* демакдир.

ган қаттиқ эритмалар хосил қила олса, қотишманинг ҳолат диаграммаси 91-расм, *в* да тасвирланган шаклни олади. Бу диаграмма гўё «қўш қават» иккинчи тип ҳолат диаграммасидан иборатдир. Агар қотишма компонентларининг паст температурада мавжуд бўла оладиган шакл ўзгаришлари бир-бирида маълум чегарагача, юқори температурада мавжуд бўладиган шакл ўзгаришлари эса бир-бирида исталганча эрийдиган бўлса, қотишманинг ҳолат диаграммаси 91- расм, *г* дагидек бўлади. Расмдан кўриниб турибдики, бу диаграмма ҳам икки диаграммадан — иккинчи тип ҳолат диаграммаси билан компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида маълум чегарагача эрийдиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммасидан (учинчи тип ҳолат диаграммасидан) иборатдир. Диаграммадаги *GED* чизиғида (t_1 температурада) β- қаттиқ эритма парчаланиб, айни замонда α' ва α'' қаттиқ эритмалар ажралиб чиқади.

Бу ўзгариш процесси эвтектиканинг кристалланиш процесси кабидир, аммо бунда кристаллар суюқ қотишмадан эмас, балки қаттиқ эритмадан ажралиб чиқади. Бу процесс *эвтектоидавий процесс* деб, ҳосил бўлган кристаллар аралашмаси эса *эвтектоид* деб аталади.

Кўпгина қотишмалар қаттиқ ҳолатда ўзгаради, ана шундай қотишмалар жумласига темир билан углерод қотишмалари ҳам киради.

Ўта совиш шароитида қаттиқ қотишмаларда бўладиган қайта кристалланиш. Ўта совиш натижасида қайта кристалланишни Al—Si системасининг ҳолат диаграммаси (учинчи тип ҳолат диаграммаси) мисолида кўриб чиқамиз. Бунинг учун Al — Si ҳолат диаграммасининг пастки чап қисминигина оламиз (92- расм).



92- расм. Al—Si қотишмаларининг ўта совиш шароитида қайта кристалланиши:

а — кремнийнинг алюминийдаги қаттиқ эритмаси; β_{II} — кремнийнинг ўта тўйинган эритмадан ажралиб чиққан иккиламчи кристаллари.

Ўта совиш шароитида қаттиқ эритма FD чизиғида ётган температурада эмас, балки ундан пастроқ, масалан $F'D$ чизиғида ётган температурада парчалана бошлайди.

I қотишмани олайлик. Бу қотишма учун совитиш тезлиги ортиши билан ортиқча фаза (кремнийнинг иккиламчи кристаллари) анча паст температурада, масалан a' нуқтага тўғри келадиган температурада ажралиб чиқа бошлайди (ҳолбуки, мувозанатли ҳолатда бундай фаза a нуқтада ажралиб чиқа бошлайди). Натижада ортиқча фазанинг ажралиб чиққан кристаллари анча майда ва уларнинг миқдори анча кам бўлади.

Дарҳақиқат, мувозанат ҳолатида кристалланишда уй температурасида иккиламчи кристалларнинг нисбий миқдори *I* қотишма учун KF кесма билан аниқланса, ўта совиш шароитида кристалланишда иккиламчи кристалларнинг нисбий миқдори KF' кесма билан ифодаланади. Бунда қаттиқ фазанинг (қаттиқ эритманинг) таркиби F' нуқтадан топилади. Бу нуқта F нуқтадан ўнгда ётганлиги учун қаттиқ эритма ўта тўйинган бўлади.

Агар системанинг совиши тезлатилганда иккиламчи кристалланишнинг бошланиш чизиғи $F''D$ билан ифодаланса, *I* қотишмада иккиламчи кристалланиш рўй бермайди. Агар иккиламчи кристалланишнинг бошланиш чизиғи $F'''D$ билан ифодаланса, шу системанинг ҳар қандай қотишмаси айни шароитда уй температурасигача ўта совийди ва қаттиқ эритма парчаланмайди. Шундай қилиб, совитиш тезлигини ўзгартириш йўли билан қаттиқ эритманинг парчаланиш даражасини ҳам ўзгартириш мумкин. Ўта тўйинган бундай қаттиқ эритмалар беқарор бўлади. Агар ўта совиган қаттиқ эритма атомларининг иссиқдан ҳаракатчанлиги етарли бўлмаса, эритманинг ўта тўйинганлик ҳолати узоқ вақт сақланиб туриши мумкин. Агар ўта совиган қаттиқ эритма атомларининг иссиқдан ҳаракатчанлиги етарли даражада бўлса, ўта тўйинган қаттиқ эритма вақт ўтиши билан секин-аста парчаланиб, ундан ортиқча фаза ажралиб чиқади. Температура кўтарилганда бу процесс тезлашади, чунки атомларнинг ҳаракатчанлиги ортади.

10-§. БИНАР СИСТЕМАЛАРНИНГ ҲОЛАТ ДИАГРАММАЛАРИ БИЛАН ХОССАЛАРИ ОРАСИДАГИ БОҒЛАНИШ (КУРНАКОВ ҚОНУНИ)

Қотишмаларнинг хоссалари билан ҳолат диаграммаларининг тури орасидаги боғланишга оид таълимотга рус олими Н. С. Курнаков асос солган эди. Бу таълимотни академик А. А. Бочвар янада ривожлантирди. Н. С. Курнаков ҳолат диаграммасининг тури билан қотишмаларнинг баъзи физикавий ва механик хоссалари орасида боғланиш борлигини жаҳонда биринчи бўлиб аниқлади. А. А. Бочвар ва унинг шогирдлари ҳолат диаграммасининг тури билан қотишмаларнинг технологик хоссалари орасидаги боғланишни биринчи бўлиб кўрсатдилар.

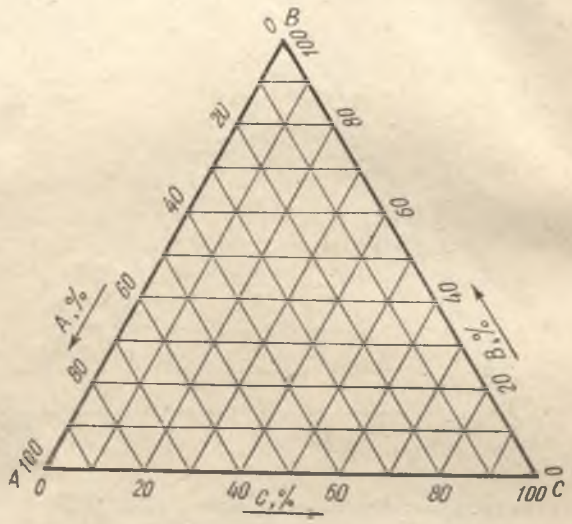
Ҳолат диаграммасидан фойдаланиб, температура ўзгарганда система қотишмаларида содир бўладиган ўзгаришларни, ҳосил бўладиган фазалар ва таркибий қисмларни аниқлаш мумкин.

Маълумки, икки компонентли система ҳолат диаграммасининг тури иккала компонентнинг қандай фазалар ҳосил қилишига боғлиқдир. Қотишманинг хоссалари ҳам система компонентларининг қандай бирикмалар ёки қандай фазалар ҳосил қилишига боғлиқ бўлади. Шу сабабли, ҳолат диаграммасининг тури билан қотишманинг хоссалари орасида муайян боғланиш бўлиши керак.

Демак, учбурчакнинг ҳар қайси томони 100% деб қабул қилинади.

Тенг томонли учбурчак ёрдамида уч компонентли системанинг таркибини (компонентларининг концентрацияларини) ифодалаш учун икки усулдан фойдаланилади. Бу усуллардан бири Гиббс усули, иккинчиси эса Розебом усулидир.

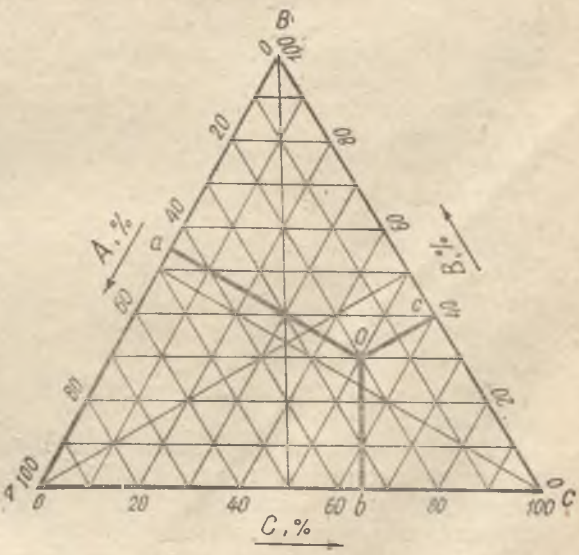
Гиббс усулидан фойдаланилганда, уч компонентли системанинг концентрациялар учбурчаги ичидаги бирор нуқта билан ифодаланган таркибини аниқлаш учун шу нуқтадан учбурчакнинг томонларига перпендикуляр туширилади. Бунда геометриянинг қуйидаги қонунига асосланилган бўлади: *тенг томонли учбурчак ичидаги исталган нуқтадан шу учбурчак томонларига туширилган перпендикуляр кесмалар узунликларининг йиғиндиси ўзгармас катталик бўлиб, учбурчакнинг баландлигига тенгдир* (95-расм).



94-расм. Уч компонентли системанинг концентрацияларини ифодалайдиган тенг томонли учбурчак (концентрациялар учбурчаги).

Агар концентрациялар учбурчагининг баландликларидан ҳар бирини 100 бўлакка бўлиб, ҳосил бўлган нуқталардан учбурчак томонларига параллел чизиқлар ўтказсак, учбурчакнинг юзаси ўлчов катакларига бўлиниб қолади, яъни тўр ҳосил бўлади. Бу катаклар сони перпендикулярларнинг узунликларини билдиради. Масалан, учбурчак ичида *О* нуқта олсак, бу нуқта учбурчакнинг *В* учидан узоқда бўлгани учун *О* нуқта билан ифодаланган қотишмада В компонентнинг миқдори кам бўлади, яъни унинг миқдори шу *В* нинг рўпарасидаги томондан бошлаб ҳисобланади. С ва А компонентларнинг миқдори ҳам ана шундай топилади. Демак, *О* нуқтадаги қотишма 30% В, 20% А ва 50% С дан иборатдир.

Розебом усули геометриянинг: *тенг томонли учбурчак ичидаги исталган нуқтадан шу учбурчак томонларига параллел қилиб ўтказилган тўғри чизиқ кесмалари узунликларининг йиғиндиси учбурчак томонининг узунлигига тенг* деган қондасига асосланади (96-расм).

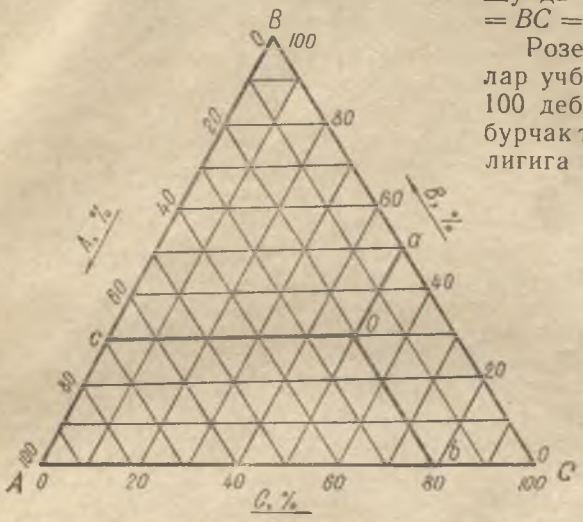


95-расм. Уч компонентли система таркибини Гиббс усулида ифодалаш.

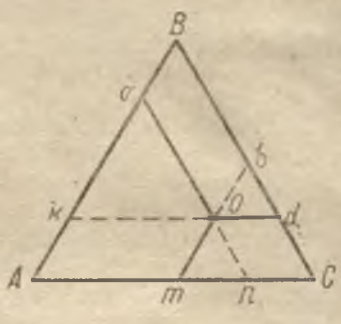
Буни 97-расмдан исботлаш қийин эмас.

$aB = od$, чунки obd учбурчак тенг томонли бўлганлигидан $ob = od$; шунинг учун $aB = ob = od$ бўлади; Omn учбурчак тенг томонли бўлганлигидан $Cm = Cn$; шунинг учун $dC = On = Om$ бўлади; Oak учбурчак ҳам тенг томонли, демак, $Oa = Ok$; шунинг учун $mA = Ok = Oa$ бўлади. Шундай қилиб, $Od + Om + Oa = AB = BC = CA$ эканлиги исботланди.

Розебом усулида концентрациялар учбурчаги томонининг узунлиги 100 деб олинади. Тенг томонли учбурчак томонининг узунлиги баландлигига пропорционал бўлганлиги-



96- расм. Уч компонентли система таркибини Розебом усулида ифодалаш.



97- расм.

дан, O нуқтадаги қотишма Розебом усулида ҳам 30% B, 20% A ва 50% C дан иборатдир.

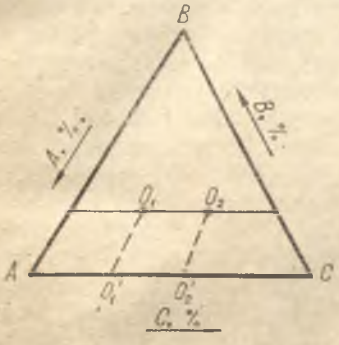
Концентрациялар учбурчагининг томони ҳамма қотишманинг миқдорини кўрсатганлигидан $Od + Om + Oa$ ҳам ҳамма қотишманинг миқдорини, бу йиғиндидаги ҳар қайси ҳад эса тегишли компонентнинг миқдорини (концентрациясини) билдиради.

Концентрациялар учбурчаги ичидаги бирор нуқта, масалан, O нуқта учбурчак учларидан бирига, масалан, A учига яқинлашган сари Od кесма узайиб, Oa ва Om кесмалар қисқариб боради. O нуқта AB чизиғи устида бўлса, Oa кесма нолга тенглашади-да, қотишма икки компонентли (A+B) бўлиб қолади. Агар d нуқта учбурчак учларидан бирида, масалан, A учида бўлса, Oa кесма билан Om кесма нолга, Od кесма эса AC га тенглашиб, фақат тоза A компонентнинг ўзи қолади. Демак, Od кесма уч компонентли системадаги A компонентнинг миқдорини (концентрациясини), Om кесма B компонентнинг миқдорини, Oa кесма эса C компонентнинг миқдорини кўрсатади.

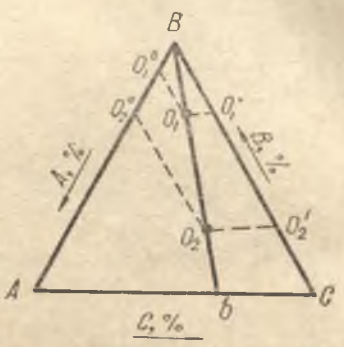
Энди, концентрациялар учбурчагининг хоссалари билан танишиб чиқайлик.

1. Учбурчакнинг ҳар қайси томонига параллел қилиб чизилган тўғри чизиқ кесмасининг ҳар қайси нуқтасига тўғри келадиган қотишма таркибида учбурчакнинг шу кесма рўпарасидаги учига қўйилган компонентнинг миқдори ҳамма вақт бир хил бўлади. Масалан, 98-расмда AC га параллел чизиққа тўғри келадиган барча қотишмалар (чунончи, O_1 ва O_2 қотишмалар) таркибида B компонентнинг миқдори бир хил бўлади, чунки B компонентнинг концентрациясини кўрсатувчи O_1O_1' ва O_2O_2' кесмалар ўзаро тенг.

2. Концентрациялар учбурчагининг бирор учидан унинг рўпарасидаги томонига туширилган тўғри чизиқ кесмасидаги нуқталарга тўғри келадиган қотишмаларнинг таркибида учбурчакнинг қолган икки учига қўйилган компонентлар миқдорлари орасидаги нисбат ўзгармас бўлади. Масалан. 99-расмда O_1 нуқтага тўғри келадиган қотишма таркибидаги А компонент



98- расм.



99- расм.

билан С компонентнинг нисбати $\frac{O_1'O_1}{O_1'O_1}$ га, O_2 нуқтага тўғри келадиган қотишма таркибидаги А компонент билан С компонентнинг нисбати $\frac{O_2'O_2}{O_2'O_2}$ га тенг. $O_2'O_2B$ учбурчак $O_2'O_2B$ учбурчакка, $O_1'O_1B$ учбурчак $O_2'O_2B$ учбурчакка ўхшаш бўлганлигидан

$$\frac{O_1'O_1}{O_1'O_1} = \frac{O_2'O_2}{O_2'O_2}$$

бўлади ва хоказо. Демак, Bb чизиғидаги барча қотишмаларда $\frac{A}{C}$ нисбат ўзгармас экан.

Бинар қотишмаларнинг кристалланиш процессига қандай асосий қоидалар татбиқ этилса, уч компонентли қотишмаларнинг кристалланиш процессига ҳам шундай қоидалар — фазалар қоидаси ва кесмалар қоидаси татбиқ этилади.

Уч компонентли система ҳолат диаграммасининг шакли система компонентларининг ўзаро таъсир этиши натижасида қандай фазалар ҳосил бўлишига боғлиқдир. Система компонентлари эса:

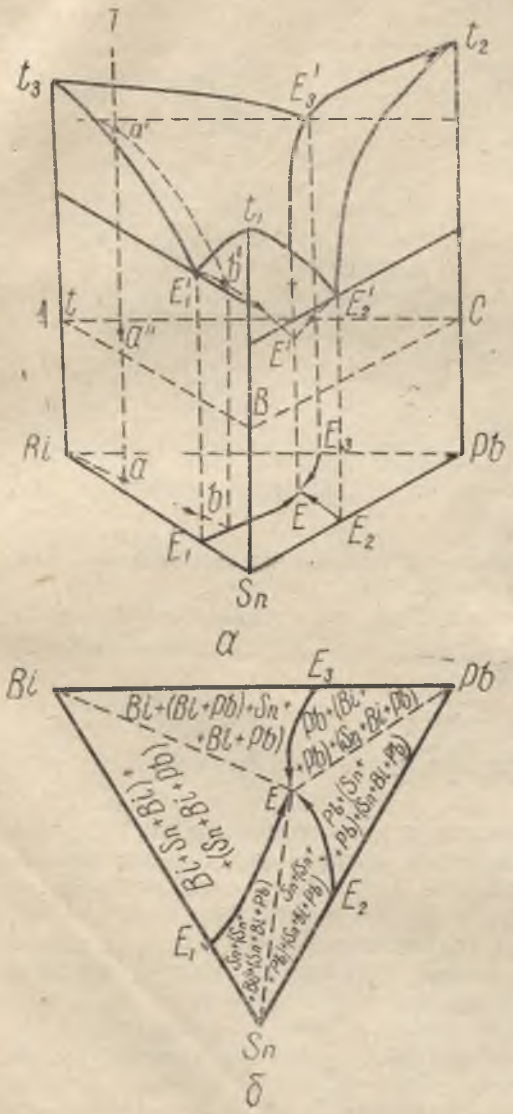
1) қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримаслиги ҳам, ўзаро химиявий бирикма ҳосил қилмаслиги ҳам, яъни механик аралашма (учлама эвтектика) ҳосил қилиши;

2) қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча ёки маълум чегарагача эриши, яъни чекланмаган ёки чекланган қаттиқ эритмалар ҳосил қилиши;

3) ўзаро таъсир этиб, қўш ёки учлама, барқарор ёки беқарор химиявий бирикмалар ҳосил қилиши мумкин.

Биз механик аралашма ҳосил қиладиган уч компонентли система билан қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаларини кўриб чиқамиз.

Компонентлари учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг ҳолат диаграммаси. Компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримай, учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг фазовий ҳолат диаграммасини Bi — Sn — Pb системаси мисолида кўриб чиқайлик. Бундай системанинг фазовий ҳолат диаграммаси 100- расмда тасвирланган.



100- расм. Bi — Sn — Pb системасининг фазовий ҳолат диаграммаси (*а*) ва бинар эвтектика чизиқларининг концентрациялар учбурчагига гуширилган проекцияси (*б*).

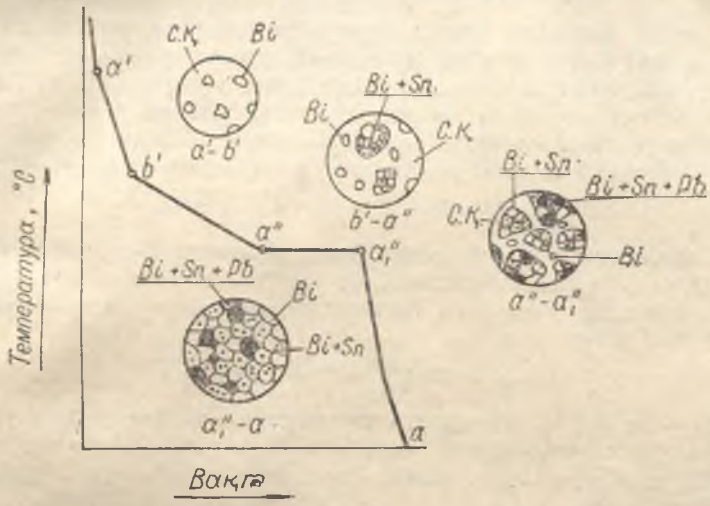
Фазовий диаграмманинг чап ёни E_1 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган икки компонентли Bi — Sn системасининг, ўнг ёни E_2 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган Sn— Pb системасининг, орқа ёни эса E_3 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган Bi — Pb системасининг ҳолат диаграммасидир. Bi — Sn — Pb системасида E таркибли учлама эвтектика ҳосил бўлади. E таркибли қотишма Bi — Sn — Pb системасидаги қолган барча қотишмаларнинг суюқланиш температурасидан паст температурада (96°C да) суюқланади ва 52,5% Bi, 15,5% Sn ҳамда 32% Pb дан иборат бўлади.

Фазовий диаграмманинг $t_1E_1'E'E_2't_1$, $t_2E_2'E'E_3't_2$ ва $t_3E_3'E'E_1't_3$ сиртлари *ликвидус сиртлари* дейилади. Суюқ қотишма ана шу сиртларгача совитилганда, кристаллана бошлайди. $t_1E_1'E'E_2't_1$ сирт қалайнинг кристаллана бошлаш соҳаси, $t_2E_2E'E_3't_2$ сирт қўрғошиннинг кристаллана бошлаш соҳаси, $t_3E_3'E'E_1't_3$ сирт эса висмутнинг кристаллана бошлаш соҳасидир. Ликвидус сиртларининг кесишув чизиқлари уч компонентли системадаги *бинар эвтектика чизиқлари* деб аталади. Масалан, $t_1E_1'E'E_2't_1$ сирт билан $t_2E_2E'E_3't_2$ сиртнинг кесишув чизиғи $E_2'E'$ бинар эвтектика чизиғидир. Ана шу чизиқда қалай билан қўрғошин бир вақтда кристаллана бошлайди. Бинар эвтектика чизиқларининг кесишув нуқтаси учлама эвтектика нуқтаси (E') дир.

Бинар эвтектика чизиқларининг проекцияси концентрациялар учбурчагига туширилса, E_1E, E_2E ва E_3E ясси эгри чизиқлар ҳосил бўлади (100- расм, *б*),

Энди, *I* қотишманинг кристалланиш процессини кўриб чиқайлик. Ликвидус сиртидан юқорида қотишма суюқ ҳолатда бўлади. Суюқ қотишма совитилса, 271°C да ундан висмут кристаллана бошлайди. Бунда

суюқ қотишмада қалай ва қўрғошиннинг концентрацияси орта боради, аммо қалай билан қўрғошин миқдорлари орасидаги нисбат ўзгармайди. Суюқ қотишма таркиби ликвидус сиртидаги $a'b'$ эгри чизиғи бўйлаб ўзгаради. Бу эгри чизиқнинг фазовий диаграмма асосига туширилган проекцияси учбурчакнинг Bi учидан ўтган ab тўғри чизиқ бўлади.



101- расм. *I* қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари.

Демак, $a'b'$ чизиқ Bit_3 ордината билан a' нуқтадан ўтувчи текисликда ётган ясси эгри чизиқдир.

Суюқ қотишмадан висмут кристаллана бориб, суюқ қотишманинг таркиби b нуқтадаги каби бўлиб қолади. Бу вақтда суюқ қотишма висмут билан қалайга тўйинади. Температура пасайган сари Bi ва Sn нинг суюқ фазада эрувчанлиги камаяди, шунинг учун суюқликдан бир вақтнинг ўзида ҳам Bi, ҳам Sn кристаллари ажралиб чиқа бошлайди, яъни бинар эвтектика ҳосил бўлади. Суюқ қотишманинг таркиби $E'(E)$ нуқтадаги каби бўлиб қолганда, суюқ қотишмадан бир вақтнинг ўзида Pb ҳам ажралиб чиқа бошлайди, яъни учлама эвтектика ҳосил бўла боради. Учлама эвтектика, бинар эвтектиканинг аксича, ўзгармас t температурада ажралиб чиқади.

I қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари 101- расмда тасвирланган.

Ҳолат диаграммасининг қайси соҳасида қандай структуралар борлиги 100- расм, *б* да кўрсатилган.

Энди, Bi — Sn - - Pb системасига фазалар қоидасини татбиқ этамиз. Процесс ўзгармас босимда боради, деб фараз қиламиз.

Суюқ қотишмадан висмут кристаллана бошлаганда система икки фазадан — суюқ қотишма билан висмут кристалларидан иборат бўлади ва фазалар қоидаси қуйидагича ёзилади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 2 + 1 = 2.$$

Демак, бундай шароитда, икки фазали системанинг мувозанатини бузмай туриб, температурани ва икки компонентдан бирининг концентрациясини ўзгартириш мумкин.

Агар суюқ қотишма бинар эвтектика (Bi+Sn) билан мувозанатда турса, система уч фазадан, яъни суюқ қотишма ва висмут билан қалай кристалларидан иборат бўлади. Бундай система учун фазалар қоидаси қуйидагича ифодаланади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 3 + 1 = 1.$$

Демак, суюқ қотишма бинар эвтектика билан мувозанатда турган системада фақат битта факторни (ё температурани ёки концентрациялардан бирини) маълум чегарада ўзгартириш мумкин.

Учлама эвтектика ҳосил бўлишида фазалар сони 4 га тенглашади, чунки системада суюқ қотишмадан ташқари, Bi, Sn ва Pb кристаллари ҳам бўлади. Бундай шароитда система вариантсиз (нонвариантли) дир:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 4 + 1 = 0.$$

Демак, кристалланиш процесси суюқ қотишма батамом йўқолгунча ўзгармас температурада боради. Суюқ қотишма кристалланиб бўлгандан кейин, фазалар сони 3 га тенглашиб, системанинг эркинлик даражалари 1 бўлиб қолади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 3 + 1 = 1.$$

Энди, Bi — Sn — Pb системасига кесмалар қоидасини татбиқ этамиз.

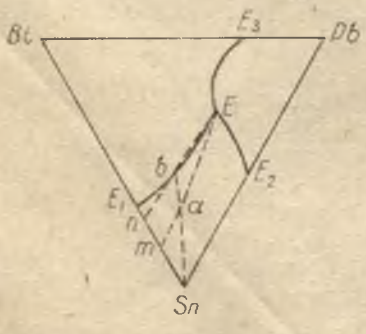
Bi — Sn — Pb системасининг таркиби a нуқтага тўғри келадиган қотишмасида (102- расм) Sn кристаллари (бирламчи кристаллар) миқдори қуйидагича топилади:

$$\text{Sn} = \frac{ab}{\text{Sn}b} \cdot 100\%;$$

суюқ қотишма миқдори эса қуйидагича бўлади:

$$\text{с. қ.} = \frac{\text{Sn}\,a}{\text{Sn}-b} \cdot 100\%;$$

a таркибли қотишмадаги бинар эвтектика миқдори $\frac{bE}{nE}(100 - \text{Sn})\%$ га, учлама эвтектика миқдори эса $\frac{nb}{nE}(100 - \text{Sn})\%$ га тенгдир. Учлама эвтектиканинг миқдорини $\frac{ma}{mE}$ нисбатдан топса ҳам бўлади. Бундай ҳолда $\frac{aE}{mE}$ нисбат Sn нинг бирламчи кристаллари билан бирор эвтектиканинг нисбий миқдорини билдиради.



102- расм. Bi— Sn —Pb системасига кесмалар қоидасининг татбиқ этилиши.

Қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаси. Бундай системанинг ҳолат диаграммасини Mn — Cu — Ni қотишмалари мисолида кўриб чиқамиз, чунки Mn — Cu, Cu — Ni ва Ni — Mn бинар қотишмаларнинг компонентлари суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирида исталганча эрийди.

Mn — Cu — Ni системасининг фазовий ҳолат диаграммаси 103- расмда тасвирланган.

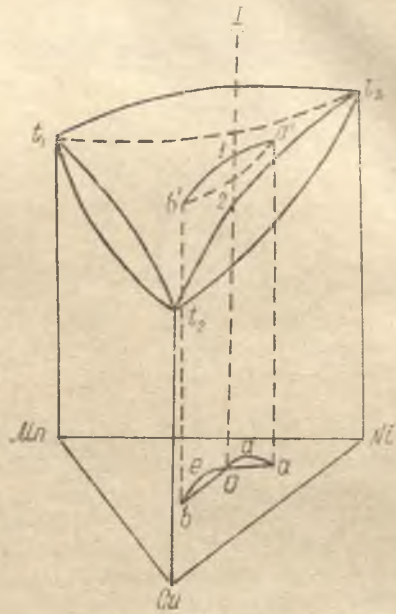
Mn — Cu — Ni системасининг фазовий диаграммасида бинар қотишмаларнинг ликвидус чизиқларидан ўтувчи сирт фазовий диаграмманинг *лик-*

виоус сирти, бинар қотишмаларнинг солидус чизиқларидан ўтувчи сирт фазовий диаграмманинг *солидус сирти* бўлади.

Mn — Cu — Ni системасининг кристалланиши Mn — Cu, Cu — Ni ва Ni — Mn бинар системаларининг кристалланиши кабидир.

Энди, *1* қотишманинг кристалланишини кўриб чиқайлик.

Таркиби *O* нуқтага тўғри келадиган суюқ қотишма совитилса, ликвидус сиртидаги *1* нуқтада кристаллана бошлайди, яъни суюқ қотишмадан Mn, Cu ва Ni нинг бир-биридаги қаттиқ эритмаси ажралиб чиқа бошлайди, бу қаттиқ эритманинг таркиби *a'* нуқтадаги каби бўлади. Қаттиқ эритма кристалларининг таркиби солидус сиртидаги *a'2* чизиғи бўйлаб, суюқ қотишманинг таркиби эса ликвидус сиртидаги *1b'* чизиғи бўйлаб ўзгаради. Демак, қотишма кристаллана борган сари қаттиқ эритманинг таркиби *1* қотишманинг таркибига яқинлашади, суюқ қотишманинг таркиби эса *1* қотишманинг таркибидан узоқлашади. Қотишма солидус сиртидаги *2* нуқтагача совитилса, ана шу нуқтада батамом кристалланиб бўлади, яъни бир жинсли учлама қаттиқ эритмага айланади, бу қаттиқ эритманинг таркиби *1* қотишманинг таркиби каби бўлади.



103- расм. Mn — Cu — Ni системасининг фазовий ҳолат диаграммаси.

Қотишманинг кристалланиш процессида суюқ фазанинг таркибигина ўзгариб қолмай, балки қаттиқ эритманинг таркиби ҳам ўзгаради. Шу сабабли, қаттиқ эритманинг ҳар қайси таркибига суюқ эритманинг муайян таркиби тўғри келади, чунки қаттиқ эритма ҳам, суюқ эритма ҳам *1* қотишманинг фигуратив нуқталари чизиғидан ўтувчи бир тўғри чизиқда бўлади. Қаттиқ эритма таркиби *a'2* чизиғи бўйлаб, суюқ эритма таркиби эса *1b'* чизиғи бўйлаб ўзгариши юқорида айтиб ўтилди, аммо бу чизиқлар бир текисликда ётмайди, шу сабабли улар ясси эгри чизиқлар бўлмай, балки фазовий эгри чизиқлардир. Шунинг учун ҳам учлама қаттиқ эритма кристаллана бошлаб, то батамом кристалланиб бўлгунча унинг таркибини кесмалар қоидасидан фойдаланиб, яъни конода ўтказиш ва бу коноданинг [illegible] дус чизиғини кесиб ўтган нуқтасини аниқлаш йўли билан топиб [illegible] майди.

Қаттиқ эритма билан суюқ эритманинг мувозанатли таркиб чиқаришни бирлаштирувчи конода ўзига параллел тарзда силжиб, фигура *b* борлигини талар чизиғи атрофида айланади. Бунда коноданинг [illegible] аҳамияти шунтаркиби *a'* га тўғри келадиган учи солидус сиртида эримасин, у *a* нуқтақилади (бу эгри чизиқнинг фазовий диаграмма асосига қарамай, тобланпроекцияси *adO* дир), коноданинг иккинчи учи эса ва уни арралаш осон сирпаниб, фазовий диаграмма асосига туширилмасдан, «пўлатнинг темпебўлган эгри чизиқ ҳосил қилади. [illegible]лат массаси донадор (умумий *1* қотишманинг кристалланиш процессида [illegible]мон, яъни аморф ҳолатга лари сони 2 га тенг, чунки бунда қотишма [illegible]. *Т.*) ўтади».

$$C = K - \Phi + 1 = 3 -$$

[illegible]маси ҳолат диаграммасининг нарамма 106- расмда тасвирланган.

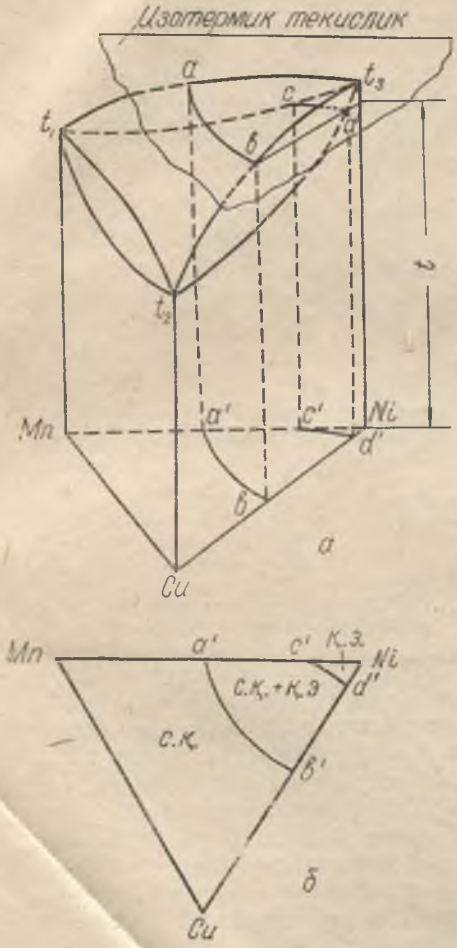
Бинобарин, температуранинг ўзгариши билан бир вақтда қаттиқ эритманинг таркибини ҳам ўзгартириш мумкин, бунда мувозанат бузилмайди. Қаттиқ эритма таркибини фазовий эгри чизиқ бўйлаб ўзгартириш мумкинлигининг сабаби ана шу.

Mn—Cu—Ni системаси ва, умуман, компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган учлама системалар ҳолат диаграммаларининг горизонтал (изотермик) кесимлари диққатга сазовордир.

Фазовий диаграммани кесувчи горизонтал текислик *изотермик текислик* деб аталади.

Mn — Cu — Ni системаси ҳолат диаграммасини энг қийин суюқланувчи компонент (Ni) нинг суюқланиш температураси (t_3) дан пастроқ, аммо энг осон суюқланувчи компонент (Cu) нинг суюқланиш температураси (t_2) дан юқорироқ температура (t) да изотермик текислик билан кесайлик (104- расм, *а*). Бундай изотермик текислик фазовий диаграмманинг ликвидус сиртини *ав* чизиғи бўйлаб, солидус сиртини эса *cd* чизиғи бўйлаб кесади. *ав* чизиқ *ликвидус изотермаси* деб, *cd* чизиқ эса *солидус изотермаси* деб аталади. Ликвидус изотермасидан юқорида система суюқ қотишмадан, ликвидус изотермаси билан солидус изотермаси орасида система суюқ қотишма ва қаттиқ эритма кристалларидан, солидус изотермасидан пастда эса система қаттиқ эритма кристалларидан иборат бўлади (104- расм, *б*).

Изотермик кесимлар учлама эвтектика ҳосил қиладиган системаларнинг ҳолат диаграммаларида ҳам ўтказилади, аммо бу кесимлар ликвидус изотермаларидангина иборат бўлади, чунки солидус температураси системанинг ҳамма қотишмалари учун бир хил, яъни учлама эвтектиканинг қотиш температурасига тенгдир.



104- расм. Mn — Cu— Ni системаси ҳолат диаграммасининг изотермик текислик билан кесилиши.

V БОБ

ТЕМИР — УГЛЕРОД ҚОТИШМАЛАРИ

УМУМИЙ МАЪЛУМОТ

Барча металларнинг қора ва рангдор металларга бўлиниши ўрта мактаб химия курсидан маълум. Қора металларга, асосан, темир ва унинг қотишмалари киради. Темир қотишмаларидан энг муҳимларини ҳозирги замон машинасозлигининг асоси бўлган *пўлат* билан *чўян* ташкил этади. Пўлат билан чўян эса *темир — углерод қотишмалари* деб аталади.

Пўлат билан чўян ўз таркиби жиҳатидан мураккаб, яъни кўп компонентли қотишмалардир. Аммо уларнинг таркибига иккита асосий компонент — темир (Fe) ва углерод (C) киради, шунинг учун бу қотишмаларни темир—углерод қотишмалари деб қараш мумкин.

Темир—углерод қотишмаларининг тузилишини, бу қотишмалар қиздирилганда, совитилганда ва бошқа усуллар билан ишланганда уларда қандай процесслар содир бўлишини ўрганиш соҳасида ватанимиз фани биринчи ўринда туради. Улуғ рус олими Д. К. Черновнинг кашфиётлари туфайли пўлат ва чўян ишлаб чиқариш ҳамда уларни термик ишлаш пухта илмий асосга эга бўлиб қолди.

Д. К. Черновнинг тадқиқотлари темир—углерод системасининг ҳолат диаграммасини, шунингдек, темир—углерод қотишмаларини ўрганишга асос бўлди ва металлшунослик фани пайдо бўлишига олиб келди.

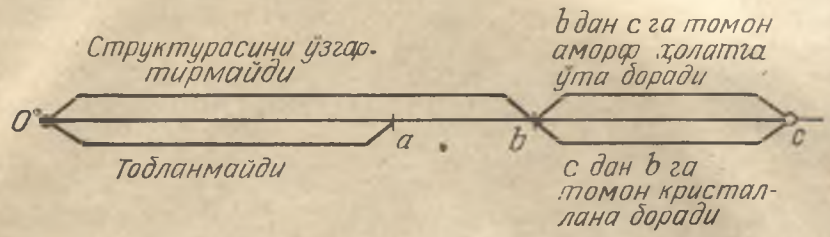
Д. К. Чернов қаттиқ ҳолатдаги пўлатда содир бўладиган ўзгаришларни кашф этди ва пўлатда критик нуқталар мавжудлигини ва бу нуқталарнинг углерод миқдорига боғлиқ эканлигини кўрсатди, яъни темир—углерод диаграммаси тўғрисида дастлабки тушунчалар берди.

Критик нуқталар кашф этилишидан олдин, пўлат қиздирилганда ва совитилганда унда нималар содир бўлиши маълум эмас эди. Шу сабабли пўлатни термик ишлаш натижалари хилма-хил чиқарди.

1868 йилда Д. К. Чернов пўлатдан тўп стволлари ишлаб чиқаришни текширар экан, пўлатда критик нуқта *a* ва критик нуқта *b* борлигини аниқлади. Чернов таъбири билан айтганда *a* нуқтанинг аҳамияти шундан иборат (105- расм): «Пўлат қанчалик қаттиқ бўлмасин, у *a* нуқтадан паст қиздирилганда, қанчалик тез совитилишига қарамай, тобланмайди; аксинча, у анча юмшоқ бўлиб қолади ва уни арралаш осон бўлади». *b* нуқтанинг аҳамияти шундан иборатки, «пўлатнинг температураси *b* нуқтагача кўтарилди дегунча пўлат массаси донадор (умуман айтганда, кристалл) ҳолатдан мумсимон, яъни аморф ҳолатга (қаттиқ эритма — аустенит ҳолатига — *А. Т.*) ўтади».

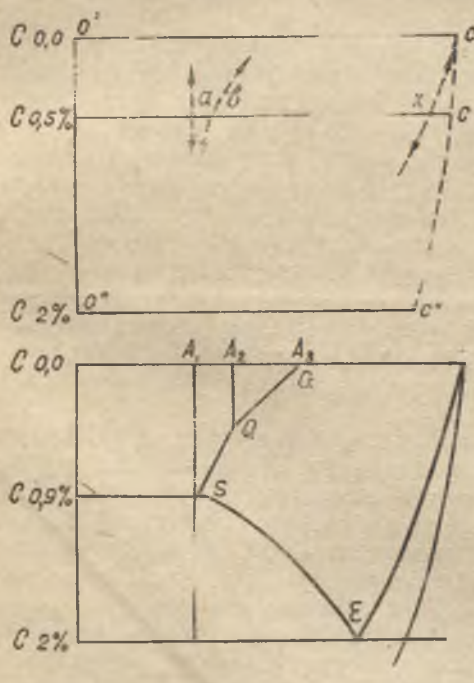
Д. К. Чернов темир — углерод системаси ҳолат диаграммасининг намунасини ҳам чизиб берди. Бу диаграмма 106- расмда тасвирланган.

Д. К. Чернов диаграммаси пўлатда бўладиган ўзгаришлар тўғрисида энг муҳим маълумотлар олишга имкон беради ки, бу маълумотлардан биз ҳозирги кунгача фойдаланиб келамиз.



105- расм. Пўлатнинг критик нуқталари (Д. К. Чернов).

106- расмда тасвирланган диаграммада *a* нуқта пўлатдаги углерод миқдорига боғлиқ эмас, *b* нуқта эса углерод миқдорининг ортиши билан пасаяди; *b* нуқтадан юқори температурадагина пўлатнинг структураси батамом аустенитга айланади, бинобарин, *b* нуқтадан пастда пўлат тобланмайди. *c'cc''* чизиқ ликвидус чизиғи бўлиб, *c'X* чизиқ солидус чизиғидир.



106- расм. Темир-углерод қотишмаларининг ҳолат диаграммаси (Д. К. Чернов).

Д. К. Чернов *a* ва *b* критик нуқталарни пўлатнинг чўғланиш рангларига қараб топган эди. Француз олими Ф. Осмонд Ле-Шателье пирометридан фойдаланиб, бу критик температураларни ўлчади ва критик нуқталардан ўтишда пўлат структурасида бўладиган ўзгаришларнинг характерини аниқлаб, асосий структураларга ном берди.

Пўлат қиздирилганда аустенит ҳосил бўлишини дастлаб инглиз тадқиқотчиси Р. Аустен топди, унинг бу кашфиётини металлографик анализ ёрдамида француз олими Ле-Шателье, рус олимлари А. А. Байков ва Н. Т. Гудцов исботладилар. Юқорида баён этилган маълумотлардан фойдаланиб, голланд олими Г. Розебом ва инглиз тадқиқотчиси Р. Аустен темир — углерод системаси ҳолат диаграммасининг дастлабки намунасини чизиб бердилар, аммо уларнинг бу диаграммалари мукаммал эмас эди. Фақат XIX асрнинг охиридагина немис олими П. Геренс янги маълумотлардан фойдаланиб, темир — углерод ҳолат диаграммасининг ҳозирги кўринишига яқин вариантини чизиб берди.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, темир—углерод системасининг ҳолат диаграммасини, мувозанат чизиқларининг вазияти нуқтаи назаридан олганда, ҳозир ҳали мукаммал деб бўлмайди. Темир—углерод қотишмаларини тозалаш усуллари ва текшириш методлари такомиллаша

борган сари диаграммадаги мувозанат чизиқлари вазиятининг янада аниқланиши шубҳасиздир.

Темир — углерод системасининг ҳолат диаграммасини ўрганиш амалий жиҳатдан ғоят катта аҳамиятга эга, чунки пўлат ҳамда чўянни термик ишлаш ва технологик процессларнинг бошқа баъзи турлари ана шу диаграммага асосланади.

Темир углерод билан бирикиб, бир неча хил химиявий бирикма: Fe_3C, Fe_2C, FeC ва бошқаларни ҳосил қилади. Демак, темир — углерод системасининг ҳолат диаграммаси тўртинчи тип ҳолат диаграммалари жумласига киради ва юқорида тилга олинган химиявий бирикмаларга оид чизиқлар воситасида бир неча диаграммага бўлинади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, амалда ишлатиладиган темир — углерод қотишмаларининг таркибида кўпи билан 5% углерод бўлади. Бундан ташқари, таркибида 6,67% дан ортиқ углерод бўлган қотишмалар ҳолат диаграммаси яхши текширилган эмас. Шунинг учун биз Fe—C ҳолат диаграммасининг темирдан то Fe_3C* гача бўлган қисминигина кўриб чиқамиз ва бунда темир билан Fe_3C ни системанинг компонентлари деб ҳисоблаймиз. Шундай экан, Fe—Fe_3C системасининг ҳолат диаграммасини кўриб чиқишдан олдин темир ва цементитнинг хоссалари ҳамда тузилиши билан танишиб чиқишимиз керак.

1-§. ТЕМИР ВА УНИНГ ХОССАЛАРИ

Одатда, темир ҳеч қачон мутлақо тоза ҳолатда бўлмайди, унга ҳамма вақт бошқа элементлар аралашган бўлади. Ҳозирги вақтда илмий текшириш ишлари учун таркибида 0,01% ва, ҳатто, ундан ҳам кам қўшимчалар бўладиган темир ҳосил қилиш усули топилган. Бундай темирни текширишга жуда камдан-кам ҳоллардагина эҳтиёж туғилади. Кўпчилик ҳолларда *техника темири* (баъзан арико темир) деб аталадиган темир текширилади, бундай темир эса ҳозир мартен печларида кўп миқдорда ҳосил қилинади. Техника темирининг таркибида 0,1—0,2% ўндан ортиқ элементлар бўлади. Бу элементларнинг баъзилари, масалан, углерод ва мис процентнинг юздан бир улушлари қадар (0,02% чамаси) бўлса, қолганларининг миқдори процентнинг мингдан ва, ҳатто, ўн мингдан бир улушларини ташкил этади.

Қуйида келтирилган маълумотлар худди шу техника темирига оиддир.

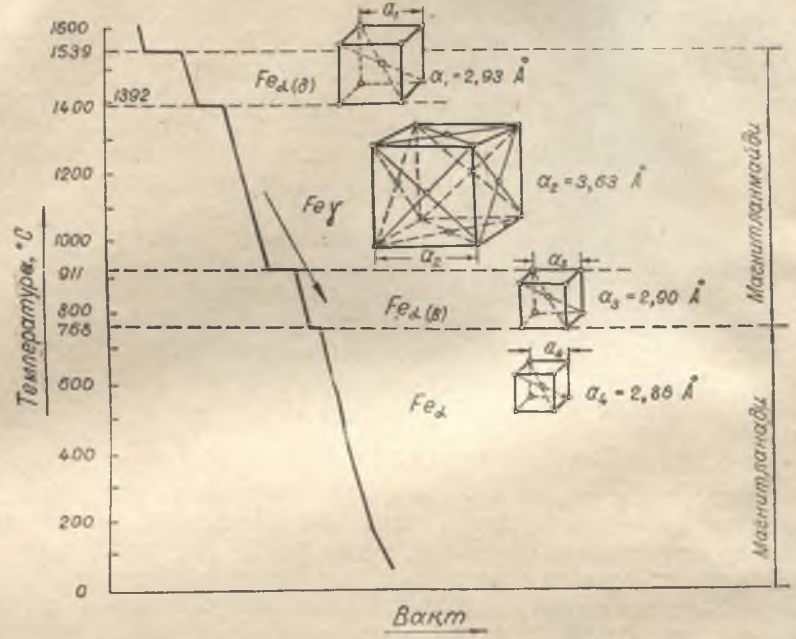
Темир юмшоқ, пластик, кул рангроқ тусда товланадиган оқ металл бўлиб, 1539°С да суюқланади.

Қаттиқ ҳолатда темирнинг иккита модификацияси (аллотропик шакл ўзгариши) бўлади, булар α-темир ($Fe\alpha$) ва γ-темир ($Fe\gamma$) дир. Темирнинг совиш эгри чизиғи ва α-темир билан γ-темирнинг кристалл панжараси 107-расмда тасвирланган.

α-темир температураларнинг икки оралиғида: 911°С дан паст температураларда ва 1392 дан 1539°С гача температураларда мавжуд бўла олади. Бунинг сабаби шуки, темирнинг эркин энергияси (F) миқдори температурага қараб маълум даражада ўзгаради: 911°С дан паст температураларда α-темирнинг эркин энергияси γ-темирникидан кам, 1392°С дан юқори температураларда эса ортиқ бўлади. 911°С билан 1392°С температуралар оралиғида темир атомларининг ёқлари марказлашган куб тарзида жойлашуви сабабли эркин энергияси камроқ бўлади, шунинг учун темир қиздирилганда 911°С температурада α-темир γ-темирга, 1392°С температурада эса γ-темир α-темирга айланади.

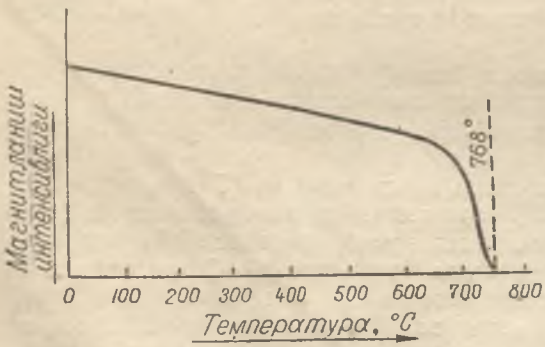
* Fe_3C таркибли химиявий бирикмани *цементит* деб аташ қабул қилинган.

1392°C ва ундан юқори температурадаги α-темир, баъзан, δ-темир дейилади. Аммо темирнинг бу модификацияси янги бир шакл ўзгариш эмас. δ-темир 768°C ва ундан паст температурадаги α-темирдан фақат кристалл панжара параметрлари жиҳатидангина фарқ қилади (107-



107- расм. Темирнинг совиш эгри чизиғи ва кристалл панжаралари.

расмга қаранг). Баъзи металларда, шу жумладан темирда ҳам, яхши магнитланиш хоссаси бўлади. Темирнинг бу хоссаси *ферромагнитлик хоссаси* дейилади. Аммо темир қиздирилган сари унинг ферромагнитлик хоссаси секин-аста пасайиб, маълум температурада бутунлай йўқолади. Металлнинг ферромагнитлик хоссаси бутунлай йўқоладиган температура *Кюри нуқтаси* деб аталади. Демак, 768°C температура темир учун Кюри нуқтасидир. 108- расмда темир магнитланиш хоссасининг температурага қараб ўзгариши тасвирланган.



108- расм.

Темирнинг ферромагнитлик хоссаси Кюри нуқтасига яқинлашган сари секин-аста пасайиб боради ва бу нуқтада темирнинг хоссалари тўсатдан ўзгармайди. Ферромагнитлик хоссасининг ўзгаришида температура гистерезиси (ўта совиш, ўта қизиш) бўлмайди ва металлнинг механик ва баъзи физикавий хоссалари ўзгармай, балки кўпгина электр, магнит ва иссиқлик

хоссалари ўзгаради. Металлнинг ферромагнитлик хоссаси ўзгарганда металл қайта кристалланмайди, яъни кристалл панжара ўзгармайди, аммо кристалл панжаранинг параметрлари бир оз ўзгаради. Бинобарин, ферромагнитлик хоссасининг ўзгариши аллотропик шакл ўзгаришдан бутунлай фарқ қилади.

768 билан 911°С температуралар орасидаги α-темир магнитланмайди, шунинг учун у β-темир деб аталади.

Энди, темирнинг баъзи механик хоссаларини кўрсатувчи қуйидаги маълумотларни келтириб ўтамиз (7-жадвал).

7-жадвал

Темирнинг механик хоссалари

Механик хоссалари				
σb, $Мн/м^2$ (10^{-1} $кГ/мм^2$)	δ, %	ψ, %	$a_н$, $кж/м^2$ (10^{-2} $кГм/см^2$)	HB
250	50	85	3000	80

Темир баъзи металлар билан ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади, металлоидлар, масалан, азот, углерод ҳамда водород билан эса сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил қила олади.

2-§. ЦЕМЕНТИТ ВА УНИНГ ХОССАЛАРИ

Цементит Fe_3C темирнинг углерод билан ҳосил қилган химиявий бирикмаси, яъни темир карбиди бўлиб, унинг таркибида 6,67% углерод бўлади. Цементит жуда қаттиқ модда — унинг қаттиқлиги Бринель бўйича 800 га тенг (НВ=800), пластиклиги эса, амалий жиҳатдан олганда, нолга баравар (δ=0%). Цементитнинг суюқланиш температураси 1600°С чамасидадир. Паст температураларда цементитда кучсиз магнитланиш хоссаси бўлади, унинг бу хоссаси 217°С температурада йўқолади. Цементит барқарор бирикма эмас — қиздирилганда парчаланиб, ундан графит ажралиб чиқади:

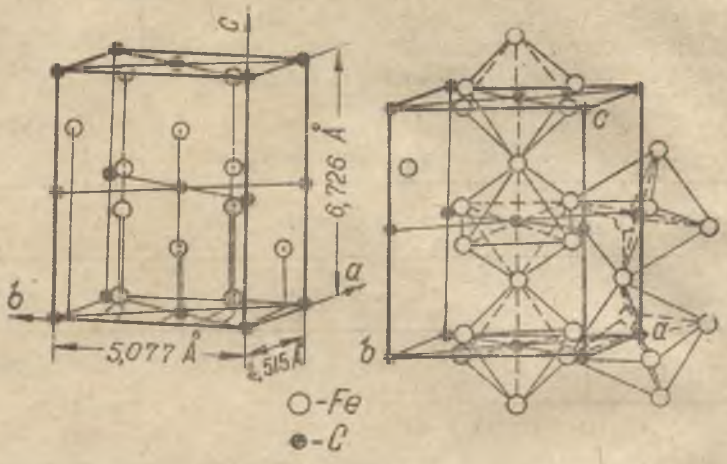
$$\underset{\text{цементит}}{Fe_3C} \xrightarrow{\text{қиздириш}} 3Fe + \underset{\text{графит}}{C}$$

Цементитнинг кристалл панжараси жуда мураккабдир (109-расм). Цементит кристалининг бир неча октаэдрдан иборатлиги расмдан кўриниб турибди (расмда октаэдрларнинг бештаси кўрсатилган). Темирнинг ҳар бир атоми бир вақтнинг ўзида икки октаэдрга тегишли бўлганлигидан, ҳар қайси октаэдрга 3 атом темир ва 1 атом углерод тааллуқлидир.

Цементит ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қила олади, яъни ундаги углерод атомлари ўрнини металлоидлар, масалан, азот ёки кислород атомлари, темир атомлари ўрнини эса металлар, чунончи марганец, хром, вольфрам атомлари олиши мумкин. Таркибидаги темир атомларининг ўрнини бошқа металларнинг атомлари олишидан ҳосил бўлган бирикма *легирланган цементит* деб аталади ва Me_3C формула

билан белгиланади (бу формулада Me — цементит таркибидаги темир атомлари ўрнини олган металл атомлари).

Углерод α-темирда кам эриганлигидан, кўпчилик ҳолларда, пўлат структурасига таркибида углерод миқдори кўп бўлган фазалар — цементит ёки бошқа карбидлар киради



109- расм. Цементитнинг кристалл панжараси.

A. Fe—Fe_3C СИСТЕМАСИНИНГ ҲОЛАТ ДИАГРАММАСИ

Темир—углерод қотишмалари шартли равишда икки компонентли қотишмалар жумласига киритилади. Углероднинг темир билан бирикиб, химиявий бирикма — цементит Fe_3C ҳосил қилиши мумкинлиги юқорида айтиб ўтилган эди. Бундан ташқари, қотишмада углерод эркин ҳолда, яъни графит тарзида ҳам бўлиши мумкин. Цементитнинг парчаланиши натижасида ҳам графит ҳосил бўла олади. Демак, темир—углерод қотишмаларининг икки хил системаси — цементитли ва графитли системалари мавжуд. Бу системалардан биридаги компонентлар темир билан цементит (Fe—Fe_3C) бўлса, иккинчисидаги компонентлар темир билан графит (Fe—C) дан иборат.

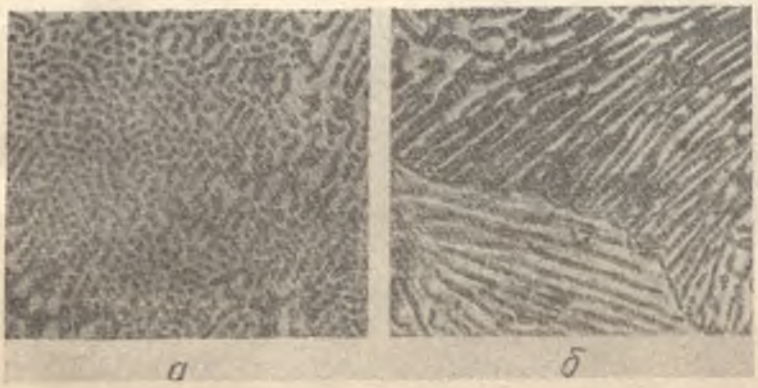
Fe—Fe_3C системасининг ҳолат диаграммаси 110- расмда тасвирланган. Расмда Fe — C системасининг ҳолат диаграммаси пунктир чизиқлар билан кўрсатилган.

Fe—C системаси барқарордир, шунинг учун у *стабил система* деб аталади. Цементитнинг парчаланиши мумкин бўлганлигидан Fe—Fe_3C системаси, назарий жиҳатдан олганда, батамом мувозанатдаги система бўла олмайди, шунинг учун у *метастабил система* дейилади. Мувозанат ҳолат шундан иборатки, мумкин бўлган процессларнинг ҳаммаси охиригача боради. Аммо Fe_3C (цементит) темир билан углерод қотишмаларидан фойдаланишнинг одатдаги шароитида парчаланмайди. Шу сабабли Fe—Fe_3C системасини амалда мувозанатдаги система деб ҳисоблаш мумкин.

Fe—Fe_3C диаграммасидан пўлат ва оқ чўянларни ўрганишда кенг кўламда фойдаланилади; Fe—C системасидан эса таркибидаги углерод графит тарзида бўладиган пўлат ва чўянларни ўрганишдагина фойдаланиш мумкин.

ғовагининг диаметри 0,62Å га тенг. Бундай жойга углерод атоми сиғмайди, албатта.

γ-темирнинг ёқлари марказлашган кристалл панжарасининг ўртасида диаметри 1,02Å га тенг ғовак бор. Ана шу ғовакка углерод атоми сиғиши мумкин, бунда углерод атоми кристалл панжаранинг ўлчамларини бир қадар оширади, ўзи эса эриётганда валент электронларини бериш ҳисобига сал кичраяди.



112- расм. Ледебуритнинг (*а*) ва перлитнинг (*б*) микроскопик тузилиши. ×450 ва×1000.

Бу мулоҳазалар углероднинг α-темирда эримаслигини, γ-темирда эса эришини кўрсатади. Аммо олимларнинг ўтказган тадқиқотлари углероднинг α-темирда ҳам жуда оз миқдорда (0,02% миқдорида) эришини кўрсатди.

Углерод ва бошқа элементларнинг α-темирдаги эритмаси *феррит* деб, γ-темирдаги эритмаси эса *аустенит* деб аталади.

Феррит*. Феррит *Ф*, α ёки Feα(C) билан белгиланади. 727°С температурада углероднинг α-темирда эриши мумкин бўлган энг кўп миқдори 0,02% га тенг. Температура 727°С дан кўтарилганда α-темирда эрийдиган углерод миқдори камайиб боради ва 911°С да нолга тенг бўлади; температура пасайганда ҳам углероднинг α-темирда эрийдиган миқдори камайиб боради ва уй температурасида тахминан 0,008% (0,01%) га тенг бўлиб қолади.



113- расм. Ферритнинг микроскопик тузилиши. ×100.

Феррит юмшоқ, пластик фазадир; унинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб. Ферритнинг механик хоссалари қуйидагича: НВ=80; σ_b=250 *Мн/м*²; δ = 50%; ψ = 80%.

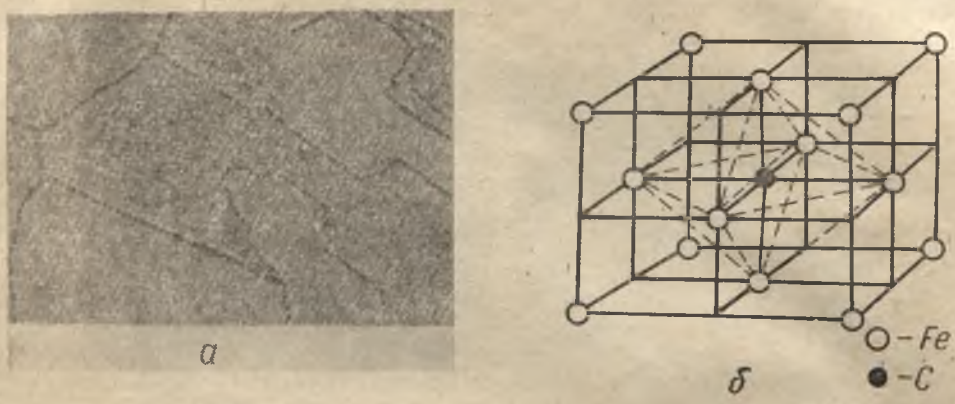
Микроскоп остида феррит бир жинсли полиэдрик доналар тарзида кўринади (113- расм).

Аустенит**. Аустенит А, γ ёки Feγ(C) билан белгиланади. Аустенит Fe — Fe_3C ҳолат диаграммасида *NJESGN* соҳани ишғол этади. Унинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган кубдир (114- расм, *б*). Кристалл панжарасининг параметрлари аустенит таркибидаги углерод миқдорига қараб ўзгаради ва 3,63 дан 3,68Å гача бўлади. 1147°С температурада γ-темирда эрийдиган углероднинг

* *Феррит* сўзи темирнинг латинча номи *феррумдан* олинган.

** *Аустенит* деган ном инглиз тадқиқотчиси Р. Аустен шарафига қўйилган.

энг кўп миқдори 2,14% дир. Температуранинг пасайиши билан углероднинг эрувчанлиги камайиб. 727°С температурада 0,8% ни ташкил этади. Аустенит юмшоқ ва пластикдир: $HB = 220$; $\delta = 40—50\%$.



114- расм. Аустенит:

а — аустенитнинг микроскопик тузилиши (×500); *б* — аустенит кристалл панжарасининг элементар катакчаси.

Таркибида 1,0% углерод бўлган пўлатдаги аустенитнинг микроскопик тузилиши 114- расм, *а* да тасвирланган.

Fe—Fe_3C системаси ҳолат диаграммасидаги нуқталарда температураларнинг ва қотишма таркибидаги углерод миқдорининг қандай бўлишини диаграмманинг ўзидан яққол кўриш мумкин.

Диаграммадаги учта горизонтал чизиқда уч хил процесс бориши юқорида айтиб ўтилди. Ана шу ўзига хос бирламчи ва иккиламчи кристалланиш процессларига мувофиқ равишда ва ўрганишни осонлаштириш мақсадида диаграмманинг алоҳида-алоҳида қисмларини кўриб чиқамиз.

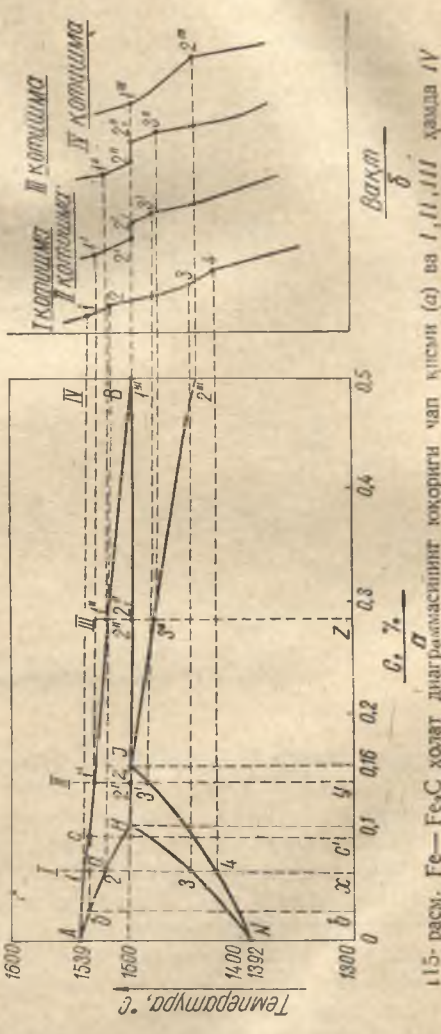
Fe—Fe_3C системаси ҳолат диаграммасининг юқориги чап бурчаги. Диаграмманинг бу қисми ва *I, II, III* ҳамда *IV* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 115- расмда тасвирланган.

I қотишма (*x* концентрацияли қотишма) совитилганда унинг ўзгаришини кўриб чиқайлик.

Суюқ қотишманинг кристалланиши *1* нуқтада бошланади, бу нуқтада суюқ қотишмадан феррит (δ-қаттиқ эритма) кристаллари ажралиб чиқа бошлайди.

Кристалланиш процессида суюқ фазанинг концентрацияси *AB* чизиғи бўйлаб, қаттиқ фазанинг концентрацияси эса *AH* чизиғи бўйлаб ўзгаради. Суюқ ва қаттиқ фазалар соҳасидаги *a* нуқтада суюқ фазанинг концентрацияси *c* нуқтанинг абсциссалар (концентрациялар) ўқига туширилган проекциясидан, қаттиқ фазанинг концентрацияси эса *b* нуқтанинг ўша ўққа туширилган проекциясидан топилади; қаттиқ фаза миқдори билан суюқ фаза миқдорини кесмалар қоидасидан фойдаланиб аниқлаш мумкин. *2* нуқтада суюқ фаза батамом қотади, яъни бир жинсли қаттиқ қотишма — углероднинг δ-темирдаги қаттиқ эритмаси (феррит) ҳосил бўлади. Бу қотишма *3* нуқтагача ўзгармайди, аммо *3—4* нуқталар орасида δ-қаттиқ эритма аустенитга айлана боради.

δ-қаттиқ эритманинг концентрацияси *HN* чизиғи бўйлаб, аустенитнинг концентрацияси эса *JN* чизиғи бўйлаб ўзгаради. *3* ва *4* орасида турган бирор нуқтадаги феррит билан аустенитнинг концентрациялари ва бу фазаларнинг миқдорлари юқорида айтилган принцип асосида топилади. *4* нуқтада δ-қаттиқ эритма батамом аустенитга айланади. *II* қотишма (*y* концентрацияли қотишма) совитилганда суюқ қотишма *1′* нуқтада кристаллана бошлайди, яъни ундан, худди *I* қотишмада бўлгани каби, δ-қаттиқ эритма ажралиб чиқади ва бу процесс *2′* нуқтагача давом этади (115- расм, *б*). *2′* нуқтада суюқ фазанинг концентрацияси *B* нуқтадаги каби (0,5% С), δ-қаттиқ эритманинг концентрацияси эса *H* нуқтадаги каби (0,1% С) бўлади ва перитектик реакция бошланиб концентрацияси *J* нуқтадаги каби аустенит (γ-фаза) ҳосил бўла бошлайди. Учта фаза мавжуд ($C = K - \Phi + 1 = 0$) бўлганлигидан процесс ўзгармас (1500°С) температурада боради, шунинг учун совиш эгри чизиғидаги $2' - 2'_1$ кесма горизонтал чизиқ бўлади. $2'_1$ нуқтада суюқ фаза батамом кристалланади ва $2'_1 - 3'$ нуқталар оралиғида қотишма δ-қаттиқ эритма билан аустенитдан иборат бўлади.



115- расм. Fe—Fe_3C ҳолат диаграммасининг юқориги чап қисми (*а*) ва *I*, *II*, *III* ҳамда *IV* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари (*б*).

Аммо, қотишма *J* нуқтадан чапда бўлганлиги учун, $2'_1$ нуқтадан *3′* нуқтага томон қотишмадаги δ-қаттиқ эритма аустенитга айлана бориб, *3′* нуқтада батамом айланиб бўлади. Демак, *3′* нуқтадан пастда қотишма фақат аустенитдан иборатдир.

III қотишманинг (*z* концентрацияли қотишманинг) совишини кўриб чиқайлик.

Бу қотишма *1″* нуқта билан *2′* нуқта оралиғида суюқ фаза билан δ-қаттиқ эритмадан иборат бўлади. *2″* нуқтада перитектик реакция бошланиб, яъни суюқ фаза билан δ-қаттиқ эритма ўзаро таъсир этиб, аустенит ҳосил қилади ва бу процесс ўзгармас температурада $2''_1$ нуқтагача давом этади (115- расм, *б*). Аммо $2''_1$ нуқтада суюқ фаза ортиб қолади ва у совитилаверса, ундан аустенит кристаллана бошлайди. *3″* нуқтада суюқ фаза батамом аустенитга айланади. Демак *3″* нуқтадан пастда қотишма нуқул аустенитдан иборат бўлади.

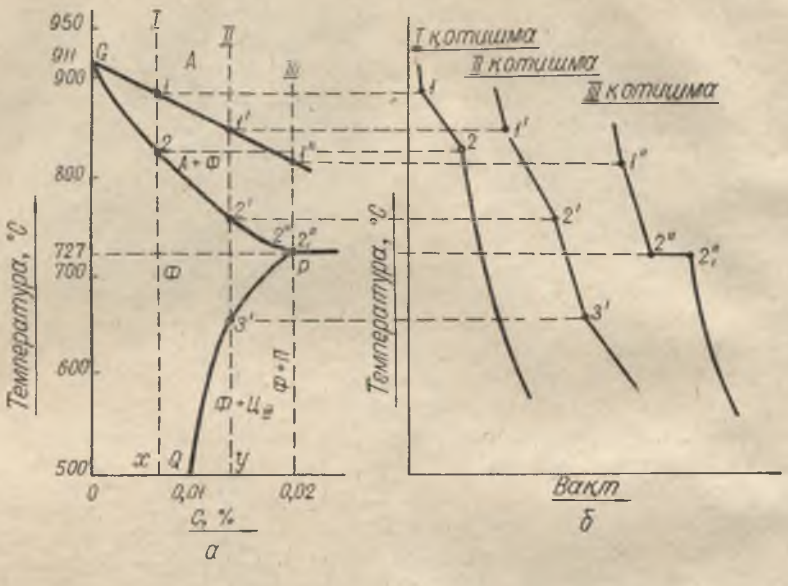
Энди, таркибида 0,5% углерод бўлган *IV* қотишмани кўриб чиқайлик.

Бу қотишма совитилганда *1‴* нуқтада суюқ қотишмадан аустенит ажралиб чиқа бошлайди ва бу процесс *2‴* нуқтагача (солидус нуқтасигача) давом этади. Демак, *1‴* ва *2‴* нуқталар оралиғида суюқ фаза+аустенит, *2‴* нуқтадан пастда эса фақат аустенит мавжуд бўлади.

Шундай қилиб, таркибида 0,5% дан кам углерод бўлган ҳар қандай қотишма олинганда, оқибат натижада, аустенит ҳосил бўлар экан.

Fe — Fe_3C системаси ҳолат диаграммасининг пастки чап бурчаги. Диаграмманинг бу қисми ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 116-расмда тасвирланган.

Таркибида 0,01% дан кам (x%) углерод бўлган *I* қотишма 950°С чамаси температурада аустенитдан иборат бўлади. Нормал темпера-



116- расм. Fe — Fe_3C системаси ҳолат диаграммасининг пастки чап бурчаги (*а*) ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари (*б*).

рада темир Feα тарзида бўлади, бинобарин, *I* қотишма совитилганда *1* нуқтадан *2* нуқтагача бўлган температуралар оралиғида аустенит ферритга айлана боради. Совиш эгри чизиғида бу ўзгариш *1—2* кесма билан ифодаланган (116-расм, б). *1* нуқта билан *2* нуқта оралиғида қотишма иккита қаттиқ фазадан — аустенит билан ферритдан иборат. *1* нуқтадан *2* нуқтага томон аустенит концентрацияси камайиб, феррит концентрацияси ортиб боради. *2* нуқтадан пастда қотишма нуқул ферритдан, яъни углероднинг α-темирдаги бир жинсли қаттиқ эритмасидан иборат бўлади ва совитиш давом эттирилганда қотишмада ҳеч қандай ўзгариш юз бермайди.

Таркибида 0,01% дан ортиқ, аммо 0,02% дан кам (y%) углерод бўлган *II* қотишманинг совитилганда қандай ўзгариши 116-расм, *б* да тасвирланган. Бу қотишма шу билан фарқ қиладики, аустенит ферритга айланиб бўлгандан кейин қотишма совитилаверса, *II* чизиқ *PQ* чизиғини *3′* нуқтада кесиб ўтади. *3′* нуқтадан юқорида ферритда 0,02% углерод эриган бўлади, температура пасайган сари углероднинг ферритда эрувчанлиги тез камаяди, *3′* нуқтадан пастда эса эритмадаги углерод концентрацияси ўзгаради, яъни ортиқча углерод цементит таркибига кирган ҳолда ажралиб чиқади. Демак, *3′* нуқтадан пастда қотишма феррит билан учламчи цементитдан иборат бўлади, чунки ферритдан ажралиб чиқадиган цементит *учламчи цементит* деб аталади. Қотишма

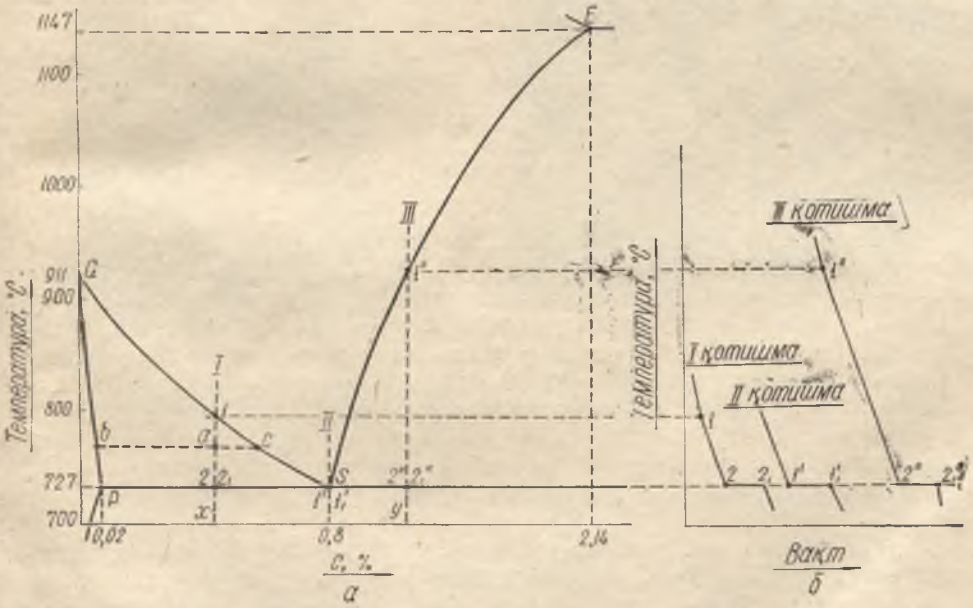
совитилаверса, бу процесс давом этиб, феррит таркибидаги углерод миқдори 0,01% га тушиб қолади. Суюқ қотишмадан ажралиб чиқадиган цементит *бирламчи цементит* деб, аустенитдан ажралиб чиқадигани эса *иккиламчи цементит* деб аталади.

Энди, таркибида 0,02% углерод бўлган *III* қотишмани кўриб чиқайлик.

III қотишма совитилганда *1″* нуқтада аустенит ферритга айлана бошлайди ва бу процесс *2″* нуқтагача давом этади. *2″* нуқтада эса аустенитдан феррит билан иккиламчи цементит аралашмаси (перлит) хосил бўла бошлайди, яъни эвтектоидавий процесс бошланиб, бу процесс ўзгармас (727°С) температурада $2'_1$ нуқтагача давом этади (116- расм, *б*). $2'_1$ нуқтада аустенит перлитга батамом айланади. Бинобарин, $2'_1$ нуқтадан пастда қотишма феррит билан перлит (феррит + иккиламчи цементит)дан иборат бўлади.

Fe—Fe_3C системаси ҳолат диаграммасининг пастки чап қисми. Диаграмманинг бу қисми ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 117- расмда тасвирланган.

Таркибидаги углерод миқдори *x*% бўлган *I* қотишмани олайлик.



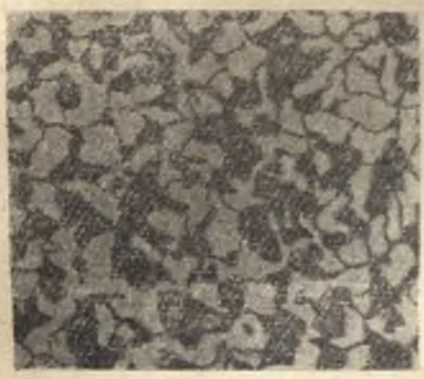
117- расм. Fe — Fe_3C ҳолат диаграммасининг пастки чап қисми (а) ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари (б).

I қотишма совитилганда *GS* чизиғидаги *1* нуқтада аустенитдан феррит ажралиб чиқа бошлайди. Маълумки, α-темирда углерод кам эрийди, шу сабабли қотишма совитишда давом эттирилганда феррит ажралиб чиқа боргани сари қолган аустенит углеродга тобора бойийди. Демак, аустенитнинг концентрацияси, яъни таркибидаги углерод миқдори *GS* чизиғи бўйлаб ўзгаради.

1 нуқта билан *2* нуқта орасидаги, масалан, *a* нуқтадаги қотишма феррит билан аустенитдан иборат бўлади. *a* нуқтадаги феррит ва аус-

темир миқдорларини кесмалар қоидасидан фойдаланиб топиш мумкин, бунинг учун *а* нуқтадан конода (*bac* чизиғи) ўтказилади (117-расм, *а*).

Қотишма *2* нуқтагача совитилганда *2* нуқтада аустенит таркибидаги углерод миқдори *S* нуқтадаги каби, яъни 0,8% бўлиб қолади. Шундан кейин, ўзгармас (727°С) температурада аустенит перлитга айлана боради. Бу ҳодиса *1* қотишманинг совиш эгри чизигида $2—2_1$ горизонтал кесма билан кўрсатилган (117-расм, *б*). Демак, *2* нуқта билан 2_1 нуқта оралигида қотишма феррит, аустенит ва перлитдан иборат бўлади. 2_1 нуқтада аустенит перлитга батамом айланади. Бинобарин, 2_1 нуқтадан пастда аустенит қолмайди ва қотишма феррит билан перлитдан иборат бўлади. Бундай қотишманинг микроскопик тузилиши 118-расмда тасвирланган.



118-расм. Таркибида 0,4% углерод бўлган қотишманинг микроскопик тузилиши. ×250.

Энди, таркибида 0,8% углерод бўлган *II* қотишмани кўриб чиқайлик.

II қотишма *1′* (*S*) нуқтагача совитилганда унда ҳеч қандай ўзгариш бўлмайди. *S* нуқта аустенит мувозанат ҳолатда мавжуд бўла оладиган энг паст температурани (727°С ни) кўрсатади. Бу температурада (*1′* нуқтада) аустенит феррит билан цементитга парчалана бошлайди.

$$А \rightarrow Ф + Ц$$

Аустенитнинг парчаланиш процесси ўзгармас (727°С) температурада $1'_1$ нуқтагача давом этади (117-расм, *б* га қаранг). Демак, *1′* нуқта билан $1'_1$ нуқта оралиғида *II* қотишма аустенит, феррит ва цементитдан иборатдир. $1'_1$ нуқтада аустенитнинг ҳаммаси феррит билан цементитга айланиб бўлади. Бинобарин, $1'_1$ нуқтадан пастдаги қотишма феррит билан цементитнинг аралашмасидан иборатдир. Бундай аралашманинг эвтектоид аралашма бўлиб, перлит деб аталиши юқорида айтиб ўтилган эди.

Перлитнинг тузилиши феррит билан цементитнинг навбатма-навбат келадиган пластинкаларидан иборат (112-расм, *б* га қаранг).

Ниҳоят, таркибида *y*% углерод бўлган *III* қотишманинг ўзгаришини кўриб чиқайлик.

III қотишма совитилганда *ES* чизиғидаги *1″* нуқтада аустенитдан цементит ажралиб чиқа бошлайди. Цементит ажралиб чиқа борган сари аустенит таркибида углерод миқдори камая боради. Демак, аустенитда углероднинг миқдори *ES* чизиги бўйлаб ўзгаради (*S* нуқтага томон камаяди, *E* нуқтага томон эса ортиб боради).

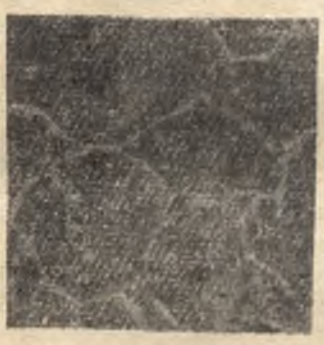
III қотишма совитилаверса, *2″* нуқтада перлит ҳосил бўла бошлайди. Бу процесс ўзгармас (727°С) температурада $2'_1$ нуқтагача давом этади (117-расм, *б* га қаранг). $2'_1$ нуқтадан пастда қотишма структураси перлитдан ва доналар чегараси бўйлаб тўр тарзида ажралиб чиққан цементитдан иборатдир (119-расм).

Цементит билан перлитни адаштириб юбормаслик учун пўлат намунаси (шлифи) махсус эритмага — натрий пикрат эритмасига ботирилади. Натрий пикрат цементитни қора тусга киритиб, феррит рангини ўзгартирмайди (111-расмга қаранг).

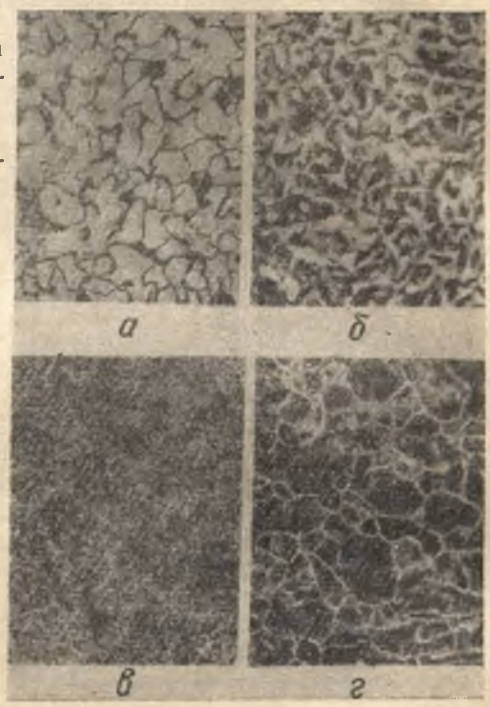
Юқорида кўриб чиқилганларга асосланиб, пўлатларни уч группага бўлиш мумкин. Биринчи группага *эвтектоидгача бўлган* — таркибидаги углерод миқдори 0,8% дан кам пўлатлар, иккинчи группага *эвтектоид* — таркибида 0,8% чамаси углерод бўлган пўлат, учинчи группага эса *эвтектоиддан кейинги*, яъни таркибидаги углерод миқдори 0,8 дан 2,14% гача бўлган пўлатлар киради. Эвтектоидгача бўлган пўлатлар феррит билан перлитдан, эвтектоид пўлат фақат перлитдан, эвтектоиддан кейинги пўлатлар эса перлит билан цементитдан иборатдир.

Таркибида 0,2, 0,4, 0,8 ва 1,2% углерод бўлган пўлатларнинг микроскопик тузилиши 120-расмда тасвирланган.

Fe — Fe_3C системаси ҳолат диаграммасининг ўнг қисми. Диаграммаининг бу қисми ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари 121-расмда тасвирланган.



119-расм. Таркибида 0,8% дан ортиқ углерод бўлган пўлатнинг микроскопик тузилиши (перлит + цементит тури). ×450.



120-расм. Таркибида ҳар хил миқдорда (*а* — 0,2%; *б* — 0,4%; *в* — 0,8%; *г* — 1,2%) углерод бўлган пўлатларнинг микроскопик тузилиши.

Таркибида 2,14% дан ортиқ углерод бўлган қотишмаларнинг бирламчи кристалланишига хос хусусият шундан иборатки, бу қотишмаларда кристалланиш 1147°С да эвтектик ўзгариш билан тугалланади.

Таркибида 4,3% углерод бўлган суюқ қотишма совитилганда ундан иккита қаттиқ фаза — таркибидаги углерод миқдори 2,14% бўлган аустенит ҳамда цементит ҳосил бўлади. Аустенит билан цементит аралашмасининг ледебурит деб аталиши юқорида айтиб ўтилган эди, демак, 1147°С да процесс ледебурит ҳосил бўлиши билан тугайди.

Таркибида 2,14% дан ортиқ углерод бўлган қотишмалар *чўян* деб аталади.

Fe—Fe_3C системасида углерод химиявий бирикма (Fe_3C) таркибига кирган ҳолда бўлади ва таркибида 2,14% дан ортиқ углерод бўлган қотишманинг синиқ жойи ялтироқ оқ тусда кўринади, шунинг учун бундай қотишмалар *оқ чўян* дейилади.

Таркибида 4,3% дан кам, аммо 2,14% дан ортиқ углерод бўлган қотишмалар *эвтектикагача бўлган* чўянлар деб, таркибида 4,3% углерод

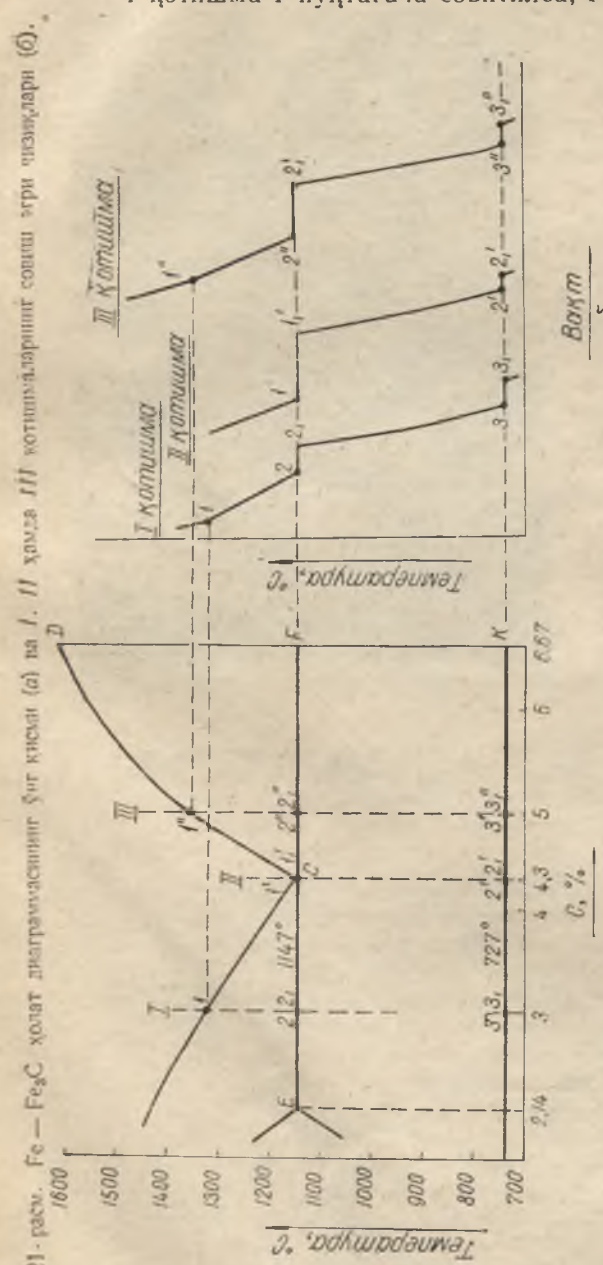
бўлган қотишма *эвтектик* чўян деб, таркибида 4,3% дан ортиқ углерод бўлган қотишмалар эса *эвтектикадан кейинги* чўянлар деб аталади.

Энди ана шу чўянларнинг бирламчи ва иккиламчи кристалланишини кўриб чиқайлик.

Таркибидаги углерод миқдори 3% бўлган *1* қотишмани (эвтектикагача бўлган чўянни) олайлик.

1 қотишма *1* нуқтагача совитилса, *1* нуқтада аустенит ажралиб чиқа бошлайди, яъни бирламчи кристалланиш содир бўлади. Бирламчи кристалланиш процессида аустенитнинг таркиби солидус чизиғи бўйлаб, суюқ қотишманинг таркиби эса ликвидус чизиғи бўйлаб ўзгаради. *1* қотишма совитилаверса, *2* нуқтада аустенит таркибида 2,14%, суюқ фаза таркибида эса 4,3% углерод бўлади. Бу нуқтада эвтектик процесс бошланиб, бу процесс ўзгармас (1147°С) температурада 2_1 нуқтагача давом этади (121-расм, *б*). Демак, *2* нуқта билан 2_1 нуқта оралиғида қотишма аустенит билан суюқ фазадан иборатдир. 2_1 нуқтада суюқ фаза батамом қотиб, аустенит билан цементитдан иборат эвтектик аралашмага — ледебуритга айланади. Бинобарин, бирламчи кристалланиш процесси тугагач, қотишма аустенит билан ледебуритдан иборат бўлар экан.

1 қотишма совитишда давом эттирилса, 2_1 нуқта билан *3* нуқта оралиғида ледебурит таркибидаги аустенитдан иккиламчи цементит ажралиб чиқади, яъни иккиламчи кристалланиш содир бўлади. Демак, 2_1 билан *3* нуқталар оралиғида қотишма аустенит, иккиламчи цементит ва ледебуритдан иборат бўлади. *3* нуқтада ледебурит аустенити таркибидаги углерод миқдори 0,8% га тушиб қолади. *3* нуқтада ўзгармас (727°С) температурада аустенит феррит билан цементит аралашмасига (перлитга) айлана бошлайди ва бу процесс 3_1 нуқтагача давом этади (121-расм, *б*). *3* нуқта билан 3_1 нуқта орали-



121-расм. Fe — Fe_3C ҳолат диаграммасининг ўнг қисми (*а*) ва *I*, *II* ҳамда *III* қотишмаларнинг совиш эгри чизиқлари (*б*).

гида қотишма аустенит, цементит, перлит ва ледебуритдан иборат бўлади. 3_1 нуқтада аустенит перлитга батамом айланади. Бинобарин, 3_1 нуқтадан пастда қотишма перлит, иккиламчи цементит ва ледебуритдан иборатдир.

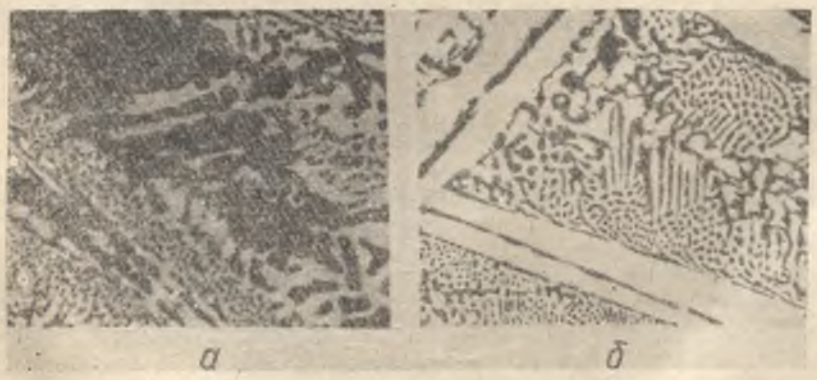
Энди, таркибида 4,3% углерод бўлган эвтектик қотишманинг (*II* қотишманинг) ўзгаришини кўриб чиқайлик.

II қотишма совитилса, $1'$ нуқтада кристаллана бошлайди (бирламчи кристалланиш). Бу процесс ўзгармас (1147°С) температурада $1'_1$ нуқтагача давом этади (121-расм, *б*). $1'$ нуқта билан $1'_1$ нуқта оралиғида қотишма суюқ фаза билан ледебуритдан (аустенит билан цементит аралашмасидан) иборат бўлади. $1'_1$ нуқтада суюқ фаза батамом қотади. Қотишма $2'$ нуқтагача совитилса, бу нуқтада ледебурит таркибидаги аустенитдан перлит ҳосил бўла бошлайди (иккиламчи кристалланиш) ва бу роцесс ўзгармас (727°С) температурада $2'_1$ нуқтада тугайди. Бинобарин, $2'_1$ нуқтадан пастда ледебурит перлит билан цементит аралашмасидан иборатдир.

Ниҳоят, таркибида 5% углерод бўлган *III* қотишманинг (эвтектикадан кейинги қотишманинг) кристалланишини кўриб чиқишга ўтамиз.

Бу қотишма совитилса, ликвидус чизиғидаги $1''$ нуқтада бирламчи кристалланиш содир бўлади, яъни суюқ қотишмадан бирламчи цементит ажралиб чиқади. Қотишма совитишда давом эттирилса, солидус чизиғидаги $2''$ нуқтада бирламчи цементит батамом ажралиб чиқади ва қотишма цементит билан эвтектик таркибли суюқ фазадан иборат бўлади. Суюқ фазанинг кристалланиши ўзгармас (1147°С) температурада $2''_1$ нуқтагача давом этади (121-расм, *б*). $2''_1$ нуқтада суюқ фаза батамом кристалланиб бўлади, яъни ледебуритга айланади. Қотишма $3''$ нуқтагача совитилганда бу нуқтада ледебурит таркибидаги аустенит перлитга айлана бошлаб, ўзгармас (727°С) температурада $3''_1$ нуқтада батамом айланиб бўлади (иккиламчи кристалланиш). Бинобарин, $3''_1$ нуқтадан пастда ледебурит цементит билан перлитдан, *III* қотишма эса бирламчи цементит билан ледебуритдан иборатдир.

Эвтектикагача бўлган чўян билан эвтектикадан кейинги чўяннинг микроскопик тузилиши 122-расмда тасвирланган.



122-расм. Эвтектикагача бўлган чўян (*а*) билан эвтектикадан кейинги чўян (*б*) нинг микроскопик тузилиши. ×450.

Б. УГЛЕРОДЛИ ПЎЛАТЛАР

Таркибида 2,14% гача углерод бўлган темир—углерод қотишмалари *углеродли пўлатлар* деб аталади. Одатда, таркибидаги углерод миқдори 1,7% дан ошмайдиган пўлатлар ишлаб чиқарилади, чунки углерод

миқдори 1,7% дан кўпайиб кетса, пўлат кучли даражада қаттиқлашади ва мўрт бўлиб қолади, бундай пўлатларни эса амалда ишлатиб бўлмайди.

Саноатда ишлаб чиқариладиган пўлатлар химиявий таркиби жиҳатидан мураккаб бўлган қотишмалардир. Уларда темир билан углероддан ташқари, кўпгина бошқа элементлар, масалан, Mn, Si, S, P, O, N, H, Cr, Ni, Cu ва бошқалар ҳам бўлади. Бу қўшимчаларнинг баъзилари, масалан, Mn ва Si пўлатга ишлаб чиқаришнинг технологик хусусиятлари туфайли қўшилиб қолса, баъзилари (S, P, O, N, H) металлдан батамом чиқариб юбориш имконияти йўқлигидан пўлатда қолади. бошқа баъзилари эса (Cr, Ni, Cu ва бошқалар) пўлатга тасодифий сабабларга кўра аралашади (рудадан ўтади).

Пўлатдаги бу қўшимчалар миқдорининг оз-кўплиги пўлат ишлаб чиқариш усулларига боғлиқ бўлади.

Углеродли пўлатлар машина деталлари, ҳар хил конструкциялар, ўлчов ва кесув асбоблари ҳамда бошқалар тайёрланадиган асосий материалдир.

Маълумки, ҳар қандай металл қотишмаларнинг тузилиши ва хоссаларини, шу жумладан углеродли пўлатларнинг тузилиши ва хоссаларини ҳам, термик ишлаш йўли билан кенг кўламда ўзгартириш мумкин. Углеродли пўлатларни термик ишлаш айниқса самаралидир. Масалан, пўлатларни термик ишлаш йўли билан уларнинг қаттиқлик ва пухталигини 5—10 баравар ошириш мумкин. Аммо қотишмалар термик ишланганда уларнинг ҳамма хоссалари ҳам ўзгаравермайди. Баъзи хоссалар қотишманинг тузилишига боғлиқ бўлади; қотишмани термик ишлаб, бу хоссаларни ўзгартирса бўлади. Баъзи хоссалар, масалан, эластиклик модули (E) ва силжиш модули (G) қотишманинг таркибига боғлиқ бўлиб, тузилишига, амалий жиҳатдан олганда, боғлиқ бўлмайди ва, демак, қотишмага ишлов берилганда бу хоссалар жуда кам ўзгаради. Масалан, пўлат термик ишланганда унинг эластиклик модули 5% дан ҳам кам ўзгаради.

Пўлатдан тайёрланадиган буюмларнинг (деталларнинг) жуда кўпчилигида бикирлик хоссаларигина бўлиши керак, чунки бундай буюмларга таъсир этадиган кучланишлар оқувчанлик чегарасидан анча кичик бўлади. Демак, уларни термик ишлаб, пухталашга ҳожат қолмайди.

1-§. УГЛЕРОДЛИ ПЎЛАТЛАРНИНГ КЛАССИФИКАЦИЯСИ

Углеродли пўлатлар, ишлатилиш жойига кўра, иккита асосий группага — конструкцион пўлатлар группаси билан асбобсозлик пўлатлар группасига бўлинади.

Конструкцион пўлатлар таркибида 0,02 дан 0,6% гача углерод бўлади. Ҳозирги вақтда конструкцион пўлат сифатида таркибида 0,8% углерод бўлган пўлат ҳам ишлатилмоқда. Конструкцион пўлатлар халқ хўжалигининг хилма-хил соҳаларида кенг кўламда ишлатилади. Бундай пўлатлар машина ва агрегат деталлари, қурилиш конструкциялари, темир йўл транспорти воситалари, рельс, труба, сим ва бошқа буюмлар ишлаб чиқариш учун асосий материалдир. Углеродли конструкцион пўлатларга жуда кўп марка пўлатлар — қозон пўлати, ўтхона пўлати, кўприк пўлати, қурилиш пўлати, рельс пўлати ва бошқа кўпгина марка пўлатлар киради. Углеродли конструкцион пўлатларнинг ҳаммасига нисбатан қўйиладиган умумий талаблар мустаҳкамлик билан пластиклик, шунингдек, яхши технологик хоссаларга эга бўлиш-

дир. Шу билан бирга, ҳар қайси марка пўлатга нисбатан ҳам маълум талаблар қўйилади, бу талаблар ишлаб чиқариш технологиясига ва тайёрланган буюмнинг ишлаш шароитига боғлиқ бўлади. Шунга кўра, углеродли конструкцион пўлатлар сифати одатдагича бўлган пўлатлар билан сифатли пўлатларга (машинасозлик пўлатларига) бўлинади.

Асбобсозлик пўлатларига таркибидаги углерод миқдори 0,7 дан 1,7% гача бўлган пўлатлар киради. Углеродли асбобсозлик пўлатларига нисбатан қўйиладиган талаблар шу пўлатлардан тайёрланадиган асбобларнинг вазифасига боғлиқдир.

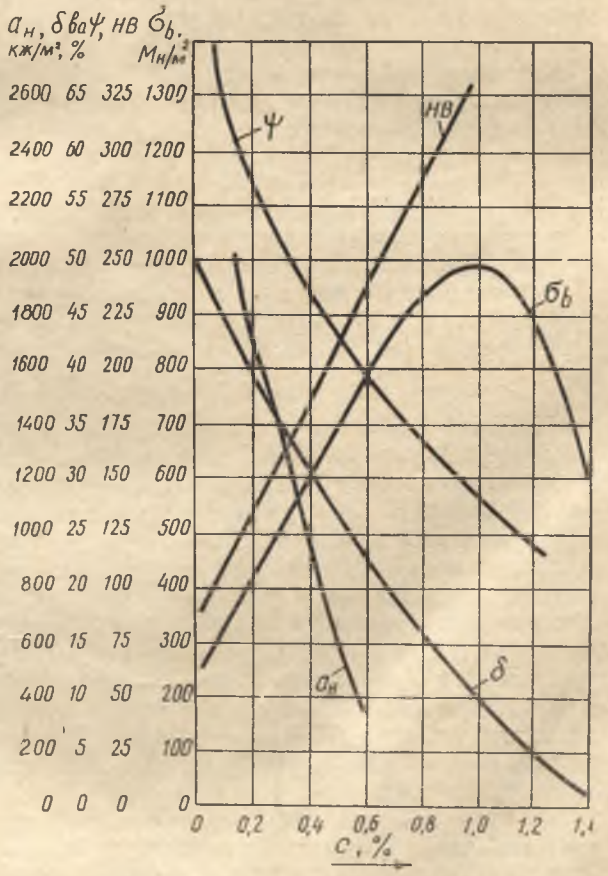
Бу бобда сифати одатдагича бўлган, яъни термик ишлов берилмай ишлатиладиган пўлатларнинг хоссаларинигина кўриб чиқамиз. Термик ишланадиган юқори сифатли ва асбобсозлик пўлатлари легирланган пўлатлар бобида кўриб чиқилади.

2-§. ПЎЛАТНИНГ ХОССАЛАРИГА УГЛЕРОДНИНГ ТАЪСИРИ

Пўлат таркибидаги углерод миқдори ортиб бориши билан пўлат тузилишининг (структурасининг) ўзгаришини юқорида кўриб ўтдик. Пўлатнинг структураси ўзгарар экан унинг хоссалари ҳам ўзгаради.

Пўлатнинг механик хоссаларига углерод миқдорининг қандай таъсир этиши 123-расмда кўрсатилган. Бу расмда келтирилган механик хоссалар қиздириб туриб прокатка қилинган пўлатларга оиддир. Пўлатдаги қўшимчалар миқдорига ва прокатка қилингандан кейин совиш шароитига қараб, бу хоссалар 10% атрофида ўзгариши мумкин.

123-расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, таркибидаги углерод миқдори ортган сари пўлатнинг қаттиқлиги ва узилишдаги мустаҳкамлик чегараси ортиб, зарбий қовушоқлиги, нисбий узайиши ва нисбий торайиши пасаяди. Юқорида айтиб ўтилганидек, пўлатда углерод миқдори ортган сари унинг структурасида ҳам ўзгариш содир бўлади. Масалан, таркибида 0,02% гача углерод бўлган пўлат феррит билан озроқ миқдор учламчи цементитдан, таркибида 0,02 дан 0,8% гача углерод бўлган пўлат феррит билан перлитдан,



123-расм. Пўлат таркибидаги углерод миқдорининг пўлат механик хоссаларига таъсири.

таркибида 0,8% углерод бўлган пўлат эса нукул перлитдан иборатдир. Пўлатдаги углерод миқдори 0,8% дан ортса, пўлат структурасида иккиламчи цементит ҳам ҳосил бўлади. Демак, углерод миқдори ортган сари цементит миқдори кўпая бориб, феррит миқдори камаяди. Цементит қаттиқ ва мўрт, феррит эса юмшоқ ва пластикдир. Углерод миқдорининг ортиши билан пўлат қаттиқлигининг ортиб, пластиклигининг пасайишига сабаб ана шу.

Пўлатнинг физик хоссалари ҳам углерод миқдорига қараб ўзгаради. Масалан, углерод миқдорининг ортиши билан пўлатнинг магнит киритувчанлиги пасайиб, электр қаршилиги ва коэрцитив кучи ортиб боради.

3-§. ПЎЛАТНИНГ ХОССАЛАРИГА ДОИМИЙ ҚЎШИМЧАЛАРНИНГ ТАЪСИРИ

Пўлатларда бўладиган доимий қўшимчалар жумласига Mn, Si, P, S элементлари ва баъзи газлар, масалан, кислород ҳамда азот киради. Бу элементлар пўлатнинг техника навларида маълум миқдорда доимо бўлади. Пўлатга бу элементлардан баъзилар атайлаб ҳам қўшилади, бу тўғрида легирланган (махсус) пўлатларга бағишланган бобда батафсил сўзланади.

Энди, ҳар қайси қўшимчанинг пўлат хоссаларига қандай таъсир этишини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

Марганецнинг таъсири. Марганец ҳар қандай пўлатга темирни кислородсизлантириш* (қайтариш), яъни зарарли темир (II)-оксид (FeO) қўшимчасини йўқотиш учун қўшилади. Марганец темир (II)-оксидни қайтариб, ўзи оксидланади:

$$FeO + Mn = MnO + Fe.$$

Углеродли пўлатда марганец 0,25 дан 0,8% гача бўлади. У қисман ферритда эрийди, қисман эса Mn_3C таркибли карбид ҳосил қилади, бунинг натижасида пўлатнинг мустаҳкамлиги ва қаттиқлиги ошади.

Кремнийнинг таъсири. Углеродли пўлатларда кремнийнинг миқдори 0,5% дан ошмайди. Кремний ҳам, худди марганец каби, темир (II)-оксидни қайтаради, яъни темирни кислородсизлантиради:

$$2FeO + Si = SiO_2 + 2Fe.$$

Кремний ферритда эриб, пўлатнинг қаттиқлигини оширади ва эластиклик хоссаларини яхшилайди, аммо пластиклигини пасайтиради.

Фосфорнинг таъсири. Сифати одатдагича бўлган пўлатларда фосфорнинг миқдори 0,05% дан, сифатли пўлатларда эса, 0,02% дан ошмаслиги керак. Фосфор ферритда эриб, пўлатнинг қаттиқлигини оширади, қовушоқлигини эса пасайтиради. Фосфор нормал температурада ва 0°С дан паст температурада ишлайдиган пўлат қисмларнинг пластиклиги ва зарбий қовушоқлигига айниқса зарарли таъсир этади, чунки у пўлатни *совуқ ҳолатда синувчан* қилади.

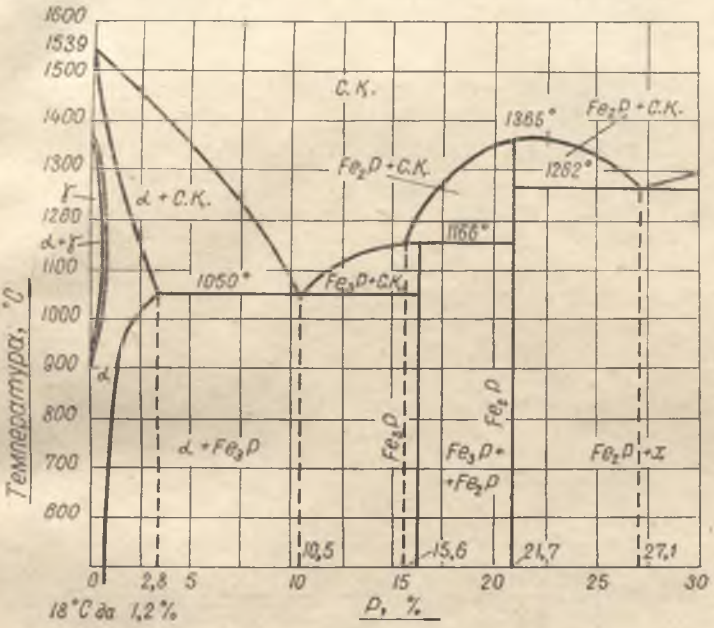
Бессемер процессида суюқлантириб олинган пўлат таркибида 0,07 дан 0,12% гача, ички қоплами асосли бўлган мартен печларида суюқлантириб олинган пўлат таркибида 0,02—0,04%, ички қоплами асосли бўлган электр печларида суюқлантириб олинган пўлат таркибида эса кўпи билан 0,02% фосфор бўлади.

Фосфор темирда эриб, қаттиқ эритма ҳосил қилади. Буни Fe—P системасининг ҳолат диаграммасидан кўриш мумкин (124-расм). Фосфорнинг α-темирда 1,2% дан ортиқ эримаслиги диаграммадан яққол

* Бу процесс *чучитиш* деб ҳам аталади.

кўриниб турибди. Фосфор 1,2% дан ортиқ бўлса, темир фосфид Fe_3P ҳосил бўлади. Fe_3P кул ранг чўянларда учрайдиган фазадир.

Фосфор пўлатнинг мўрт ҳолатга ўтиш температурасини оширади, пўлатни совуқ ҳолатда синувчан қилиб қўйишига сабаб ҳам ана шу. Пўлат таркибидаги фосфорнинг миқдори 0,1% дан ортиқ бўлса, фосфорнинг бу таъсири айниқса кучли бўлади. Аммо муҳим буюмлар ишланадиган пўлат таркибида ҳатто 0,05% фосфор бўлишига ҳам йўл



124- расм. Fe — P системасининг ҳолат диаграммаси.

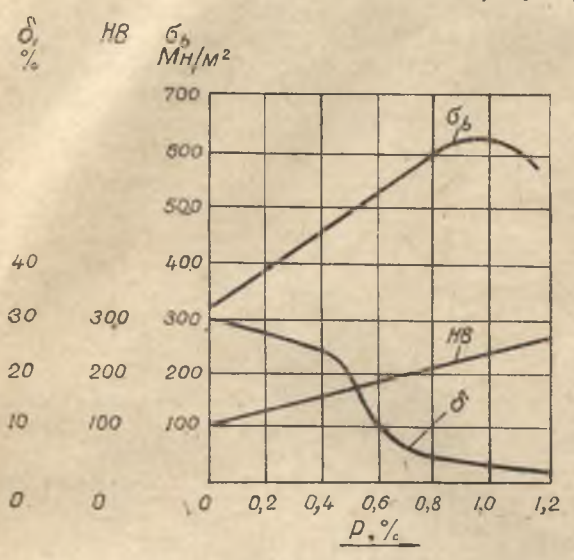
қўймаслик керак, чунки қотишма кристалланаётганда фосфор кучли даражада ликвацияланиб, пўлатда фосфори кўп бўлган мўрт жойлар ҳосил қилади.

Фосфор пўлатнинг кесувчи асбоблар билан ишланишини осонлаштиради, мис билан биргаликда эса коррозиябардошлик хусусиятини оширади, демак, баъзи ҳолларда пўлатда фосфорнинг бўлиши фойдалидир. Ана шу сабабдан, кесиб ишлаш йўли билан тайёрланадиган ва пухталик унча талаб этилмайдиган деталлар учун автомат пўлатларининг махсус маркалари (А12, А15, А20) ишлаб чиқариладики, бу маркаларда фосфор миқдори 0,06% ни ташкил этади, А12 маркали пўлатда эса 0,15% гача фосфор бўлади (автомат пўлатларини 148-бетдан қаранг).

Пўлатнинг механик хоссаларига фосфорнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 125-расмда тасвирланган.

Олтингугуртнинг таъсири. Сифати одатдагича бўлган пўлатларда 0,04 дан 0,05% гача, юқори сифатли пўлатларда эса 0,02 дан 0,03% гача олтингугурт бўлишига йўл қўйилади. Бессемер усули билан ишлаб чиқариладиган пўлат таркибида олтингугуртнинг миқдори 0,06% гача, ички қоплами асосли бўлган мартен печларида, шунингдек, ички қоплами асосли бўлган электр печларида суюқлантириб олинадиган пўлатлар таркибида эса олтингугурт йўқ деярли даражада бўлади.

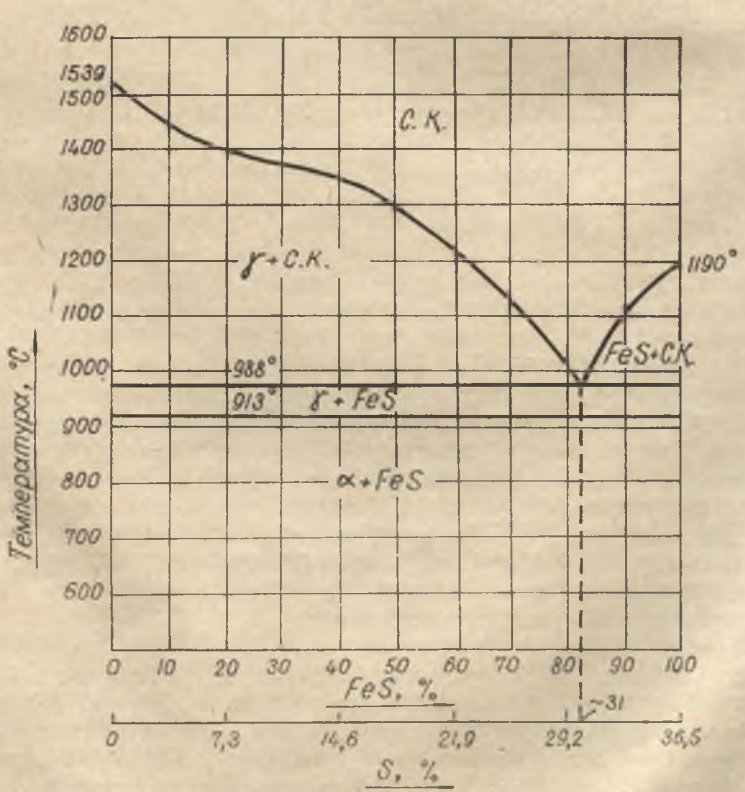
Олтингугурт темирда амалда эримайди ва темир билан бирикиб, FeS таркибли химиявий бирикма (темир сульфид) ҳосил қилади.



125- расм. Пўлатнинг механик хоссаларига фосфорнинг таъсири.

Энди, ана шу химиявий бирикма билан темирдан иборат системанинг ҳолат диаграммасини кўриб чиқайлик. Бундай диаграмма 126- расмда тасвирланган.

Диаграммадан кўриниб турибдики, темир билан темир сульфид 988°С температурада суюқланадиган эвтектика ҳосил қилади. Бу эвтектика 988—913°С оралиғида аустенит билан FeS дан, 913°С дан пастда эса феррит билан FeS дан иборат бўлади Эвтектика осон суюқланувчан ва мўрт аралашма бўлиб, доналар чегарасида жойлашади. Бу ҳол қотишмани (пўлатни) 800°С ва ундан юқори температурада, яъни қизил



126- расм. Fe — FeS системасининг ҳолат диаграммаси.

тусда чўғланиш температураларида синувчан қилиб қўяди. Бу ҳодиса *чўғланганда синувчанлик* деб аталади. Таркибидаги олтингугурт миқдори юқори бўлган пўлат чўғланганда синувчан бўлганлигидан, бундай пўлатни қиздириб туриб болғалаш, прокатлаш, штамплаш ва, умуман, қиздириб туриб босим билан ишлаш мумкин бўлмайди. Бинобарин, темир сульфид ва, демак, олтингугурт мутлақо зараплидир.

Олтингугуртини бутунлай чиқариб юбориш мумкин бўлмаган пўлатда FeS ҳосил бўлмаслиги учун унга марганец қўшилади, суюқ пўлатга марганец қўшилганда у темир сульфид билан реакцияга киришиб, 1620°С да суюқланадиган марганец сульфид (MnS) ҳосил қилади.

Марганец сульфиднинг суюқланиш температураси пўлатни босим билан ишлашда қиздириш температурасидан (800—1200°С дан) юқори бўлганлиги учун пўлатда MnS нинг бўлиши зарарли эмас.

Олтингугуртнинг бирдан-бир ижобий томони шуки, у пўлатнинг кесувчи асбоблар билан ишланишини осонлаштиради. Демак, фақат кесиб ишлаш учун мўлжалланган пўлатларда — автомат пўлатларида фосфор билан бир қаторда олтингугурт миқдорининг ҳам юқорироқ бўлиши фойдалидир.

К и с л о р о д н и н г т а ъ с и р и. Ишлаб чиқариш усулига қараб, углеродли пўлатда 0,01 дан 0,1% гача кислород бўлади. Кислород ферритда эрийди, натижада қаттиқ ва мўрт оксидлар ҳосил бўлади. Бунинг оқибатида пўлатнинг пластиклиги ва қовушоқлиги пасайиб, қаттиқлиги ва мўртлиги ортади. Демак, кислород зарарли қўшимчадир.

Кислород миқдорини камайтиришнинг самарали усули пўлатни вакуумда суюқлантириш ва қуйиш усулидир.

А з о т н и н г т а ъ с и р и. Электр усули билан ишлаб чиқарилган пўлатда 0,008—0,01%, мартен пўлатида 0,004—0,006%, бессемер пўлатида эса 0,01—0,014% азот бўлади. Углеродли пўлатда азотнинг бўлиши ҳам зарарлидир, чунки у қисман ферритда эрийди, қисман эса темир билан реакцияга киришиб, қаттиқ ва мўрт химиявий бирикмалар — нитридлар ҳосил қилади, натижада пўлатнинг қаттиқлиги ва мўртлиги ортиб, пластиклиги билан қовушоқлиги пасаяди. Совуқлайин босим билан ишланадиган пўлатнинг хоссаларига азот айниқса зарарли таъсир этади, яъни пўлатнинг деформациялангандан кейин эскириш (чиниқиш) — вақт ўтиши билан қаттиқлашиб ва мўртлашиб бориш хоссасини оширади.

Азот миқдорини камайтиришнинг ҳам бирдан-бир усули пўлатни вакуумда суюқлантириш ва қуйиш усулидир.

4-§. ПЎЛАТЛАРНИНГ МАРКАЛАНИШИ

ГОСТ га мувофиқ, пўлат маълум талабларни қондириши керак. Сифати одатдагича бўлган пўлатлар ГОСТ 380-60 да гарантияланган хоссаларга эга бўлади. ГОСТ 380-60 да уч хил группа пўлатлар — I, II ва III группа пўлатлари ишлаб чиқариш кўзда тутилади.

I группага механик хоссалари гарантияланган пўлатлар, II группага химиявий таркиби гарантияланган пўлатлар, III группага эса ҳам механик хоссалари, ҳам химиявий таркиби гарантияланган пўлатлар киради.

I группа пўлатлари химиявий таркибининг аҳамияти бўлмаган, фақат механик хоссалари аҳамиятга эга бўлган, яъни қиздириб туриб ишлов бериш талаб этилмайдиган жойларда ишлатилади. II группа пўлатлари пўлатнинг химиявий таркиби ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлган, пўлатга қиздириб туриб ишлов бериш йўли билан буюмлар тайёрланадиган жойларда ишлатилади, чунки қиздириб туриб ишлаш режи-

ми ва пўлат буюмларнинг механик хоссалари унинг таркибига боғлиқдир. III группа пўлатлари сифати оширилган пўлатлар бўлиб, улар ҳам химиявий таркиби, ҳам механик хоссалари аҳамиятга эга бўлган жойларда ишлатилади. Масалан, пўлат пайвандланадиган бўлса, пайванд чокнинг иссиқлиги таъсир этадиган зонада пўлатнинг хоссалари ўзгаради. Бундай ҳолларда пўлатнинг химиявий таркибини билиш муҳимдир, чунки иссиқлик таъсир этадиган зонада пўлатнинг хоссалари унинг химиявий таркибига боғлиқ. Шу билан бирга, пўлатнинг механик хоссалари ҳам катта аҳамиятга эга, чунки пўлатнинг иссиқлик таъсир этмайдиган жойида механик хоссалари ўзгармайди.

I группа пўлатлари Ст. ҳарфлари ва 0, 1, 2, 3, 4, ... рақамлари билан маркаланади. Рақам (номер) қанча катта бўлса, пўлатнинг мустаҳкамлиги шунча юқори, пластиклиги эса шунча паст бўлади. Агар марка ишорасидан кейин «кп» индекси бўлса, пўлат қайновчи, «пс» индекси бўлса, пўлат чала қайновчи, агар бундай индекслар бўлмаса, пўлат қайнамайдиган пўлатдир. I группа пўлатларининг механик хоссаларини келтириб ўтамиз (8-жадвал).

8-жадвал

I группа пўлатларининг механик хоссалари
(ГОСТ 380-60)

Пўлатнинг маркаси	Мустаҳкамлик чегараси $\sigma_в$, *кГ/мм²* ҳисобида	Оқувчанлик чегараси $\sigma_{0,2}$, *кГ/мм²* ҳисобида (камида)	Нисбий узайиши δ, % ҳисобида (камида)
Ст.0	<32	—	22
Ст.1	32—40	—	33
Ст.2	34—42	22	31
Ст.2кп	34—42	22	31
Ст.3	38—47	24	21—27
Ст.3кп	38—47	24	21—27
Ст.4	42—52	26	21—25
Ст.4кп	42—52	26	21—25
Ст.5	50—62	28	15—21
Ст.6	60—72	31	11—16
Ст.7	<70	33	9—12

II группа пўлатлари М, К, Б, Ст. ҳарфлари ва рақамлар билан маркаланади*. II группа пўлатларининг таркиби 9-жадвалда кўрсатилган.

Ст. 0 маркали пўлат жуда номуҳим жойлардагина ишлатилиши мумкин.

III группа пўлатлари фақат мартен усули билан тайёрланади. Бу группа пўлатлари ВСт. ҳарфлари ва рақамлар билан маркаланади. ВСт.1 пўлатининг механик хоссалари Ст.1 пўлатиники каби, химиявий таркиби эса МСт.1кп пўлатники каби, ВСт.2 пўлатининг механик хоссалари Ст.2 пўлатиники каби, химиявий таркиби эса МСт.2кп пўлатиники каби ва ҳоказо. Мукаммалроқ маълумотларни ГОСТ 380-60, ГОСТ 9543-60 дан ва металлургия маҳсулотларига оид бошқа стандартлардан олиш мумкин.

---

* М ҳарфи мартен пўлатини, К ҳарфи конвертер пўлатини, Б ҳарфи эса бессемер пўлатини билдиради.

9- ж а д в а л

II группа пўлатларининг химиявий таркиби, % ҳисобида (ГОСТ 380-60)

Пўлатнинг маркаси	C	Si	Mn	S	P
				кўпи билан	
МСт.0	0,23 ва ундан кам	—	—	0,070	0,060
МСт.1кп	0,06—0,12	0,05 ва ундан кам	0,25—0,50	0,045	0,055
КСт.1кп	0,06—0,12	0,05 ва ундан кам	0,25—0,50	0,045	0,055
МСт.2кп	0,09—0,15	0,07 ва ундан кам	0,25—0,50	0,045	0,055
КСт.2кп	0,09—0,15	0,07 ва ундан кам	0,25—0,50	0,045	0,055
МСт.3кп	0,14—0,22	0,07 ва ундан кам	0,30—0,60	0,045	0,055
КСт.3кп	0,14—0,22	0,07 ва ундан кам	0,30—0,60	0,045	0,055
МСт.3	0,14—0,22	0,12—0,30	0,40—0,65	0,045	0,055
МСт.4кп	0,18—0,27	0,07 ва ундан кам	0,40—0,70	0,045	0,055
КСт.4кп	0,18—0,27	0,07 ва ундан кам	0,40—0,70	0,045	0,055
МСт.4	0,18—0,27	0,12—0,30	0,40—0,70	0,045	0,055
МСт.5	0,28—0,37	0,15—0,35	0,50—0,80	0,045	0,055
МСт.6	0,38—0,49	0,15—0,35	0,50—0,80	0,045	0,055
МСт.7	0,50—0,62	0,15—0,35	0,50—0,80	0,045	0,055

5- §. ХАЛҚ ХЎЖАЛИГИНИНГ БАЪЗИ ТАРМОҚЛАРИДА ИШЛАТИЛАДИГАН ПЎЛАТЛАР

Халқ хўжалигининг турли тармоқларида сим, тунука, лента, чоксиз труба ва бошқалар кенг кўламда ишлатилади. Буюмларнинг бу турлари металлургия заводларида пўлатни совуқлайин пресслаш, прокатка қилиш, чўзиш йўли билан тайёрланади. Бундай ишлов бериш натижасида пўлат пухталанади, яъни унда наклеп (нагартовка) ҳосил бўлади. Бу наклеп рекристаллизацион юмшатиш йўл билан йўқотилиши мумкин. Юқорида тилга олинган буюмлар истеъмолчиларга юмшатилган ҳолда ёки пухталанганлигича юборилади.

Юмшатилган пўлатнинг механик хоссалари унинг таркибига, асосан, таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлади. Пухталанган пўлатнинг механик хоссалари пухталаниш даражасига (сиқилиш даражасига) боғлиқдир. Энг кўп даражада пухталанган (96—97% сиқилган) юқори углеродли (таркибида 1,2% углерод бўлган) пўлатнинг мустаҳкамлиги 4000 *Мн/м²* (400 *кГ/мм²*) дан ортиб кетади. Масалан, 98% сиқилган юқори углеродли пўлат симнинг мустаҳкамлик чегараси 4500—4700 *Мн/м²* (450—470 *кГ/мм²*) га етганлиги маълум. Пўлатни ана шундай даражада сиқиш учун пўлат яхши деформацияланиши керак. Агар пўлатнинг деформацияланишдан олдинги структураси перлитнинг юпқа пластинкаларидан иборат бўлса, бундай пўлат яхши деформацияланади. Бундай структура пўлатга суюқлантирилган қўрғошинли ёки суюқлантирилган тузли ваннада ишлов бериш йўли билан ҳосил қилиниши мумкин.

Нарсаларни боғлаш учун юмшоқ сим, чуқур штамплаш учун юпқа тунука керак бўлади, булар кам углеродли юмшатилган пўлатдан тайёрланади. Чуқур штамплаш учун ишлатиладиган пўлат ниҳоятда пластик бўлиши керак. Шу сабабли, чуқур штампланадиган буюмлар учун таркибидаги углерод миқдори энг кам пўлат ишлатилади. Айниқса мураккаб штамповка учун ишлатиладиган пўлат таркибида 0,08% гача углерод бўлади. Бундай пўлатда доимий қўшимчалар (марганец, кремний, олтингугурт, фосфор ва бошқалар) миқдори ҳам кам бўлиши керак, чунки бу қўшимчаларнинг ҳаммаси ҳам пўлатнинг пластиклигини маълум даражада пасайтиради. Аммо доимий қўшимчалар (масалан, марганец) миқдорининг камайтирилиши пўлатнинг бошқа хоссаларини пасайтирадиган бўлмаслиги керак.

6- §. АВТОМАТ ПЎЛАТЛАРИ

Тез юрар автомат станокларда кесиб ишлаш учун мўлжалланган пўлатлар *автомат пўлатлари* деб аталади. Маълумки, ҳозирги вақтда деталлар тайёрлашнинг ва кесиб ишлаш салмоғини камайтиришнинг прогрессив (қиринди чиқармай ишлаш) усулларига ўтиш йўллари изланмоқда, аммо, шунга қарамай, ҳозир исталган машинасозлик заводида механик цехлар майдонининг катталиги ва бир қанча факторлари жиҳатидан бошқа цехларга қараганда асосий ўринни ишғол этади. Бинобарин, асосий машинасозлик материали бўлган пўлатнинг кесиб ишланиш хоссаларини яхшилаш ғоят катта амалий аҳамиятга эгадир.

Пўлатнинг кесувчи асбоблар билан ишланиши тўғрисидаги масала мураккаб масаладир. бу мураккаблик, аввало, кесиб ишланувчанлик деган тушунчанинг муайян эмаслигидадир. Кесиб ишланувчанлик йўл қўйиладиган кесиш тезлиги нуқтаи назаридан, кесиш кучи, ишланган юзанинг тозалиги нуқтаи назаридан баҳоланиши мумкин (бу факторлар ичида энг муҳими кесиш тезлиги бўлиб, металл кесиш станогининг иш унуми ана шу факторга боғлиқдир). Бундан ташқари, бир деталнинг ўзининг кесиб ишланувчанлиги ҳар хил операцияларда — йўнишда, фрезерлашда, пармалашда, силлиқлашда ва бошқа операцияларда турлича бўлиши мумкин.

А. П. Гуляев таъкидлаб ўтганидек, материалнинг кесиб ишланувчанлиги билан унинг механик хоссалари орасида муайян бир боғланиш борлигини аниқлашга муваффақ бўлинган эмас, аммо тақрибан шундай дейиш мумкин: материал қаттиқлиги ёки пухталигининг ортиши асбобнинг кесиш тезлигини ва, демак, материалнинг кесиб ишланувчанлигини пасайтиради. Аммо қаттиқлиги бир хил бўлиб, тузилиши ва таркиби ҳар хил бўлган материалларнинг ишланувчанликлари орасида, кўпинча, анчагина фарқ бўлиши мумкин.

Пўлатнинг иссиқлик ўтказувчанлиги катта аҳамиятга эга. Аустенит структурали пўлатнинг иссиқлик ўтказувчанлиги кичикдир. Кесиш вақтида чиқадиган иссиқлик кесиб ишланаётган деталга кам ютилиб, кесиш нуқталарида тўпланади, натижада кесувчи асбобнинг кесиш қирраси қизиб кетади, бу эса асбобни тез ўтмас қилиб қўяди. Шу сабабли, аустенитли пўлат юмшоқ бўлишига қарамай, қийин ишланади.

Пўлат доналарининг катта-кичиклиги пўлатнинг қаттиқлигига унча таъсир этмаса ҳам, аммо унинг кесиб ишланувчанлигига катта таъсир кўрсатади. Доналари йирик пўлатнинг қовушоқлиги паст бўлади ва уни кесиб ишлаш анча осонлашади. Пўлат қовушоқлигининг пастлиги қи-

энг паст сифатли чўян бўлиб, механик нагрузка жуда кам тушадиган деталлар қуйиш учун ишлатилади.

Чўяннинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасидан тахминан икки баравар ортиқ бўлади (11-жадвалга қаранг). Кул ранг чўяннинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасидан ўрта ҳисоб билан тўрт марта ортиқдир.

Механик хоссалари жиҳатидан энг яхши чўян СЧ38-60 маркали чўян бўлиб, у *юқори сифатли чўян* деб аталади. СЧ38-60 маркали чўян перлит билан майда графит пластинкаларидан тузилган. Бундай чўяндан ички ёнув двигателларининг поршень ҳалқалари ва бошқа деталлар, яъни қаттиқлик ва ишқаланишга чидамлилик талаб этиладиган деталлар қуйилади.

Кул ранг чўяннинг химиявий таркиби ва механик хоссалари 11-жадвалда келтирилган.

Энди, кул ранг чўян таркибидаги пластинка нусха графитнинг шу чўян хоссаларига қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Бундай чўянга чўзувчи куч таъсир эттирилганда графит қўшилмаларнинг учларида емирилиш ўчоқлари осон ҳосил бўлади. Чўян узилишга жуда кучсиз қаршилик кўрсатади. Пластинка нусха графитли чўян сиқилишга яхши қаршилик кўрсатади. Чўяннинг, асосан, металл асоси тузилишига боғлиқ бўлган сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси ва қаттиқлиги пўлатникидан кам фарқ қилади. Кўпгина ҳолларда графитли чўян пўлатдан афзалроқ бўлади, чунки, биринчидан, графит чўянни кесиб ишлашни осонлаштиради, яъни қириндини синувчан қилади, иккинчидан, графитли чўянда яхши антифрикцион* хоссалар бўлади, чунки графит сурков материали вазифасини бажаради, учинчидан, чўяндаги графит титрашларни ва резонансли тебранишларни сўндиради, тўртинчидан, чўяндаги графит чўянни суюқ ҳолатда оқувчан (қолипни яхши тўлдирадиган) қилади, бу эса чўяндан ҳар хил қуймалар тайёрлаш учун ниҳоятда муҳимдир.

5-§. ЖУДА ПУХТА ЧЎЯННИНГ МАРКАЛАНИШИ ВА ХОССАЛАРИ

Жуда пухта чўян ВЧ ҳарфлари ва икки хил сон билан маркаланади. ВЧ ҳарфлари чўяннинг жуда пухта эканлигини (русча — высокопрочный чугун), сонларнинг бири чўяннинг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасини ($кГ/мм^2$ ҳисобида), иккинчиси эса нисбий узайишини (% ҳисобида) кўрсатади. Жуда пухта чўянларнинг асосий кўрсаткичлари чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси билан нисбий узайишидир.

ВЧ45-0 маркали чўяндан динамик куч таъсир этмайдиган буюмлар тайёрланади. ВЧ60-2, ВЧ45-5 ва ВЧ40-10 маркали чўянлар юқори сифатли чўянлар бўлиб, бир-биридан металл асосининг тузилиши жиҳатидан фарқ қилади. ВЧ60-2 маркали чўяннинг металл асоси перлитдан, ВЧ45-5 маркали чўянники феррит-перлитдан, ВЧ40-10 маркали чўянники эса ферритдан иборат, бу чўянлар мустаҳкамлигининг ва пластиклигининг ҳар хил бўлиши ана шундандир.

Жуда пухта чўянларнинг мустаҳкамлиги ва пластиклиги юқори бўлганлигидан улар муҳим деталлар, масалан, тирсакли валлар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

---

* *Фрикция* сўзи латинча бўлиб, унинг таржимаси *ишқаланиш* демакдир. *Антифрикцион* сўзи *ишқаланишга чидамли* деган маънони англатади.

11-жадвал

Кул ранг чўяннинг химиявий таркиби ва механик хоссалари (ГОСТ 1412-54)

Чўяннинг маркаси	Химиявий таркиби, % ҳисобида							Механик хоссалари		
	C	Si	Mn	P (кўпи билан)	S (кўпи билан)	Cr (кўпи билан)	Ni (кўпи билан)	σ_b, кГ/мм²	$\sigma_{эг}$, кГ/мм²	HB
СЧ00	3,0—3,5	1,8—2,4	0,6—1,0	0,6	0,15	0,15	0,5	—	—	—
СЧ12-28	3,3—3,6	2,2—2,5	0,6—1,0	0,4	0,15	0,15	0,5	12	28	143—229
СЧ15-32	3,2—3,5	2,0—2,4	0,7—1,1	0,4	0,15	0,15	0,5	15	32	163—229
СЧ18-36	3,1—3,4	1,7—2,1	0,8—1,2	0,2	0,15	0,3	0,5	18	36	170—229
СЧ21-40	3,0—3,3	1,3—1,7	0,8—1,2	0,3	0,15	0,3	0,5	21	40	170—241
СЧ24-44	2,9—3,2	1,2—1,6	0,8—1,2	0,2	0,15	0,3	0,5	24	44	170—241
СЧ28-48	2,8—3,1	1,1—1,5	0,8—1,2	0,2	0,12	0,3	0,5	28	48	170—241
СЧ32-52	2,7—3,0	1,1—1,5	0,8—1,2	0,2	0,12	0,3	0,5	32	52	187—255
СЧ35-56	2,6—2,9	1,1—1,5	1,0—1,4	0,2	0,12	0,3	0,5	35	56	197—269
СЧ38-60	2,5—2,8	1,1—1,3	1,0—1,4	0,2	0,12	0,3	0,5	38	60	207—269

Жуда пухта чўян қуймаларининг химиявий таркиби 12- жадвалда, жуда пухта чўянларнинг механик хоссалари эса 13- жадвалда келтирилган.

12 - ж а д в а л

Жуда пухта чўян қуймаларининг химиявий таркиби

Қуйма деворининг қалинлиги, *мм*	Химиявий таркиби, % ҳисобида					
	C (камида)	Si	Mn (кўпи билан)	S (кўпи билан)	P (кўпи билан)	Mg
10 гача	3,4	2,6—3,1	0,4	0,14	0,1	0,05—0,12
10— 30	3,4	2,4—2,8	0,6	0,14	0,1	0,05—0,12
30— 75	3,2	2,2—2,6	0,6	0,14	0,1	0,05—0,12
75—100	3,0	2,0—2,4	0,6	0,14	0,1	0,05—0,12

Эслатма. Жуда пухта чўянлар таркибида 0,3 % гача хром ҳам бўлади.

13- ж а д в а л

Жуда пухта чўянларнинг механик хоссалари
(ГОСТ 7293-54)

Чўяннинг маркаси	Механик хоссалари				
	σ_b, *кГ/мм²*	$\sigma_{0,2}$, *кГ/мм²*	δ, %	$a_н$, *кГм/см²*	*НВ*
	камида				
ВЧ45-0	45	36	—	—	187—255
ВЧ50-1,5	50	38	1,5	1,5	187—255
ВЧ60-2	60	42	2,0	2,0	197—269
ВЧ45-5	45	33	5,0	2,5	170—207
ВЧ40-10	40	30	10,0	4,0	156—197

6- §. БОЛҒАЛАНУВЧАН ЧЎЯННИНГ МАРКАЛАНИШИ ВА ХОССАЛАРИ

Болғаланувчан чўян КЧ ҳарфлари ва икки хил сон билан маркаланади. КЧ ҳарфлари чўяннинг болғаланувчан чўян эканлигини (русча — ковкий чугун), сонларнинг бири чўяннинг узилишдаги мустаҳкамлик чегарасини (*кГ/мм²* ҳисобида), иккинчиси эса нисбий узайишини (% ҳисобида) билдиради.

Болғаланувчан чўян деганда уни одатдаги усулда болғалаб бўлади деб тушуниш ярамайди. Болғаланувчан чўян деган ном бу чўяннинг пластиклиги кул ранг чўянникига қараганда юқори бўлганлиги учун берилган. Паға-паға графитли чўяннинг болғаланувчан чўян деб аталиши юқорида (156- бет) айтиб ўтилган эди. Болғаланувчан чўян оқ чўянни махсус тарзда юмшатиш йўли билан ҳосил қилинади (VI боб, чўянни термик ишлаш технологияси деган бўлимчанинг 2- параграфига қаранг, 229- бет). Болғаланувчан чўян ишлаб чиқаришда тоза оқ чўяндан фойдаланиш керак, чунки чўян қуйишда қисман графитланиш процесси

содир бўлса ва, демак, пластинка нусха графит ҳосил бўлса, ана шу пластинкаларга графит ўтира бориб, хоссалари одатдаги кул ранг чўяннинг хоссаларига яқин чўян ҳосил бўлади.

Оқ чўян ҳосил қилишда графитланишга тўсқинлик қилувчи элементларни, масалан, марганецни ҳаддан ташқари кўпайтириб юбориш ярамайди, чунки чўянда бу элементлар кўпайиб кетса, графитлаш мақсадида юмшатиш процессини амалга ошириш қийин бўлади.

Болғаланувчан чўянда углерод миқдори анча кам (асосан, 2,4—2,8%) бўлганлигидан графит кам ҳосил бўлиб, чўяннинг сифати яхшиланади. Лекин вагранкада бундай чўян тайёрлаб бўлмайди, болғаланувчан чўян суюқлантириб олиш учун махсус печлардан фойдаланилади, бу эса чўянни қимматлаштириб юборади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, болғаланувчан чўян ҳосил қилишда асосий харажат оқ чўянни юмшатиш учун кетади, юмшатиш процесси эса узоқ давом этадиган ва қиммат турадиган процессдир.

Оқ чўянни юмшатишда содир бўладиган структура ўзгаришларини кўриб чиқайлик. Бунинг учун темир — графит ҳолат диаграммасидан фойдаланамиз (127-расмга қаранг).

Оқ чўян $P'S'K'$ чизиғидан юқори температурагача қиздирилганда ортиқча цементит (эвтектика цементити ва иккиламчи цементит) парчаланиб, ундан графит ажралиб чиқади. Цементит парчаланиб бўлгандан кейин юқори температурада аустенит ва паға-паға графит ҳосил бўлади. Агар қотишма барча температуралар оралигида кристалланиш темир — графит системаси бўйича борадиган даражада секин совитилса, аустенитдан цементит эмас, балки графит ажралиб чиқади. Қотишма бундай совитилганда углероднинг ҳаммаси графит тарзида ажралиб чиқиб, чўян ферритдан ва паға-паға графитдан иборат бўлади. Бундай чўян *ферритли болғаланувчан чўян* дейилади. Ферритли болғаланувчан чўянда графит қўшимчалар кўп бўлганлиги учун унинг синдирилган жойи қорароқ рангда кўринади ва, шунинг учун, бу чўян *қора ўзакли чўян* деб ҳам аталади. Агар қотишма, айниқса, $P'S'K'$ чизиғидан бир оз паст температуралар соҳасида етарли даражада секин совитилмаса, перлитдаги цементитнинг парчаланиши охирига етмай қолиши мумкин; бунда чўян перлит, феррит ҳамда паға-паға графитдан иборат бўлади ва *феррит-перлитли болғаланувчан чўян* деб аталади. Агар қотишма тезроқ сови-

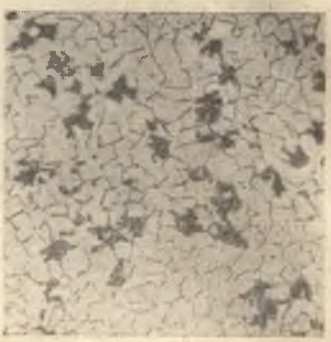
14- жадвал

Болғаланувчан чўяннинг химиявий таркиби ва механик хоссалари
(ГОСТ 1215-56)

Чўяннинг маркаси	Химиявий таркиби, % хисобида					Механик хоссалари			Структураси
	C	Si	Mn	P (кўпи билан)	S (кўпи билан)	σ_b, кГ/мм²	δ, %	НВ	
КЧ30-6	2,7—3,1	0,7—1,1	0,3—0,6	0,2	0,18	30	6	163	Ферритли
КЧ33-8	2,5—2,0	0,8—1,2	0,3—0,6	0,2	0,18	33	8	163	
КЧ35-10	2,4—2,8	0,9—1,4	0,3—0,5	0,2	0,12	35	10	163	
КЧ37-12	2,2—2,5	1,0—1,5	0,3—0,5	0,2	0,12	37	12	163	
КЧ45-6	2,2—2,8	0,9—1,5	0,3—1,0	0,2	0,12	45	6	241	Перлитли ва перлит-ферритли
КЧ50-4	2,2—2,8	0,9—1,5	0,4—1,0	0,2	0,12	50	4	241	
КЧ56-4	2,2—2,6	0,7—1,1	0,4—1,0	0,2	0,12	56	4	241	
КЧ60-3	2,2—2,6	0,7—1,1	0,4—1,0	0,2	0,12	60	3	241	
КЧ63-2	2,2—2,6	0,7—1,1	0,4—1,0	0,2	0,12	63	2	241	

тилса, перлитдаги цементит парчаланишга улгура олмай қолади-да, чўян перлит билан паға-паға графитдан иборат бўлади. Бундай чўян *перлитли болғаланувчан* чўян деб аталади.

Болғаланувчан чўян ҳосил қилишнинг яна бир усули оқ чўянни углеродсизлантирувчи муҳитда (рудада, темир куйиндисида, махсус атмосферада) юмшатиб, ундаги углероднинг анчагина қисмини куйдириб юборишдир. Бунда чўяннинг 1,5—2,0 *мм* қалинликдаги юза қатламида углерод бутунлай қолмайди. Одатда, бундай юмшатишда қотишма критик температурадан паст температурада тутиб турилмаганлигидан чўяннинг ўзагида перлит кўп бўлади. Шу йўл билан ҳосил қилинган болғанувчан чўяннинг синдирилган жойи оқиш кўринади, шунинг учун бу чўян *оқиш ўзакли чўян* деб ҳам аталади.

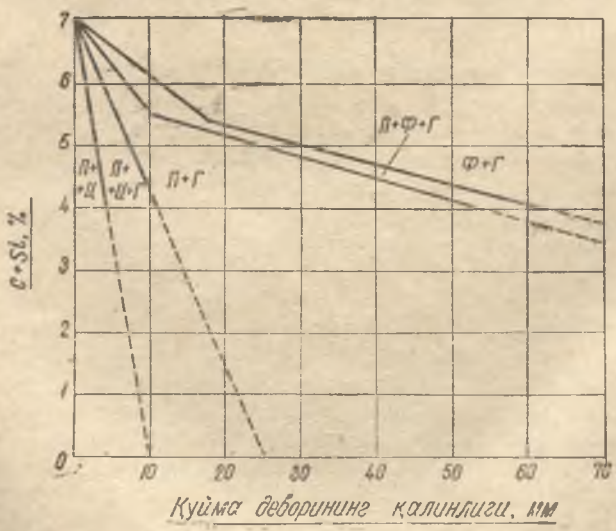


133- расм. Тез юмшатиш натижасида ҳосил қилинган ферритли болғаланувчан чўяннинг микроскопик тузилиши. × 450.

Совет тадқиқотчилари оқ чўянни тез юмшатиб, болғаланувчан чўян ҳосил қилиш усулини топдилар ва бу усулни амалда татбиқ қилдилар (VI боб, чўянни термик ишлаш бўлимининг I бўлимчасига қаранг, 230- бет)

Оқ чўян тез юмшатилгандан кейин ҳосил бўлган болғаланувчан чўян ферритнинг майда доналари билан паға-паға графитнинг майда доналаридан иборат бўлади. 133- расмда майда донали бундай чўяннинг микроскопик тузилиши тасвирланган.

Болғаланувчан чўяннинг химиявий таркиби ва механик хоссалари 14- жадвалда келтирилган.



134- расм. Чўян структурасининг углерод билан кремний миқдорига ва қуйма девори қалинлигига қараб ўзгариш диаграммаси.

Ферритли болғаланувчан чўяннинг пластиклиги перлитли чўянникидан анча юқори, аммо қаттиқлиги анча паст эканлиги 14-жадвалдан яққол кўриниб турибди. Перлитли чўян анча қаттиқ бўлганлиги учун ундан ясалган буюмлар ейилишга яхши қаршилик кўрсатади.

7-§. СОВИТИШ ТЕЗЛИГИНИНГ ЧЎЯН СТРУКТУРАСИГА ТАЪСИРИ

Бир қуйма чўяннинг ўзида унинг тузилиши (структураси) ҳар хил бўлиши мумкин. Қуйма чўяннинг юпқа жойларида, сирти ёнида графит ўртасидагига қараганда сийракроқ бўлади. Демак, чўяннинг тез совиган жойларида кўп цементит, секин совиган жойларида эса кўп графит ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, чўянда графитланиш даражасини оширувчи асосий омиллар углерод, кремний ва совитиш тезлигидир. Чўян структурасининг ва, демак, хоссаларининг углерод билан кремний миқдорига ва совитиш тезлигига (қуйма девори қалинлигига) қараб ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма 134-расмда тасвирланган.

VI БОБ

ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕРМИК ИШЛАШ

1-§. ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕРМИК ИШЛАШГА ОИД УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Қотишмани қиздириш ва совитиш натижасида унинг ички тузилишини ва, демак, физикавий, механик ва бошқа хоссаларини ўзгартириш *термик ишлаш* деб аталади.

Пўлатни термик ишлаш асосларини Д. К. Чернов яратган эди. Д. К. Чернов критик нуқталарни кашф этди ва қиздириш ҳамда совитиш йўли билан пўлатнинг структурасини (ички тузилишини) ўзгартириш мумкинлигини кўрсатди.

Қотишмаларни термик ишлаш тўғрисидаги фанни ривожлантиришда Ватанимиз олимларининг хизмати айниқса каттадир. XX асрнинг бошларидан қилинган ишлар натижасида термик ишлаш назарияси анчагина ривожланди. Ватанимиз олимларидан А. А. Бочвар, Н. А. Минкевич, С. С. Штейнберг, Н. Я. Селяков, Н. Т. Гудцов, Г. В. Курдюмов, А. П. Гуляев ва бошқаларнинг, чет эл олимларидан Р. Мел, Э. Бейн, Г. Ганнеман, Ф. Вефер, Г. Эссер ва бошқаларнинг ишлари ана шундай ишлар жумласидандир.

Қотишмаларни термик ишлашнинг аҳамияти ғоят катта, чунки термик ишлаш йўли билан уларнинг механик хоссаларини жуда кенг чегарада ўзгартириш мумкин.

Қотишмаларни термик ишлашдан кўзда тутиладиган мақсад уларнинг тузилишини (структурасини) ўзгартириш йўли билан механик хоссаларини зарур томонга қараб ўзгартиришдан иборат.

2-§. ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕРМИК ИШЛАШ РЕЖИМИ

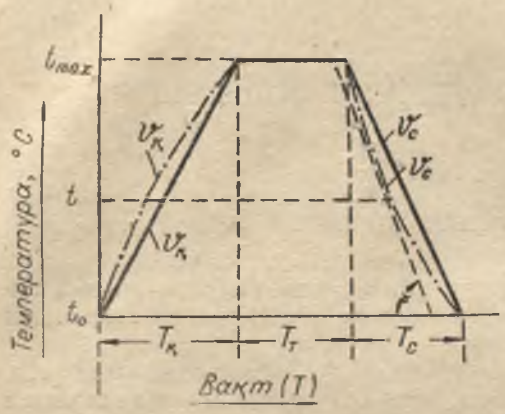
Термик ишлаш операцияларининг шу операциялар давом этадиган вақт ва температуралар оралиғи кўрсатилган тартиби *термик ишлаш режими* дейилади. Қотишмаларни термик ишлашда асосий омиллар температура билан вақтдир. Шу сабабли ҳар қандай термик ишлаш режимини тўғри бурчакли координаталар системасида график тарзда ифодалаш мумкин. Бунинг учун ординаталар ўқига температура, абсциссалар ўқига эса вақт қўйилади. Бундай график 135-расмда тасвирланган.

Термик ишлаш режими қотишманинг қиздирилиш вақти $T_к$ ни, вақт бирлигида неча градус қиздирилиши, яъни қиздирилиш тезлиги $v_к$ ни, қиздирилиш температураси t_{max}, яъни қотишма қиздирилган энг юқори (максимал) температурани, шу температурада тутиб турилиш вақти $T_т$ ни ва совитилиш вақти $T_с$ ни, вақт бирлигида неча градус совитилиши, яъни совитилиш тезлиги $v_с$ ни ифодалайди.

Қотишманинг қиздирилиш ёки совитилиш тезлиги ўзгармас бўлиши ҳам, ўзгарувчан бўлиши ҳам мумкин. Агар қотишманинг қиздирилиш ёки совитилиш тезлиги ўзгармас бўлса, бу ҳол температура — вақт графигида вақтлар ўқига қиялик бурчаги муайян бўлган тўғри чизиқ билан ифодаланади.

Қиздириш ёки совитиш тезлиги ўзгарувчан бўлса (135-расмдаги графикда штрих-пунктир чизиқ билан ифодаланган), ҳақиқий тезлик температуранинг вақт бўйича олинган биринчи ҳосиласига, яъни температуранинг чексиз кичик ўзгариши билан вақтнинг чексиз кичик ўзгариши орасидаги нисбатга тенг бўлади. График тарзда эса қиздириш ёки совитишнинг ҳақиқий тезлиги қиздириш ёки совитиш эгри чизиғига берилган (масалан, t°C) температурада ўтказилган уринма билан вақт ўқи орасидаги бурчакнинг тангенсига тенг бўлади (135-расм), яъни:

$$v_{\text{ҳақ.}} = \operatorname{tg}\alpha.$$



135-расм. Қотишмани оддий термик ишлаш режимининг график ифодаси.

Термик ишлаш режими мураккаб бўлиши, яъни у жуда кўп қиздиришлар, узлукли ва босқичли қиздиришлар (совитишлар), манфий температурагача совитиш ва бошқалардан иборат бўлиши мумкин. Бундай термик ишлашни ҳам температура — вақт координаталарида график тарзида ифодаласа бўлади.

Бинобарин, температура — вақт координаталарида термик ишлашнинг ҳар қандай процесси ифодаланиши мумкин экан.

3-§. ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕРМИК ИШЛАШ ТУРЛАРИ

Қотишмаларни термик ишлашнинг бир неча тури бор; юмшатиш, нормаллаш, тоблаш ва бўшатиш термик ишлаш турларидир. Бу термик ишлаш турларидан баъзилари, ўз навбатида, турчаларга бўлинади. Рус олими А. А. Бочвар термик ишлаш турларининг бешта группани ўз ичига олган классификациясини таклиф қилди. Шу группаларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз.

Б и р и н ч и т у р ю м ш а т и ш. Термик ишлашнинг бу тури қотишмани критик температурадан пастроқ температурагача қиздириб, сўнгра секин-аста совитишдан иборат. Маълумки, қотишма совуқлайин босим билан ишланганда унинг кристалл панжараси бузилиши, яъни у беқарор ҳолатга келиши, суюқланма қотаётганда диффузия процесслари охиригача ета олмаслиги натижасида қотишманинг таркиби бир жинсли бўлмай қолиши мумкин ва ҳоказо. Биринчи тур юмшатиш вақтида қотишма критик температурадан паст температурагача қиздирилганлиги учун бундай термик ишлашда қайта кристалланиш содир бўлмайди, аммо бундай температурада атомларнинг тебранма ҳаракати кучайиб, қотишмани барқарорроқ ҳолатга келтиради ва унинг хоссаларини мувозанат ҳолатига яқинлаштиради. Бинобарин, биринчи тур юмшатиш учун қиздиришда қотишманинг ички кучланишлари йўқолади, кристалл панжараси асли ҳолатига маълум даражада қайтади, рекристалланиш ва диффузия процесслари анча тезлашади.

Биринчи тур юмшатиш, биринчидан, совуқлайин босим билан ишланган қотишмалардаги наклёп ва ички кучланишларни йўқотиш учун, иккинчидан, қотишмалардаги турли жинслиликка барҳам бериш учун

қўлланилади. Юмшатишнинг биринчиси *рекристаллизацион юмшатиш* деб аталса (75-бетга қаранг), иккинчиси *диффузион юмшатиш* дейилади.

И к к и н ч и т у р ю м ш а т и ш. Термик ишлашнинг бу тури қотишмани критик температурадан юқорироқ температурагача қиздириб, сўнгра секин-аста совитишдан иборат. Иккинчи тур юмшатиш қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришлари ва бошқа ўзгаришлар содир бўладиган қотишмалар учун қўлланилади, чунки қотишмаларда фазалар ўзгариши содир бўлса, бу қотишма критик температурадан юқорироқ температурагача қиздирилганда қотишманинг тузилиши ўзгаради. Шундан кейин қотишма совитилса, унинг структураси аксинча ўзгаради. Агар қотишма етарли даражада секин совитилса, ўзгариш тўла бўлиб, қотишманинг фазалар таркиби мувозанат ҳолатидагига тўғри келиб қолади.

Т о б л а ш. Термик ишлашнинг бу тури қотишмани критик нуқтадан юқорироқ температурагача қиздириб, сўнгра тез совитишдан иборат. Тоблаш ҳам қаттиқ ҳолатда фаза ўзгаришлари содир бўладиган қотишмалар учун қўлланилади. Қотишмани тоблашда совитиш тезлиги катта бўлганлигидан қотишмада фаза ўзгаришлари содир бўлишга улгурмайди ва қотишманинг юқори температурадаги структураси (тузилиши) нормал шароитда ҳам сақланиб қолади.

Жуда кўпчилик ҳолларда қотишмани тоблаш шу қотишманинг юқори температураларда барқарор бўлган ҳолатини сақлаб қола олмайди, балки структура ўзгаришининг бирор босқичини сақлаб қолади, структура ўзгаришининг бу босқичида эса қотишмада мувозанат ҳолати ҳали қарор топмаган бўлади. Демак, қотишма тоблангандан кейин жуда қаттиқ, аммо, шу билан бирга, жуда мўрт бўлиб қолади, структураси эса беқарор (мувозанатсиз) бўлади.

Иккинчи тур юмшатиш билан тоблаш оралиғидаги мавқени эгаллайдиган яна бир тур термик ишлаш бор, у *нормаллаш* деб аталади.

Қотишмани нормаллашда бу қотишма фаза ўзгаришларидан юқори температурагача қиздирилиб, ҳавода совитилади. Нормалланган қотишманинг пухталиги ва қаттиқлиги юмшатилган қотишманикидан юқори, аммо тобланган қотишманикидан пастроқ бўлади.

Б ў ш а т и ш. Термик ишлашнинг бу тури қотишмани критик температурадан пастроқ температурагача қиздириб, сўнгра маълум тезлик билан совитишдан иборат. Тобланган қотишманинг структураси беқарор бўлиши юқорида айтиб ўтилди. Бундай қотишма қиздирилмаганда ҳам қотишмада уни анча барқарор ҳолатга (мувозанат ҳолатига) яқинлаштирувчи процесслар содир бўлиши мумкин, аммо қотишма қиздирилса, бу процесслар тезлашади. Тобланган қотишманинг температураси оширила борса, у мувозанат ҳолатига тобора кўп яқинлашади.

Агар қотишма нормал шароитда тутиб туриш ёки озгина қиздириш йўли билан бўшатилса, бундай бўшатиш *эскиртириш (чиниқтириш)* деб, процесснинг ўзи эса *эскириш (чиниқиш)* деб аталади.

Бўшатиш билан биринчи тур юмшатиш орасида умумийлик бор. Бу умумийлик шундан иборатки, бўшатишда ҳам, биринчи тур юмшатишда ҳам қотишма мувозанат ҳолатига яқинлаштирилади. Иккала ҳолда ҳам дастлабки босқичда қотишма беқарор ҳолатда бўлади, бу ҳолат биринчи ҳолда қотишмани совуқлайин босим билан ишлаш орқали ҳосил қилинса, иккинчи ҳолда тоблаш йўли билан ҳосил қилинади, аммо қотишма совуқлайин босим билан ишланганда унда фаза ўзгаришлари содир бўлмайди, тобланганда эса бундай ўзгаришлар содир бўлади. Демак, бўшатиш процесси тоблаш процессидан кейин амалга ошириладиган иккиламчи операциядир.

Химиявий-термик ишлаш. Металларда ҳар хил элементларни эрита олиш хусусияти борлиги шу металлни қуршаб турган модда атомларининг юқори температурада металлга диффузиланиш имконини беради, натижада металл сиртқи қатламининг химиявий таркиби ўзгаради. Атомларнинг металлга диффузиланиши химиявий процесс дир, аммо бу процесснинг боришида температура катта роль ўйнайди, шу сабабли диффузия процессини соф химиявий ишлов бериш деб қараш ярамайди. Қотишманинг сиртқи қавати химиявий таркибини ўзгартирувчи бундай ишлов бериш *химиявий-термик ишлаш* деб аталади. Химиявий-термик ишлаш турлари шу темага бағишланган бобда (VII бобда) батафсил баён этилади.

Кейинги йилларда қотишмаларни босим остида ишлаш билан бир вақтда уларнинг структурасини ҳам ўзгартириш усули тобора кенг кўламда қўлланилмоқда. Қотишмаларга бундай ишлов бериш *термомеханик ишлаш* деб аталади. Қотишма деформацияланганда унинг ташқи кўриниши ўзгарибгина қолмай, балки унда наклёп ҳам ҳосил бўлади, ана шу наклёпланган қотишма термик ишланади, бу тўғрида кейинроқ (222- бетда) батафсил сўзланади. Бинобарин, термик ишлашнинг юқорида тилга олинган бешта турига термомеханик ишлашни ҳам қўшиш керак.

А. ПЎЛАТНИ ТЕРМИК ИШЛАШ

I. ПЎЛАТНИ ТЕРМИК ИШЛАШ ТУРЛАРИ

Пўлатни термик ишлашда Fe—Fe_3C системасининг ҳолат диаграммасига асосланилади.

Fe—Fe_3C ҳолат диаграммасида (110- расмга қаранг) *PSK* чизиғидаги ҳар қандай нуқта пастки критик нуқта бўлиб, A_1 билан, *GSE* чизиғидаги ҳар қандай нуқта эса юқориги критик нуқта бўлиб, A_3 билан белгиланади. A_1 критик нуқта қотишма совитилганда аустенитдан перлит ҳосил бўлишини, қотишма қиздирилганда эса перлитдан аустенит ҳосил бўлишини ифодалайди. A_3 критик нуқта қотишма совитилганда эвтектоидгача бўлган пўлатларда феррит, эвтектоиддан кейинги пўлатларда эса цементит ажралиб чиқа бошлашига, қотишма қиздирилганда эвтектоидгача бўлган пўлатларда ферритнинг, эвтектоиддан кейинги пўлатларда эса иккиламчи цементитнинг батамом эриб бўлишига тўғри келади.

Қотишма қиздирилган вақтдаги критик нуқта *Ac** билан, қотишма совитилган вақтдаги критик нуқта эса *Ar*** билан белгиланади. Бинобарин, аустенитнинг перлитга айланиш критик нуқтаси *Ar* билан, перлитнинг аустенитга айланиш критик нуқтаси эса *Ac* билан, аустенитдан феррит ажралиб чиқа бошлаш критик нуқтаси Ar_3 билан, аустенитдан иккиламчи цементит ажралиб чиқа бошлаш критик нуқтаси ҳам Ar_3 билан, ферритнинг аустенитда батамом эриб бўлиш критик нуқтаси Ac_3 билан, иккиламчи цементитнинг аустенитда батамом эриб бўлиш критик нуқтаси ҳам Ac_3 (кўпинча, *Acm****) билан белгиланади.

Пўлатни юмшатиш. Пўлатни Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздириш ва шу температурада маълум вақт тутиб турғандан кейин секин-аста совитиш *юмшатиш* деб аталади. Пўлат Ac_1 нуқтадан юқори, аммо Ac_3 нуқтадан паст температурагача қиздирилганда унинг қайта кристалланиши тўла бўлмайди ва бундай юмшатиш *чала*

* с ҳарфи французча *chauffer* — *қиздирмоқ* сўзининг бош ҳарфи.
** *r* ҳарфи французча *refroidir*—*совутмоқ* сўзининг бош ҳарфи.
*** *cm* — цементитни билдиради.

юмшатиш деб аталади. Юмшатишда пўлатнинг ҳолати мувозанат ҳолатига яқинлашади. Юмшатилган пўлатнинг структураси феррит+перлитдан (эвтектоидгача бўлган пўлат), перлитдан (эвтектоид пўлат) ёки перлит+цементитдан (эвтектоиддан кейинги пўлат) иборат бўлади.

Агар пўлат Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра ҳавода совитилса, пўлат нормалланади.

П ў л а т н и т о б л а ш. Эвтектоидгача бўлган пўлатни Ac_3 критик нуқтадан, эвтектоиддан кейинги пўлатни Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздириш ва шу температурада маълум вақт тутиб туриб, сўнгра тез совитиш *тоблаш* дейилади. Эвтектоидгача бўлган пўлат Ac_1 критик нуқтадан юқори, аммо Ac_3 критик нуқтадан паст температурагача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин тез совитилса, у чала тобланади.

П ў л а т н и б ў ш а т и ш. Тобланган пўлатни Ac_1 критик нуқтадан паст температурагача қиздириб, сўнгра маълум тезлик билан совитиш *бўшатиш* деб аталади.

Х и м и я в и й - т е р м и к и ш л а ш. Бу тўғрида 241-бетга қаранг.

Т е р м о м е х а н и к и ш л а ш. Бу тўғрида 222-бетга қаранг.

II. ПЎЛАТНИ ТЕРМИК ИШЛАШ НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

Термик ишлаш назариясида структуралар ҳосил бўлиш процесслари, шунингдек, пўлат структура ҳолатларининг ўзига хос хусусиятлари (мувозанатсиз ҳолатлари) тавсифланади.

1-§. ПЎЛАТНИ ҚИЗДИРИШДА ШУ ПЎЛАТДА БЎЛАДИГАН ЎЗГАРИШЛАР. АУСТЕНИТ ДОНАСИНИНГ ЎСИШИ

Fe—Fe_3C ҳолат диаграммасига мувофиқ, эвтектоидгача бўлган пўлат Ac_3 критик нуқтадан, эвтектоид пўлат Ac_1 критик нуқтадан, эвтектоиддан кейинги пўлат эса Acm критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилса, фаза ўзгаришлари содир бўлиб, бу ўзгаришлар аустенит ҳосил бўлиши билан тугайди.

Пўлат қиздирилганда перлитнинг аустенитга айланиш процесси ниҳоятда диққатга сазовор ҳодисадир. Пўлат ниҳоятда секин қиздирилгандагина перлит 727°С температурада аустенитга айланади, акс ҳолда перлитнинг аустенитга айланиш процесси кечикиб, ўта қизиш ҳодисаси рўй беради. Критик нуқтадан юқори температурагача ўта қизиган перлит аустенитга ҳар хил тезлик билан айланади. Ўта қиздирилган перлитнинг аустенитга айланиш тезлиги ўта қизиш даражасига боғлиқ бўлади.

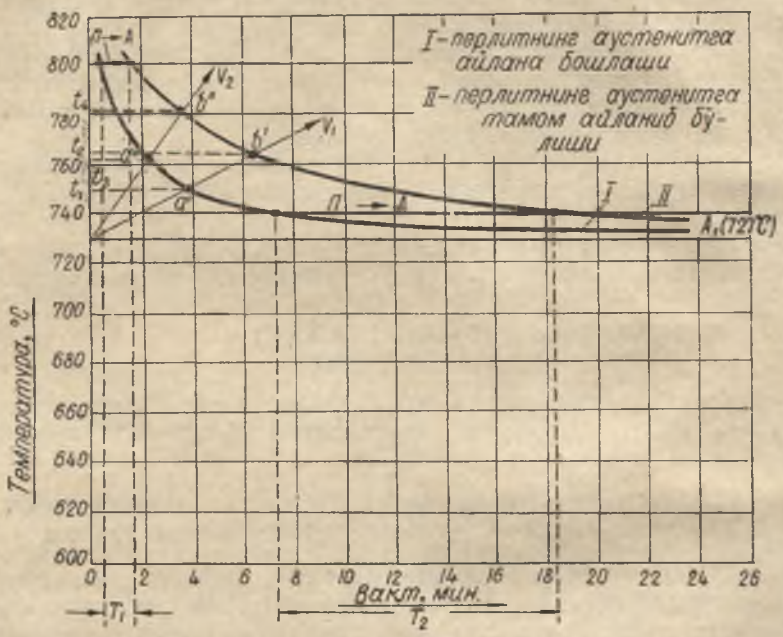
136-расмда ҳар хил температураларда (ўта қизиш даражаларида) перлитнинг аустенитга айланиш вақтини кўрсатувчи эгри чизиқлар тасвирланган.

I ва *II* эгри чизиқларнинг ўзаро жойлашуви температура қанча юқори бўлса, перлит аустенитга шунча тез (шунча қисқа вақт ичида) айланишини кўрсатади. Масалан, пўлат тез қиздирилиб, 800°С температурада тутиб турилганда перлит аустенитга T_1 вақт ичида, пўлат тез қиздирилиб, 740°С температурада тутиб турилганда эса T_2 вақт ичида айланади. T_2 нинг T_1 дан анча катта эканлиги диаграммадан яққол кўриниб турибди.

136-расмдаги диаграмма температура — вақт координаталарида берилганлиги учун, бу диаграммага узлуксиз қизиш эгри чизиқларини ҳам чизиш мумкин. Узлуксиз қизиш эгри чизиқларининг пўлатда ўзгар-

мас температурада бўладиган ўзгаришларни кўрсатувчи диаграммага чизилиши миқдорий жиҳатдан гарчи тўғри қийматларни бермаса ҳам, аммо процессларнинг сифатий қонуниятларини ифодалайди; шу сабабли бу методдан бундан буён ҳам фойдаланамиз.

v_1 нур пўлатнинг маълум бир тезлик билан киздирилишини кўрсатади. Бу нур *I* ва *II* эгри чизиқларни a' ва b' нуқталарда кесиб ўтади. Демак, пўлат v_1 тезлик билан узлуксиз қиздирилса, a' нуқтага тўғри келадиган



136- расм. Ҳар хил температурада (ўзгармас температураларда) 0,86 проценти углерод бўлган пўлатда перлитнинг аустенитга айланишини кўрсатувчи эгри чизиқлар (И. Л. Миркин ва М. Е. Блантер).

t_1 температурада перлитнинг аустенитга айланиши давом этиб, b' нуқтага тўғри келадиган t_2 температурада бу айланиш тугалланади. Агар пўлат тезроқ қиздирилса, v_2 нур *I* ва *II* чизиқларни a'' ва b'' нуқталарда кесиб ўтади. Бинобарин, пўлат тез қиздирилса, a'' нуқтага тўғри келадиган t_3 температурада перлитнинг аустенитга айланиши давом этиб, b'' нуқтага тўғри келадиган t_4 температурада бу айланиш тугалланади.

I ва *II* эгри чизиқлар A_1 горизонтал чизиққа асимптотик тарзда яқинлашиб, бу горизонтал чизиқни чексизликда кесиб ўтади. Пўлатнинг чексиз кичик тезлик билан қиздирилишини кўрсатувчи нур A_1 горизонтални чексизликда, яъни *I* ва *II* эгри чизиқлар бир-бирига қўшилган — перлитнинг аустенитга айланиши бир «нуқтада» содир бўладиган жойда, демак, ўзгармас температурада кесиб ўтади. Бу ҳол, равшанки, мувозанат қарор топган шароитда — Fe—Fe_3C диаграммаси асосида перлитнинг аустенитга айланиш ҳолидир. Реал ўзгаришлар, мувозанат шароитида ўзгаришлардан фарқли ўлароқ, A_1 критик температурадан юқори температурада, шу билан бирга, бир температуранинг ўзида эмас, балки температуралар оралиғида боради; температураларнинг бу оралиғи пўлат қанчалик тез қиздирилса, шунчалик юқори туради ва, демак, шунчалик қисқа бўлади.

Ўзгариш процесси аустенит ҳосил бўлиши ва перлитнинг йўқолиши билан тугалланади. Аммо янги ҳосил бўлган аустенит бир жинсли бўлмайди. Илгари перлит цементитнинг пластинкалари ёки доналари бўлган жойда углерод миқдори феррит пластинкалари бўлган жойлардагидан ортиқ бўлади. Шу жиҳатдан олганда, эндигина ҳосил бўлган аустенит бир жинсли бўлмайди. Қиздириш вақтида таркиби жиҳатидан бир жинсли аустенит ҳосил қилиш учун перлитнинг аустенитга батамом айланиш нуқтасидан (температурасидан) бир оз ўтишнинг ўзи кифоя қилмайди. Аустенитни бир жинсли қилиш учун пўлат шу нуқтадан юқори температурагача ўта қиздирилиши ёки муайян температурада маълум вақт тутиб турилиши керак. Пўлат муайян температурада тутиб турилганда аустенит доналари ичида диффузия процесслари тугалланиб, аустенит таркиб жиҳатидан бир жинсли бўлиб қолади. Баён этилган процессларнинг тезлиги пўлатнинг дастлабки тузилишига, цементитнинг дисперслик даражасига (майда-йириклигига) ва унинг шаклига боғлиқдир. Цементит доналари қанчалик майда бўлса, юқорида тилга олинган процесслар шунчалик тез боради.

Энди аустенит донасининг ўсишини кўриб чиқайлик.

Маълумки, пўлат Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилганда перлит аустенитга айланади, бу процесс феррит билан цементит чегарасида аустенитнинг бошланғич (дастлабки) доналари ҳосил бўлишидан бошланади. Феррит билан цементит чегараси жуда ҳам тармоқланиб кетганлиги учун*, дастлаб аустенитнинг жуда майда кўпдан-кўп доналари ҳосил бўлади. Перлит аустенитга батамом айланиб бўлгандан кейин пўлат қиздиришда давом эттирилса, ёки муайян температурада тутиб турилса, аустенит доналари ўса боради (йириклашади). Аустенит доналарининг йириклашиш процесси ўз-ўзидан боради, чунки бунда доналарнинг йиғинди сатҳи (сиртқи энергия) камаяди, юқори температура эса процессни тезлаштиради, холос.

Икки тур пўлат бўлади. Булардан бири *асли йирик донали* пўлат бўлса, иккинчиси *асли майда донали* пўлатдир. Асли йирик донали пўлат доналарининг ўсишга мойиллиги юқори, асли майда донали пўлат доналариники эса пастдир.

Иккала тур пўлат учун аустенит доналарининг ўсиш схемаси 137-расмда тасвирланган.

137-расмдан кўриниб турибдики, пўлатни қиздириш температураси Ac_1 критик нуқтадан ўтганда пўлат донаси кичрайиб кетади. Майда донали пўлат қиздиришда давом эттирилса, аустенит донаси тахминан 950°С температурагача ўсмай туради, шу температурадан юқорида эса аустенит донасининг ўсишига тўсқинлик қилувчи ғовларнинг эриши натижасида дона тез ўса бошлайди. Йирик донали пўлатда аустенит донасининг ўсишига ҳеч нарса тўсқинлик қилмаганлиги учун температура Ac_1 критик нуқтадан ўтгач кўп ўтмай дона йириклаша боради.

Ac_1 критик нуқтадан озроқ юқори температурада асли йирик донали пўлатдаги аустенит донаси асли майда донали пўлатдаги аустенит донасига қараганда катта, t_1 дан юқори температураларда эса, аксинча, асли йирик донали пўлатдаги аустенит донаси асли майда донали пўлатдаги аустенит донасидан кичик бўлади (137-расмга қаранг). Шу сабабли пўлатнинг айни бир бўлагидаги доналарнинг ўлчамига қараб, асли донадорликни билиб бўлмайди.

---

* 1 $см^3$ перлит (феррит+цементит)да феррит билан цементит орасидаги чегаранинг юзи бир неча квадрат метрга етади.

Пўлатни бирор тур термик ишлаш йўли билан унда ҳосил қилинган донанинг ўлчами *ҳақиқий ўлчам (ҳақиқий дона)* бўлади. Демак, пўлат доналарининг ўлчами уч хил бўлади: аустенит донасининг перлит → аустенит ўзгариши тугаш пайтидаги ўлчами, донанинг асли (табиий) ўлчами, яъни аустенит донасининг ўсишга мойиллиги ва аустенит донасининг конкрет шароитдаги ўлчами — ҳақиқий ўлчами.



137- расм. Аустенит донасининг ўсиш схемаси.

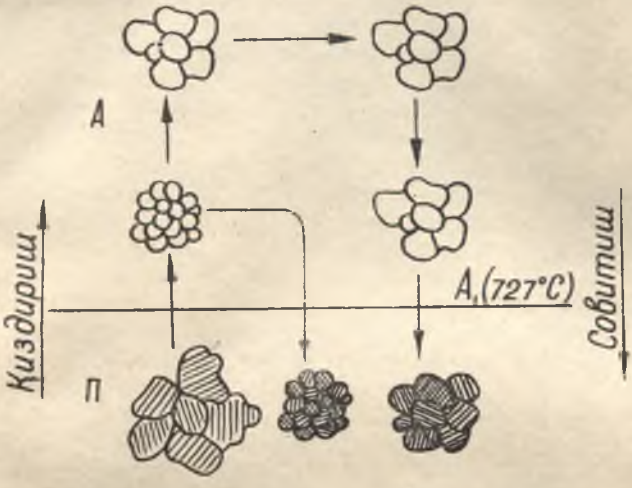
Аустенит доналари ўлчамининг перлит ёки бошқа структурали пўлатнинг хоссаларига таъсирини кўриб чиқайлик.

Перлит доналарининг ўлчами, биринчи навбатда, аустенит доналари ўлчамига боғлиқдир, чунки перлит ана шу аустенитдан ҳосил бўлади. Аустенит доналари қанчалик йирик бўлса, перлит доналари ҳам шунчалик йирик бўлади. Шу сабабли, перлит ёки бошқа структурали пўлатнинг хоссалари шу структурани ҳосил қилган аустенит доналарининг ўлчамига боғлиқдир. Аустенит доналари фақат қиздирилгандагина ўсади, қиздирилгандан кейин совитилганда эса аустенит доналари кичраймайди, шу сабабли, пўлат доналарининг охирги ўлчами аустенит ҳолатидаги пўлатни қиздиришнинг энг юқори температурасига ва пўлатнинг асли донадорлигига боғлиқ бўлади. Буни 138- расмдаги схемадан яққол кўриш мумкин.

138- расмда перлит донасининг ўлчами шу перлит ҳосил бўлган аустенит донасининг ўлчамига тенг қилиб кўрсатилган, бу унча тўғри эмас. Перлит доналари аустенит доналари чегарасида ҳосил бўлганлигидан, равшанки, аустенит доналари қанчалик майда бўлса, шунча майда перлит доналари ҳосил бўлади. Аммо бундан аустенитнинг битта

донасидан перлитнинг битта донаси ҳосил бўлади, деган хулоса чиқариш ярамайди. Аустенитнинг битта донасидан бир неча дона перлит ҳосил бўлиши мумкин.

Кўпгина ҳолларда собиқ, яъни юқори температурада мавжуд бўлган аустенит донасининг ўлчамини билиш зарур бўлади, чунки пўлатнинг,



138- расм. Аустенит ҳолатидаги пўлатни қиздиришда аустенит доналари ўлчамининг ва, демак, ундан ҳосил бўладиган перлит доналари ўлчамининг ўзгариш схемаси.

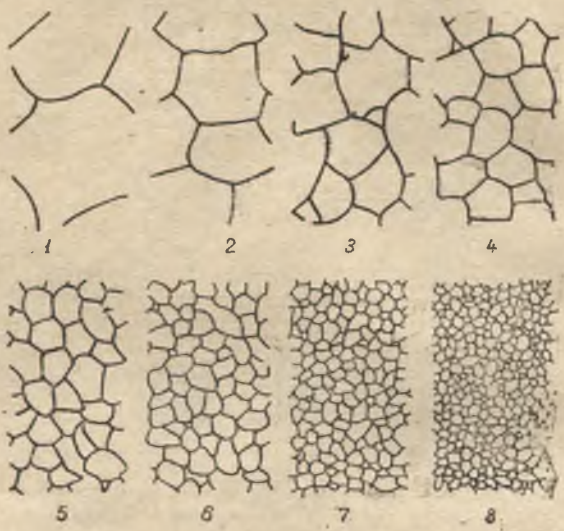
айниқса, тобланган пўлатнинг кўпгина хоссалари аустенит донасининг ана шу ўлчамига боғлиқдир.

Собиқ аустенит донасининг ўлчамини аниқлашнинг бир неча усули бор. Бу усуллардан энг оддийси аустенит донасининг ўлчамини пўлатнинг синиқ жойига қараб аниқлаш усулидир. Гап шундаки, тобланган (мартенсит структурали) пўлат намунаси синдирилса, намуна собиқ аустенит доналари чегарасидан ажралади, ана шу ажралган жойдан аустенит донасининг ўлчамини аниқлаш мумкин. Бу усул айтарли даражада аниқ натижа бермайди. Аустенит донасининг ўлчами тўғрисида анча аниқ натижани пўлатнинг микроскопик тузилишини текшириш йўли билан олиш мумкин.

Донанинг ҳақиқий ўлчами донанинг ўртача ўлчамини топиш ёки текширилаётган структурани стандарт шкалага (139- расм) таққослаб кўриш йўли билан аниқланади.

Пўлатнинг асли донадорлигини аниқлаш учун дона ўлчамининг температурага қандай боғлиқ эканлигини билиш зарур. Аммо амалда пўлатнинг асли донадорлигини донанинг 139- расмда тасвирланган шкала номерига мувофиқ келадиган ўлчамидангина аниқлаш анча қулайдир, бунда пўлатни асли майда доналар ҳали ўса бошламайдиган, асли йирик доналар эса ўса бошлайдиган температурагача (137- расмга қаранг) қиздириш керак. Одатдаги конструкцион пўлат учун бу температура 930°С га тенг. Шу температурада доналарининг номери 1—4 бўлган пўлатлар асли йирик донали пўлатлар деб, доналарининг номери 5—8 бўлган пўлатлар эса асли майда донали пўлатлар деб ҳисобланади (139- расм). Текширилаётган пўлат намунасининг донасини ана шу шкалага таққослаб кўриб, донасининг ўлчами жиҳатидан уни қайси тур пўлатга киритиш мумкинлиги аниқланади.

Аустенит донасининг ўсишга мойиллиги пўлатнинг таркибига ҳам боғлиқ бўлади. Температура кўтарилганда эвтектоиддан кейинги пўлат доналарининг ўсишга мойиллиги эвтектоид пўлатникига қараганда пастроқ бўлади. Демак, углероднинг миқдори аустенит донасининг ўсишга мойиллигини пасайтирар экан Пўлатга қўшиладиган кўпгина



139- расм. Доналар стандарт ўлчамларининг шкаласи. × 60.

элементлар (легирловчи элементлар), масалан, титан, ванадий, вольфрам ва бошқалар аустенит донасининг ўсишга мойиллигини пасайтиради. Аммо бир марка пўлатнинг ўзидан тайёрланган ҳар хил қуймаларда аустенит доналарининг ўсишга мойиллиги, яъни пўлатнинг асли донадорлиги ҳар хил бўлади. Бу ҳол пўлат ишлаб чиқариш усулига — пўлатни кислородсизлантириш — оксидсизлантириш (қайтариш) усулига боғлиқдир. Ферромарганец воситасида оксидсизлантирилган (қайновчи) ёки ферромарганец ва ферросилиций воситасида оксидсизлантирилган пўлат асли йирик донали, алюминий воситасида қўшимча равишда оксидсизлантирилган пўлат эса асли майда донали бўлади.

Майда донадорлик табиатини бўсағалар назарияси деб аталадиган назария бирмунча аниқ изоҳлаб беради. Бу назарияга кўра, суюқ пўлатни қолипларга қуйишдан олдинроқ унга алюминий қўшилса, у суюқ пўлатда эриган азот билан бирикиб, алюминий нитрид (AlN) заррачалари ҳосил қилади, алюминий нитрид эса суюқ пўлатда эрийди, пўлат кристалланиб, сўнгра совигандан кейин, алюминий нитрид жуда майда заррачалар тарзида ажралиб чиқади ва, асосан, доналар чегарасига жойлашиб, донанинг ўсишига тўсқинлик қилади —«бўсағa» («гов») бўлиб қолади. Маълум температурадан бошлаб, ҳатто майда донали пўлатда ҳам аустенит доналари тез ўса боради (137- расмга қаранг). Юқори температураларда алюминий нитрид аустенит донасининг юза қатламларида эрийди, натижада аустенит донасининг ўсишига тўсқинлик қиладиган «гов» йўқолади ва дона ўса бошлайди.

Пўлатнинг хоссаларига доналарнинг фақат ҳақиқий ўлчами таъсир этади. Масалан, бир марка пўлатнинг ўзидан тайёрланган икки хил

қуймани олайлик. Бу қуймаларнинг бири асли йирик донали, бири эса асли майда донали бўлсин. Ана шу қуймаларни ҳар хил температураларда термик ишлаш йўли билан улар доналарининг ҳақиқий ўлчамлари бир хил қилинса, бу иккала хил қуйманинг хоссалари бир хил бўлиб қолади.

Пўлатда аустенит доналарининг ўсиши пўлатнинг қаттиқлиги, узилишга қаршилиги, оқувчанлик чегараси, нисбий узайишига таъсир этмайди, аммо зарбий қовушоқлигини пасайтириб юборади.

Пўлатни қиздириб туриб ишлашнинг технологик процесси пўлат доналарининг асли ўлчамига боғлиқ бўлади, чунки пўлат хоссаларига доналарнинг ҳақиқий ўлчами таъсир этади. Асли майда доналар бирмунча юқори температураларда асли йирик доналарга қараганда тез ўсади (137-расмга қаранг), шу сабабли тоблаш температуралари оралиғи асли майда донали пўлатда асли йирик донали пўлатдагига қараганда анча кенг бўлади. Асли майда донали пўлатни анча юқори температураларда болғалаш ва прокатлаш, болғалашни ва прокатлашни анча юқори температурада тугаллаш мумкин, бунда доналар майдалигича қолаверади. Одатда, қайнамайдиган барча пўлатлар асли майда донали қилиб, қайнайдиган пўлатлар эса асли йирик донали қилиб тайёрланади.

П ў л а т д а б ў л а д и г а н ў т а қ и з и ш в а ў т а қ у й и ш ҳ о д и с а л а р и. Аустенит доналарининг ўсиши (йириклашуви) температурага боғлиқ эканлиги юқорида айтиб ўтилди. Температура қанчалик юқори ва пўлатни Ac_1 критик нуқтадан юқори температурада тутиб туриш вақти қанчалик кўп бўлса, аустенит доналари шунчалик йириклашади. Пўлатни юқори температурагача қиздириб, аустенит доналарини йириклаштириш пўлатни *ўта қиздириш* деб аталади. Пўлатни йирик донали қилиш мақсадида уни ҳаддан ташқари (солидус чизиғи яқинигача) қиздириб юбориш ярамайди, чунки бундай қилинса, пўлатда тузатиб бўлмайдиган нуқсон ҳосил бўлади. Бу нуқсон *ўта куйиш* деб аталади. Гап шундаки, пўлат солидус чизиғига, яъни суюқлана бошлаш чизиғига яқин температурагача қиздирилганда пўлат доналари чегараларида асосий фаза ва баъзи қўшимчалар суюқлана бошлаб, бу жойларга ҳаво кислороди кира бошлайди, кислород эса металл билан ва қўшимчалар билан бирикиб, оксидлар ёки доналарни бир-биридан ажратиб қўядиган пардалар ҳосил қилади. Бунинг оқибатида пўлатнинг пухталиги ва пластиклиги пасайиб кетади. Металлмас пардаларни пўлатни термик ишлаш йўли билан йўқотиб бўлмайди, шунинг учун ўта куйган пўлат буюм ясаш учун ярамайди.

Ўта куйиш ҳодисасининг олдини олиш мақсадида пўлатни солидус чизиғидан камида 100—200°С паст температурагача қиздириш керак.

2-§. ПЎЛАТНИ СОВИТИШДА АУСТЕНИТДА БЎЛАДИГАН ЎЗГАРИШЛАР. ЎТА СОВИТИЛГАН АУСТЕНИТНИНГ ЎЗГАРИШИ

Аустенитнинг перлитга айланиши. Пўлат секин совитилганда аустенит перлитга айланади. Бу процесс аустенитнинг феррит билан цементитга ажралишидан иборат:

$$А \rightarrow Ф + Ц$$

A_1 критик нуқтада, яъни мувозанат температурасида аустенитнинг эркин энергияси билан перлитнинг эркин энергияси бир-бирига тенг бўлади, шу сабабли бу температурада аустенит перлитга айланмайди.

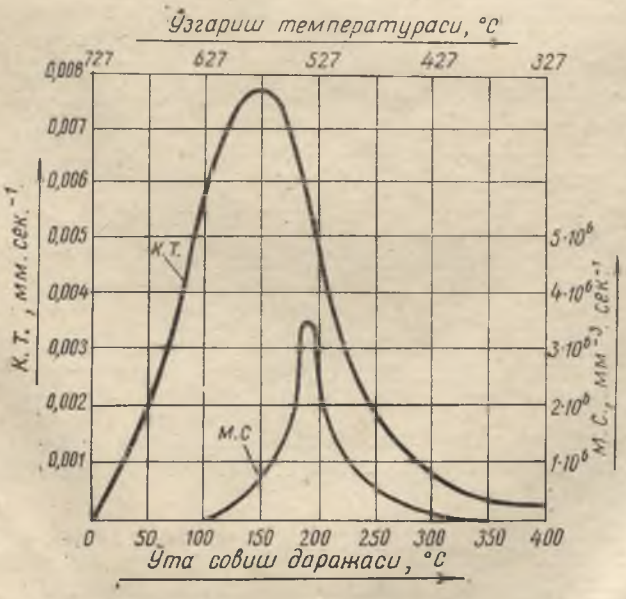
Температура A_1 критик нуқтадан бир оз пасайганда мувозанат бузилади, яъни перлитнинг эркин энергияси аустенитнинг эркин энергиясидан кичик бўлиб қолади, ана шундагина аустенит перлитга айлана бошлайди. Аустенитнинг перлитга айланиш температураси қанча паст бўлса, эркин энергиялар фарқи ҳам шунча катта бўлади, демак, аустенит перлитга шунча тез айланади.

Аустенит парчаланганда, яъни перлитга айланганда мутлақо янги фазалар: феррит билан цементит ҳосил бўлади. Маълумки, феррит таркибида углерод миқдори ниҳоятда кам, цементитда эса 6,67% углерод бўлади. Демак, аустенитнинг перлитга айланишида углерод диффузия йўли билан қайта тақсимланади. Температуранинг пасайиши диффузия процессини секинлаштириб юборади, демак, ана шу нуқтаи назардан олганда, ўта совиш аустенитнинг перлитга айланиш процессини сусайтириши керак.

Юқорида баён этилганлардан шундай хулосага келамиз: ўзгариш температурасининг пасайиши, биринчидан, аустенит эркин энергияси билан перлит эркин энергияси орасидаги фарқни оширади, натижада, аустенитнинг перлитга айланиш процесси тезлашади, иккинчидан, углероднинг диффузиланиш тезлигини пасайтиради, натижада, аустенитнинг перлитга айланиши секинлашади. Иккала факторнинг биргаликда таъсири натижасида, аустенитнинг перлитга айланиш температураси пасайганда айланиш тезлиги аввал ошиб, ўта совиш даражасининг бирор қийматида энг катта бўлади, шундан кейин эса пасаяди.

A_1 критик температурада аустенитнинг перлитга айланмаслиги юқорида айтиб ўтилди; аммо 200°С дан паст температурада ҳам аустенит парчаланмайди, чунки бундай температурада углероднинг диффузиланиш тезлиги етарли бўлмайди.

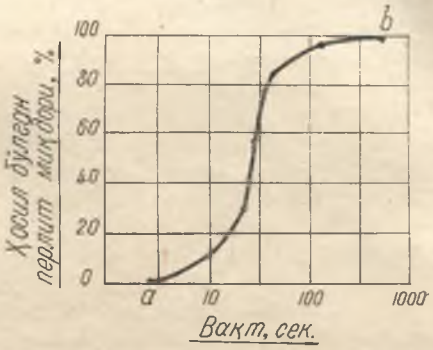
Аустенитдан перлит ҳосил бўлиш процесси перлит кристаллари марказининг ҳосил бўлиши ва бу кристалларнинг ўсишидан иборат. Ҳар



140- рас . Кристалланиш марказлари сонининг ва кристалларнинг ўсиш тезлигининг температурага (ўта совиш даражасига) қараб ўзгариши (И. Л. Миркин).

хил ўта совиш даражаларида аустенитнинг перлитга айланиш тезлигининг турлича бўлишига сабаб шуки, ҳосил бўладиган марказлар сони (м. с.) ва кристалларнинг ўсиш тезлиги (к. т.) ўта совиш даражасига боғлиқдир. Бу боғланиш график тарзида 140- расмда тасвирланган.

140- расмдан кўриниб турибдики, 727° температурада (A_1 критик нуқтада) ва ўзгариш температураси 200°С дан паст бўлганда кристалланиш марказлари сони ҳам, кристалларнинг ўсиш тезлиги ҳам нолга тенг, к. т. ўта совиш даражаси 150°С (ўзгариш температураси ~ 575°С) бўлганда, м. с. эса ўта совиш даражаси ~200°С (ўзгариш температураси ~ 527°С) бўлганда энг катта қийматга эга.



141- расм. Аустенитнинг перлитга айланиш кинетик эгри чизиғи.

Юқорида айтилганлардан шундай хулоса чиқади: пўлат A_1 критик нуқтадан паст температурагача совитилган, углероднинг диффузиланиши нолга тенг бўлмаган шароитда перлитнинг кристалланиш марказлари ҳосил бўлади ва улардан кристаллар ўса бошлайди. Бу процесс маълум вақт оралиғида боради ва, шунинг учун, уни аустенитнинг перлитга айланиш кинетик эгри чизиғи деб аталадиган график тарзида ифодалаш мумкин. Ҳосил бўлган перлит миқдори билан вақт орасидаги боғланишни кўрсатувчи бундай график 141- расмда тасвирланган.

141- расмдаги кинетик эгри чизиқдан кўриниб турибдики, дастлабки вақтда аустенит перлитга ниҳоятда секин айланади. Бу вақт *инкубацион давр* ёки *инертлик даври* дейилади. Эгри чизиқдаги *a* нуқтада аустенит перлитга айлана бошлайди, *b* нуқтада эса аустенитнинг ҳаммаси перлитга айланиб бўлади. Аустенитнинг перлитга айланиш кинетик эгри чизиғининг характери температурага (ўта совиш даражасига) боғлиқ. A_1 критик нуқтадан паст ҳар хил температураларга оид бир қанча кинетик эгри чизиқлар асосида аустенитнинг изотермик (ўзгармас температурада) парчаланиш диаграммасини тузиш мумкин. Бундай диаграмма ҳам аустенитнинг парчаланиш процесси, яъни перлитнинг ҳосил бўлиш процесси билан температура (ўта совиш даражаси) орасидаги боғланишни ифодалайди.

Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасини тузиш учун тўғри бурчакли координаталар системаси чизилиб, абсциссалар ўқига аустенитнинг перлитга айлана бошлашини (инкубацион даврни) ва батамом айланиб бўлишини кўрсатадиган кесмалар, ординаталар ўқига эса температуралар қўйилади (142- расм).

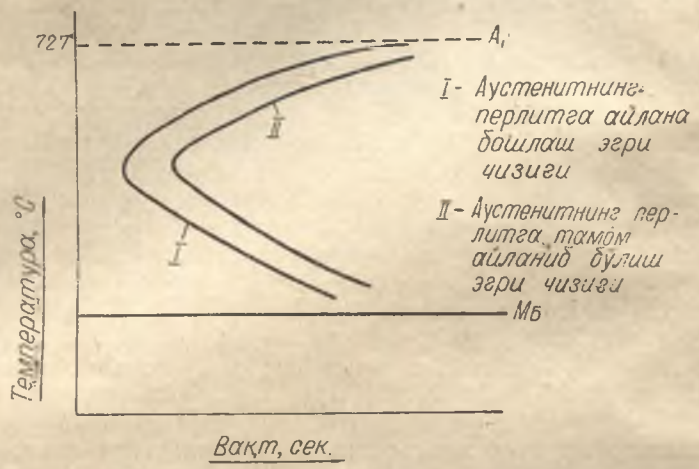
142- расмда тасвирланган диаграммадаги *I* эгри чизиқ, ўта совиш даражасига қараб, ўта совиган аустенит мавжуд вақтни, *II* эгри чизиқ эса ўта совишнинг шу даражасида аустенитнинг перлитга батамом айланиши учун зарур вақтни кўрсатади.

$M_б$ ҳарфи билан белгиланган горизонтал чизиқ аустенитнинг мартенситга углерод диффузиясисиз айланиш процессининг бошланишини ифодалайди. Бу тўғрида кейинроқ сўзланади.

Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасини дастлаб (1930 йилда) Э. Давенпорт ва Э. Бейн тузган эдилар. Аммо бундай диаграммаларнинг биринчи вариантлари латинча S ҳарфи шаклида бўлиб, S-диаграммалар деб аталди ва уларни тузишда экспериментнинг баъзи

нуқсонлари ҳамда аустенитнинг мартенситга айланишидаги ўзига хос хусусиятлар ҳисобга олинмади. 1935 йилда проф. А. П. Гуляев бу нуқсонларни йўқотиб, уни ҳозирги вақтдаги кўринишга келтирди.

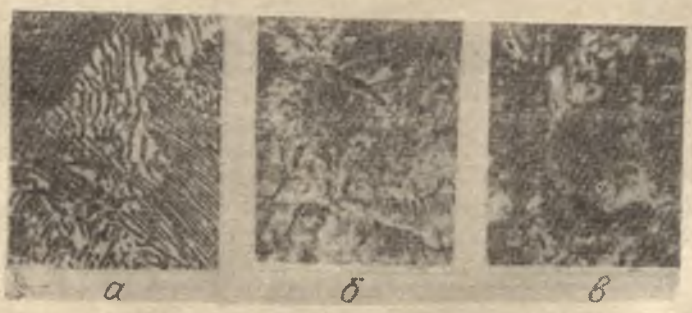
Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидаги эгри чизиқларнинг С ҳарфига ўхшашлиги 142-расмдан яққол кўринниб турибди, шунинг учун улар, кўпинча, С шаклли эгри чизиқлар ёки, қисқача, С-эгри чизиқлар деб ҳам аталади.



142- расм. Аустенитнинг перлитга изотермик (ўзгармас температурада) айланишини кўрсатувчи диаграмма.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, абсциссалар ўқига аустенитнинг перлитга айланиш вақтини қўйишда логарифмик шкаладан фойдаланилади, чунки аустенитнинг перлитга айланиш тезлиги жуда кенг чегарада (эгри чизиқнинг бурилиш жойида секуннинг улушларидан тортиб, A_1 критик нуқта ёнида бир неча ўн минг секундгача) ўзгаради.

Аустенитнинг парчаланиш процессини ва бу процесс натижасида ҳосил бўлган маҳсулотларнинг тузилиши ва хоссаларини кўриб чиқайлик. Аустенитнинг парчаланиш процессида ҳосил бўлган маҳсулотларнинг тузилиши ва хоссалари парчаланиш температурасига боғлиқдир.



143- расм. Ҳар хил температураларда аустенитнинг парчаланишидан ҳосил бўлган маҳсулотларнинг микроскопик тузилиши (эвтектоид пўлат).

Қичик ўта совиш даражаларида феррит билан цементитнинг анча дағал аралашмаси (перлит) ҳосил бўлади (143- расм, *а*). Ундан каттароқ ўта совиш даражаларида дисперслик (майдалик) даражаси ва қаттиқлиги ортиқроқ маҳсулотлар ҳосил бўлади, майинроқ тузилган бундай перлит *сорбит** деб аталади (143- расм, *б*). Ундан ҳам каттароқ ўта совиш даражасида С- диаграмманинг бурилиш жойига тўғри келадиган температурада янада майда тузилган (таркибий қисмларини микроскоп остида бир-биридан фарқ қилиш жуда қийин бўлган) перлит ҳосил бўлади. Бундай перлит *троостит*** деб аталади (143- расм, *в*).



144- расм. Троостит тузилишининг электрон микроскоп остида кўриниши. × 7000.

Трооститнинг ички тузилиши (пластинкаларининг чегараси) электрон микроскоп остида очиқ кўриниб туради (144- расм).

Перлит, сорбит ва троостит феррит билан цементитдан иборат механик аралашма бўлиб, бир-биридан феррит ва цементитнинг дисперслик даражаси жиҳатидангина фарқ қилади.

Таркибидаги цементитнинг қандай шаклда бўлишига қараб, перлит икки хил бўлади. Агар цементит доначалар шаклида бўлса, перлит *донадор* деб, агар цементит пластинкалар шаклида бўлса, перлит *пластинкасимон* деб аталади.

Бир жинсли (гомоген) аустенит ўта совиш даражаси ҳар қандай бўлганда ҳам пластинкасимон перлитга, бир жинсли бўлмаган (гетероген) аустенит эса донадор перлитга айланади. Эвтектоидгача бўлган пўлат Ac_3, эвтектоиддан кейинги пўлат эса *Acm* критик нуқталардан юқори температурагача қиздирилгандагина аустенит бир жинсли бўлади. Демак, пўлат юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра совитилганда пластинкасимон перлит ҳосил бўлади. Пўлат Ac_3 ёки *Acm* критик нуқталардан паст температурагача қиздирилса, аустенит бир жинсли бўлмайди. Бинобарин, пўлат Ac_3 ёки *Acm* критик нуқталардан паст температурагача қиздирилиб, сўнгра совитилса, аустенит донадор перлитга айланади.



145- расм. Таркибида 1,2% углерод бўлган (эвтектоиддан кейинги) пўлатда 900°С (*Acm* дан юқори) температурагача қиздириш йўли билан ҳосил қилинган пластинкасимон перлитнинг микроскопик тузилиши (А. П. Гуляев):

а — 710°С температурада аустенитнинг изотермик парчаланиши натижасида ҳосил бўлган перлит, *б* — 670°С температурада аустенитнинг изотермик парчаланиши натижасида ҳосил бўлган перлит. ×800.

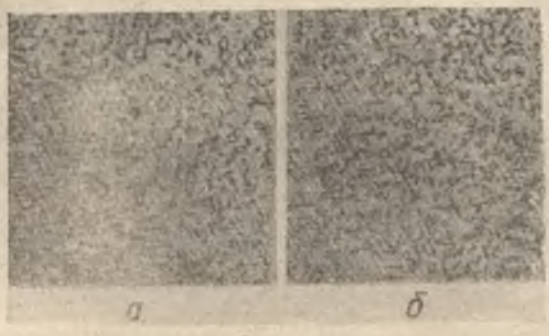
Пластинкасимон перлит пластинкаларининг, шунингдек, донадор перлит доналарининг майда-йирик бўлиши аустенитнинг перлитга айланиш температурасига боғлиқдир. Бу айланиш температураси қанчалик паст бўлса, перлит пластинкалари ёки доналари шунчалик майда бўлади (145 ва 146- расмлар).

* *Сорбит* термини инглиз олими *Г. Сорби* шарафига қўйилган.
** *Троостит* термини француз химиги *Л. Труст* (*L. T. Troost*) шарафига қўйилган.

Юқорида баён этилганлардан бундай хулоса чиқади: цементит доналарининг ўлчами аустенитнинг перлитга айланиш температурасига, цементитнинг шакли эса пўлатни қиздириш температурасига боғлиқ.

С-эгри чизиқнинг бурилиш жойидан юқорида аустенитнинг перлитга айланиш характери билан С-эгри чизиқнинг бурилиш жойидан пастда айланиш характери орасида парчаланиш кинетикаси жиҳатидан ҳам, парчаланиш маҳсулотларининг шакли жиҳатидан ҳам фарқ бўлади. С-эгри чизиқнинг бурилиш жойидан юқорида аустенитнинг перлитга айланиши кўп бўлмаган марказлардан бошланиб, перлит кристаллари ўзаро тўқнашгунча ўсади (147-расм).

С-эгри чизиқнинг бурилиш жойидан пастда нинасимон структура вужудга келади, яъни ниналар — жуда юпқа пластинкалар ҳосил бўлиб, улар маълум чегарагача ўсади, ўзгариш процесси эса, асосан, янги кристаллар ҳосил бўлиши ҳисобига боради (148-расм).



146-расм. Таркибида 1,2% углерод бўлган (эвтектоиддан кейинги) пўлатда 780°С (*Ac*т дан паст) температурагача қиздириш йўли билан ҳосил қилинган донадор перлитнинг микроскопик тузилиши (А. П. Гуляев):

а — 710°С температурада аустенитнинг изотермик парчаланиши натижасида ҳосил бўлган перлит, *б*—670°С температурада аустенитнинг изотермик парчаланиши натижасида ҳосил бўлган перлит. × 800.

Биринчи ҳолда ҳам, иккинчи ҳолда ҳам аустенит диффузия йўли билан парчаланади, яъни аустенитнинг парчаланиши натижасида ҳосил бўлган маҳсулотларнинг таркиби аустенитнинг таркибидан фарқ қилади. Юқори температураларда углерод қаттиқ эритмадан қарийб батамом ажралиб чиқади, паст температураларда эса ажралиб чиқишга улгура олмай, α-қаттиқ эритмада (ферритда) бир оз миқдор углерод сақланиб қолади. Ажралиб чиқадиган цементит ниҳоятда майда пластинкалар шаклида бўлиб, уларнинг узунлиги, А. И. Гардин тадқиқотларига кўра, температура пасайган сари секин-аста кичраяди. Демак, паст температураларда аустенитнинг парчаланишидан ҳосил бўлган маҳсулот (ниналар) феррит ва цементитнинг жуда майда ва қисқа пластинкаларидан иборатдир. С-эгри чизиқнинг бурилиш жойидан пастда ҳосил бўладиган бундай структура *нинасимон троостит* ёки *бейнит** деб аталади.

С-эгри чизиқнинг пастки соҳасида аустенитнинг парчаланишидаги ўзига хос хусусиятлардан яна бири шуки, баъзи ҳолларда, парчаланиш процесси тўхтагач, маълум миқдордаги аустенит парчаланмай қолади. Аустенитнинг юқори температурада парчаланишидан ҳосил бўладиган маҳсулотлар шакли билан паст температураларда парчаланишидан ҳосил бўладиган маҳсулотларнинг шакли орасида бунчалик катта фарқ бўлишининг сабабини кўриб чиқайлик.

Юқори температураларда аустенит юмшоқроқ бўлади, бинобарин, аустенитнинг бундай температураларда парчаланишида перлит доналари

---

* *Бейнит* термини Америка олими Э. Бейн шарафига қўйилган, аммо бу унча тўғри эмас, чунки бу структурани дастлаб Э. Бейн эмас, балки С. С. Штейнберг тавсифлаган эди.

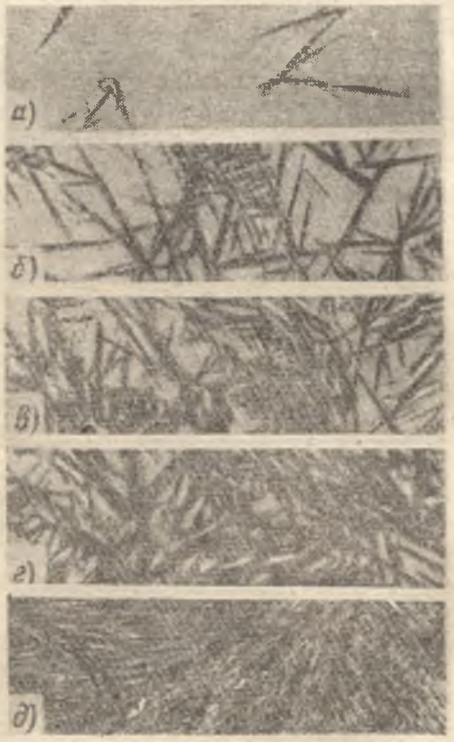
юмшоқ муҳитда ҳосил бўлади, бунда кучланишлар вужудга келмаганлигидан, перлит доналари юмалоқроқ шаклда бўлади. Паст температураларда эса аустенит эластик бўлади, бинобарин, бундай температураларда ҳосил бўлган бейнит доналари юмалоқ шаклга кира олмай, нина — жуда юпқа пластинка шаклида бўлади, чунки эластик муҳитда бейнит доналарининг юмалоқ шаклга кириши ва кристалларнинг ўсиши катта кучланишлар ҳосил бўлишига олиб боради.

Аустенитнинг изотермик парчаланиш тезлиги кристалланиш марказлари сонига ва кристалларнинг ўсиш тезлигига боғлиқ эканлиги юқорида айтиб ўтилди. Кристалланиш марказлари сони бир қатор фактор-



147- расм. С- эгри чизиқнинг бурилиш жойидан юқорида (705°С) аустенитнинг парчаланиш процесси (Э. Бейн):

а — аустенитнинг перлитга айлана бошлаш пайтидан 400 *сек* ўтгач; *б* — 1150 *сек* ўтгач; *в* — 1320 *сек* ўтгач; *г* — 1450 *сек* ўтгач; *д* — 4000 *сек* ўтгач. × 500.



148- расм. С- эгри чизиқнинг бурилиш жойидан пастда (260°С да) аустенитнинг парчаланиш процесси (Э. Бейн):

а — аустенитнинг парчалана бошлаш пайтидан 400 *сек* ўтгач; *б* — 500 *сек* ўтгач; *в* — 850 *сек* ўтгач; *г* — 900 *сек* ўтгач; *д*—2500 *сек* ўтгач. × 500

ларга боғлиқ бўлади, чунончи пўлатда эримаган заррачаларнинг бўлиши кристалланиш марказлари сонини оширади, чунки улар қўшимча марказлар вазифасини ўтайди, аустенит доналарининг йириклашуви кристалланиш марказлари сонини камайтиради. Кристалланиш марказлари, асосан, доналар чегарасида ҳосил бўлади. Майда донали пўлатда кристалланиш марказлари ҳосил бўлиш шароити йирик донали пўлатдагидан кўра яхшироқдир, негаки йирик доналар чегарасининг умумий узунлиги майда доналар чегарасининг умумий узунлигидан кичик бўлади.

Кристалларнинг ўсиш тезлиги юқорида айтиб ўтилган факторларга боғлиқ бўлмай, балки пўлатнинг таркибига, муайян таркибли пўлат учун эса ўта совиш даражасига боғлиқ бўлади.

Таркибидаги углерод миқдори эвтектоид пўлатдагига яқин бўлган пўлатлардагина аустенитнинг парчаланиш процессини кўриб ўтдик. Агар пўлатнинг таркибидаги углерод миқдори эвтектоид пўлатникидан кам бўлса, аустенитдан аввал феррит, агар ортиқ бўлса, аввал цементит ажралиб чиқади, шундан кейингина перлит ҳосил бўлади. Демак, эвтектоидгача бўлган пўлатларда аввал феррит ажралиб чиқади, бинобарин қолган аустенит углеродга бойийди, эвтектоиддан кейинги пўлатларда эса аввал цементит ажралиб чиқади ва қолган аустенитда углерод миқдори камаяди. Мувозанат шароитида аустенитдан перлит ҳосил бўлиши ортиқча феррит (эвтектоидгача бўлган пўлатларда) ёки ортиқча цементит (эвтектоиддан кейинги пўлатларда) ажралиб чиққандан кейин қолган аустенитдаги углерод миқдори Fe—Fe_3C диаграммасидаги *S* нуқтадагига (0,8% га) тенг бўлгандагина бошланади.

Энди ўта совитилган аустенитнинг парчаланишини кўриб чиқайлик.

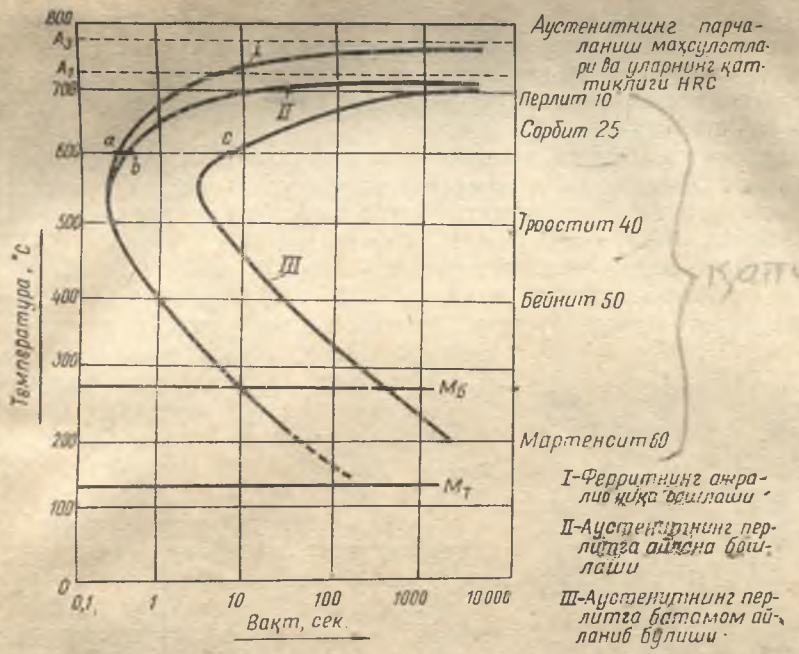
Ўта совитилган аустенитнинг парчаланиши. Fe—Fe_3C диаграммасидаги *ES* чизиғи аустенитнинг цементитга энг кўп тўйиниш чегарасини, *GS* чизиғи эса аустенитнинг ферритга энг кўп тўйиниш чегарасини кўрсатади (110-расмга қаранг). Демак, аустенитдан цементит *ES* чизиғидан ўнгроқда ва *ES* чизиғининг пастга томон кетган давомидан ўнгроқда — ўта совиган аустенит соҳасида, феррит эса *GS* чизиғидан чапроқда ва *GS* чизиғининг пастга томон кетган давомидан чапроқда — ўта совиган аустенит соҳасида ажралиб чиқади. Модомики шундай экан, аустенит феррит билан ҳам, цементит билан ҳам ўта тўйинган тақдирдагина аустенитдан бир вақтнинг ўзида феррит билан цементит ажралиб чиқади.

Ўта совиган аустенитдан ҳосил бўлган эвтектоид *квазиэвтектоид** деб аталади. Квазиэвтектоиднинг таркиби *S* нуқтадагидан фарқ қилади: эвтектоиддан кейинги пўлатлардаги квазиэвтектоидда углерод миқдори 0,8% дан ортиқ, эвтектоидгача бўлган пўлатлардаги квазиэвтектоидда эса 0,8% дан кам ва аустенитнинг парчаланиш температураси қанча паст бўлса, бу фарқ шунча катта бўлади. Бинобарин, аустенитнинг парчаланиш температураси қанчалик паст бўлса, шунча кам феррит (эвтектоидгача бўлган пўлатларда) ёки шунча кам цементит (эвтектоиддан кейинги пўлатларда) ажралиб чиқа олади. С-эгри чизиқнинг бурилиш жойига тўғри келадиган ва ундан паст температураларда аустенитнинг парчаланиш процессида ортиқча феррит ҳам, ортиқча цементит ҳам ажралиб чиқмайди.

149-расмда эвтектоидгача бўлган пўлат учун аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси тасвирланган. Бу диаграммадан айни пўлат учун ҳар қандай ўта совиш даражасида аустенитнинг изотермик парчаланиши тўғрисида асосий маълумотлар олиш мумкин. Масалан, пўлат 600°С гача ўта совитилса, бир қадар вақт ўтгач (*I* эгри чизиқдаги *a* нуқтада), аустенитдан ортиқча феррит ажралиб чиқа бошлайди, ортиқча феррит ажралиб чиқиб бўлгандан кейин *II* эгри чизиқдаги *b* нуқтада аустенитнинг перлитга айланиш процесси бошланади, бу процесс *III* эгри чизиқдаги *c* нуқтада тугалланади. Эвтектоидгача бўлган пўлатларда ҳар хил температураларда аустенитнинг парчаланишидан қандай структуралар ҳосил бўлиши ва уларнинг Роквелл билан ифодаланган қаттиқлиги 149-расмдаги диаграммада кўрсатилган. Эвтектоиддан кейинги пўлатларда кичик ўта совиш даражаларида аустенитнинг перлитга айланишидан олдин ундан ортиқча цементит ажралиб чиқади.

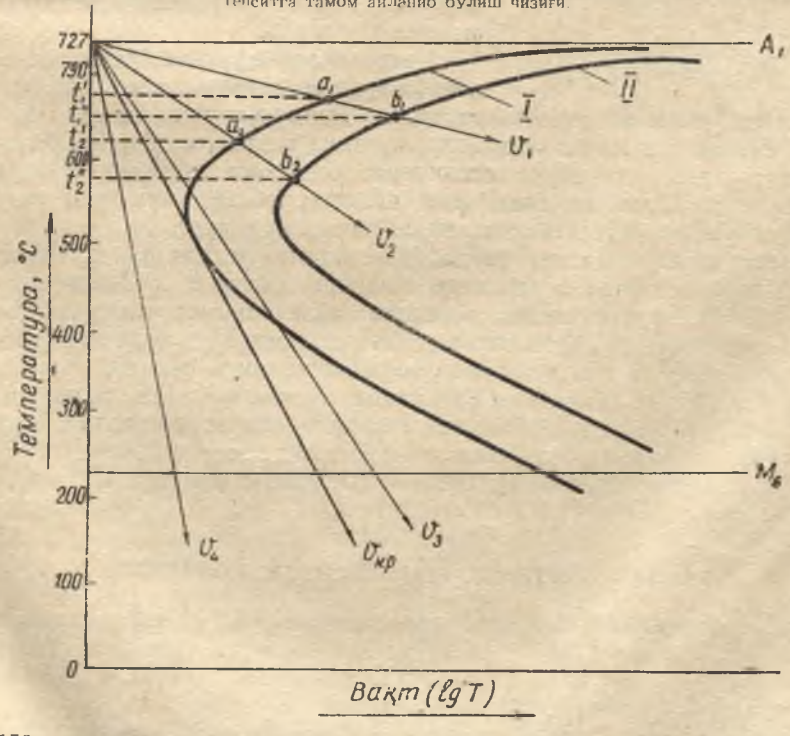
---

* *Квази* сўзи латинча бўлиб, *сохта* деган маънони билдиради ва баъзи сўзларнинг олд қўшимчаси сифатида ишлатилади. Квазиэвтектоид сохта эвтектоид демакдир



149- расм. Эвтектоидгача бўлган пўлат учун аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси:

$M_Б$ — аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш чизиғи; $M_Т$ — аустенитнинг мартенситга тамом айланиб бўлиш чизиғи.

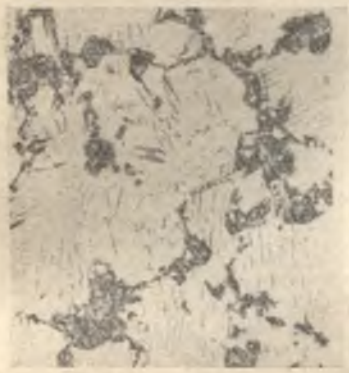


150- расм. Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасига совиш эгри чизиқларининг қўйилиши.

Ҳар хил температураларда (ҳар хил ўта совиш даражаларида) аустенитнинг изотермик парчаланиш процессини кўриб чиқдик. Энди пўлатни узлуксиз совитишда, яъни аустенит ҳолатигача қиздирилган пўлатни турлича тезлик билан совитишда аустенитнинг парчаланиш процессини кўриб чиқишга ўтсак бўлади.

Узлуксиз совитишда аустенитнинг парчаланиши. Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси температура — вақт координаталарида тузилади, буни юқорида айтиб ўтган эдик. Ана шу диаграммага совиш эгри чизиқларини ҳам қўямиз (150-расм).

Пўлатнинг секин совишини ифодалайдиган v_1 чизиқ *I* ва *II* чизиқларни a_1 ва b_1 нуқталарда кесиб ўтади. a_1 ва b_1 нуқталарга тўғри келадиган t_1' ва t_1'' температураларда аустенит йирикроқ донали ва қаттиқлиги паст перлитга айланади. Пўлат тезроқ совитилганда v_2 чизиқ *I* ва *II* чизиқларни пастроқ—a_2 ва b_2 нуқталарга тўғри келадиган t' ва t'' температураларда кесиб ўтади, бунда майдароқ донали ва қаттиқроқ маҳсулотлар ҳосил бўлади ва ҳоказо. Демак, пўлат қанчалик тез совитилса, аустенитнинг парчаланиш процесси шунчалик паст температурада боради, натижада, шунчалик майда ва шунчалик қаттиқ маҳсулотлар ҳосил бўлади. Агар пўлат катта тезлик билан, масалан, v_4 тезлик билан совитилса, аустенит $M_Б$ чизиқдан юқори температураларда ўзгаришга улгурмай, паст температураларгача ўта совийди, натижада, у мартенситга айланади. Бундай совитилган пўлат *тобланиб* қолади.



151-расм. Троостит билан мартенситдан иборат структура. × 500.

I эгри чизиққа уринма бўлган тезлик *тоблашнинг критик тезлиги* деб аталади, чунки бу тезлик пўлатни совитишда аустенитнинг мартенситга айланиши учун зарур бўлган энг кичик тезликдир, критик тезлик $v_{кр}$ билан белгиланади. Пўлат $v_{кр}$ дан катта барча тезликларда совитилса, аустенит тўғридан-тўғри мартенситга айланади. Бинобарин, пўлатни тоблаш учун уни критик тезлик ёки ундан катта тезлик билан совитиш зарур.

I эгри чизиқ қанчалик ўнгда бўлса, критик тезлик ($v_{кр}$) шунчалик кичик бўлади ва аустенитнинг перлитга айланиш процесси шунчалик секин боради. Демак, аустенитнинг перлитга айланиш процесси қанчалик секин борса, аустенитни мартенситга айланиш температурасигача ўта совитиш шунчалик осон ва критик тезлик шунчалик кичик бўлади.

Пўлат критик тезликдан сал кичик тезлик, масалан, v_3 тезлик билан совитилса, аустенит $M_Б$ чизиқдан юқори температураларда қисман парчаланади, пўлат структураси эса троостит билан мартенситдан иборат бўлади. Троостит билан мартенситдан иборат структура 151-расмда тасвирланган.

3-§. АУСТЕНИТНИНГ МАРТЕНСИТГА АЙЛАНИШИ

Аустенитнинг мартенситга айланишини бундай ифодалаш мумкин:

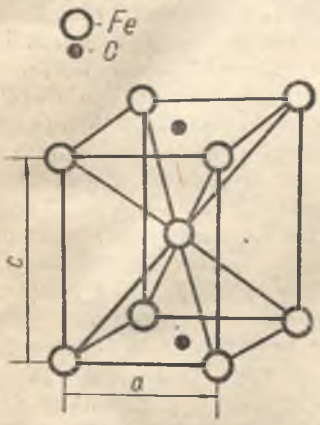
$$A \rightarrow M,$$

бу ерда A — аустенит; M — мартенсит.

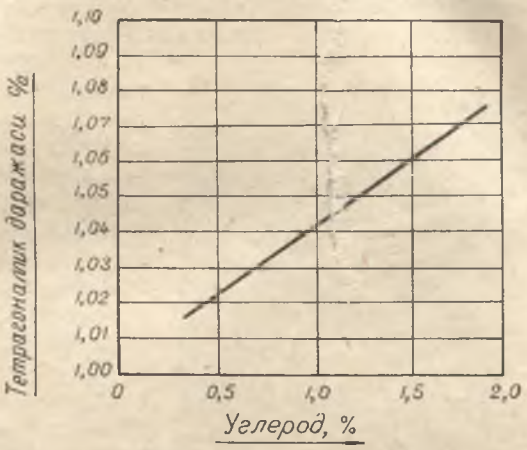
Агар аустенит γ-темир панжараси беқарор, аммо углероднинг диффузиланиш тезлиги ниҳоятда кичик бўладиган температурагача совитилса,

углерод ажралиб чиқмай, аустенитнинг кристалл панжараси ўзгаради, яъни унда Fe атомлари қайта тақсимланади, холос.

Аустенитнинг, яъни Feγ (C)нинг мартенситга, яъни Feα (C) га айланиши аустенитнинг эвтектоид парчаланишидан катта фарқ қилади. Аустенитнинг эвтектоид парчаланиши — перлитга айланиши диффузион парчаланишдир, чунки унда углероднинг диффузиланиши асосий роль ўйнайди. Аустенитнинг мартенситга айланиши диффузиясиз ўзгариш



152- расм. Мартенсит кристалл панжарасининг элементар катакчаси.



153- расм. Мартенсит кристалл панжараси тетрагоналлик даражасининг мартенситдаги углерод миқдорига боғлиқ эканлигини кўрсатувчи диаграмма.

бўлиб, бу процесс вақтида, юқорида айтиб ўтилганидек, углерод миқдори ўзгармай, фақат кристалл панжара ўзгаради(ёқлари марказлашган куб панжара ҳажми марказлашган тетрагонал панжарага айланади). Бинобарин, мартенсит углероднинг α-темирдаги қаттиқ эритмасидир.

Мартенситнинг табиатини жаҳонда биринчи бўлиб, Н. Я. Селяков, Н. Т. Гудцов ва Г. В. Курдюмов 1926 йилда текширган эдилар. Мувозанат шароитида α-темирда атиги 0,02% чамаси углерод эрийди, γ-темирда эрийдиган углерод миқдори эса ундан анча кўпдир. Аммо пўлат ўта совитилганда γ-темирда эриган углерод миқдори ўзгармай, фақат кристалл панжара ўзгарганлигидан, углероднинг бу миқдори α-темирда ҳам сақланиб қолади, яъни α- қаттиқ эритма углеродга ўта тўйинади. Бунинг натижасида ҳажми марказлашган куб панжаранинг бир параметри узайиб, тетрагонал панжарага айланади. Бундай панжаранинг элементар катакчаси 152-расмда тасвирланган.

Мартенсит кристалл панжарасининг тетрагоналлик даражаси, яъни $^{c}/_{a}$ нисбатнинг қиймати мартенситдаги углерод миқдорига тўғри пропорционалдир (153-расм). Мартенситдаги углерод миқдори қанчалик кўп бўлса, панжаранинг тетрагоналлик даражаси шунчалик катта ва, демак, панжара шунчалик ўзгарган бўлади.

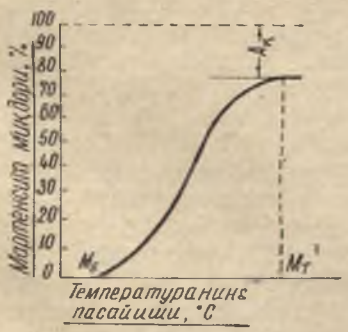
Аустенит кристалл панжарасининг мартенсит кристалл панжарасига айланиши натижасида пўлатнинг зичлиги камаяди, шунинг учун аустенит мартенситга айланганда ҳажм ортади, ҳажмнинг ортиши эса аустенитнинг мартенситга айланиш процессига катта таъсир этади.

Аустенитдан мартенситнинг ҳосил бўлиш сабабини қуйидагича тушунтириш мумкин.

Пўлат паст температураларгача ута совитилганда вужудга келадиган ички кучланишлар натижасида аустенит доналарида силжиш процесси содир бўлади. Силжиш текислиги бўйлаб атомларнинг сурилиши натижасида аустенитнинг кристалл панжараси ўзгаради ва, шунинг учун, силжиш текислигининг иккала томонида мартенситнинг юпқа пластинкалари ҳосил бўлади. Бу пластинкалар шлиф текислигида нина шаклида бўлиб кўринади, шу сабабли мартенсит структураси *нинасимон структура* деб аталади. Мартенсит пластинкалари ўзаро параллел бўлиши ҳам, бир-бири билан кесишган бўлиши ҳам мумкин (154-расм).



154- расм. Жуда йирик донали аустенитдаги мартенсит пластинкалари (ниналари). × 500.



155- расм. Мартенсит эгри чизиғи.

Силжиш текисликлари аввал бошда аустенит донасининг чегараларини кесиб ўтганлиги учун мартенситнинг дастлабки пластинкалари анча йирик бўлади. Мартенсит пластинкасининг силжиш текислигидан нарига томон ўсиши тўхтайди, чунки ҳажмнинг анча катталашуви ва ички кучланишларнинг ортуви натижасида аустенит панжараси билан мартенсит панжарасининг когерентлиги* бузилади, Г. В. Курдюмовнинг фикрига кўра эса аустенит панжараси билан мартенсит панжараси когерент бўлгандагина, яъни чегара сиртдаги атомлар бир вақтнинг ўзида ҳам аустенитнинг кристалл панжарасига, ҳам мартенситнинг кристалл панжарасига оид бўлгандагина мартенсит кристаллари ўса олади.

А. П. Гуляев ўтказган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, мартенситнинг ҳар бир пластинкаси қарийб бир онда: $1 \cdot 10^{-7}$ *сек* чамаси вақт ичида, бир неча юз ва бир неча минг пластинкалардан иборат порция эса $1 \cdot 10^{-3}$ *сек* ичида ҳосил бўлади, шундан кейин мартенсит ҳосил бўлиши тўхтайди. Қолган аустенитнинг мартенситга айланишини яна бошлаб юбориш учун пўлатни янада совитиш, яъни аустенитнинг ўта совиш даражасини ошириш керак. Аустенитнинг ўта совиш даражаси оширилганда янги силжиш текисликлари ва, демак, мартенситнинг янги пластинкалари ҳосил бўлади. Шундай қилиб, аустенитнинг мартенситга айланиш процесси вақтга эмас, балки температуранинг пасайишига боғлиқдир. Юқорида баён этилганларни мартенсит — температура координаталарида график тарзда ифодаласак, аустенитнинг мартенситга айланиш кинетик эгри чизиғи ҳосил бўлади. Бу эгри чизиқ *мартенсит эгри чизиғи* деб аталади. Ана шундай эгри чизиқ 155- расмда тасвирланган.

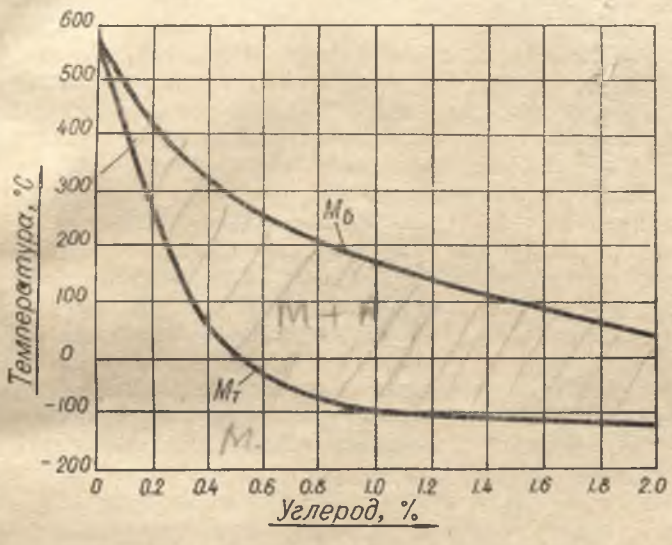
Мартенсит эгри чизиғидан яққол кўриниб турибдики, айни пўлатда аустенитнинг мартенситга айланиш процесси $M_б$ нуқтада бошланади**. Температура пасайган сари ҳосил бўлган мартенсит миқдори ортиб боради. Аустенитнинг мартенситга айланиш процесси $M_т$ температура-

* *Когерентлик* сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси *боғланиш* демакдир.

** $M_б$ нуқта метастабил фазалар мувозанати температурасидан тахминан 200°С паст бўлади.

да тўхтайди, яъни бу температурада маълум миқдор аустенит мартенситга айланмай қолади. Бу қолдиқ аустенит 155- расмдаги эгри чизиқда $A_к$ билан кўрсатилган.

Аустенитдан мартенсит порциялаб ҳосил бўлиши юқорида айтиб ўтилди. Модомики шундай экан, мартенсит эгри чизиғи, аслида, жуда кўп поғоналардан, яъни жуда кўп синиқ чизиқлардан тузилиши керак. Аммо ҳар қайси элементар процесс бир онда ($1 \cdot 10^{-3}$ *сек* ичида) борганлиги ва бунда жуда оз миқдорда мартенсит ҳосил бўлганлиги учун мартенсит эгри чизиғи силлиқ эгри чизиқ тарзида ифодаланади.



156- расм. Мартенсит диаграммаси.

Аустенитнинг мартенситга айланиш процессининг бошланиш температураси ($M_Б$) ва тамом бўлиш температураси ($M_Т$) пўлатнинг таркибига айниқса кучли боғлиқдир. Пўлатда углерод миқдорининг ўзгариши $M_Б$ ва $M_Т$ температуралар оралиғининг ўзгаришига ва, демак, аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидаги *I* ва *II* эгри чизиқлар (142- расмга қаранг) вазиятининг ўзгаришига олиб келади. Пўлатда углерод миқдори қанча кўп бўлса, аустенитнинг мартенситга айланиш процесси шунча паст температурада бошланиб, шунча паст температурада тамомланади. Углерод миқдори билан $M_Б$ ва $M_Т$ температуралар орасидаги боғланишни ифодалайдиган диаграмма *мартенсит диаграммаси* деб аталади. Бундай диаграмма 156- расмда тасвирланган.

Пўлатда углерод миқдорининг ортиши $M_Б$ ва $M_Т$ температураларни тез пасайтиради. Таркибида 0,5% ва ундан ортиқ углерод бўлган пўлатда аустенитнинг бир қисми мартенситга нолдан паст температураларгина айланади. Шу сабабли аустенитни мартенситга тўлароқ айлантириш учун таркибида 0,5% дан ортиқ углерод бўлган пўлатларни нолдан паст температураларгача совитиш зарур. Термик ишлашнинг 1937 йилда А. П. Гуляев текширган бу усули *совуқ билан ишлаш* деб аталади. Совуқ билан ишлаш усулидан қолдиқ аустенитнинг миқдорини камайтириш учун фойдаланилади. Бу усул аустенитнинг мартенситга айланиш процессининг бошланиш ва тамом бўлиш температуралари

($M_Б$ ва $M_Т$) оралиғи паст температуралар соҳасига томон анча силжиган пўлатлар учун яхши самара беради.

Энди, аустенитдан мартенсит ҳосил бўлиш процессига бошқа факторларнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Химиявий элементлардан баъзилари аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температурасини пасайтиради, шунинг учун таркибида анчагина миқдор углерод ва бошқа баъзи элементлар бўлган пўлатларда аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температураси нолдан паст бўлади (бу тўғрида VIII бобнинг 1-параграфида батафсилроқ баён этилади). Бундай пўлатларни тоблаш йўли билан тоза аустенит структураси ҳосил қилиш мумкин. Демак, мартенситнинг ҳосил бўлиш температураси, асосан, аустенитнинг таркибига боғлиқдир.

Аустенит $v_{кр}$ тезликдан жуда юқори (1000—10000 *град/сек*) тезликкача тўхтовсиз совитилса, аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температурси ($M_Б$) пасаймайди, бу нарса, проф. А. П. Гуляев айтганидек, тажриба йўли билан исботланган. Агар аустенит нисбатан барқарор ҳолатда бўладиган, яъни диффузион парчаланиш тезлиги жуда кичик бўладиган температурагача ўта совитилиб, сўнгра совитиш жуда секин (минутига ~ 3° тезлик билан) давом эттирилса, С. С. Штейнберг исботлаганидек, аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температураси аустенит секундига 10 000° тезлик билан узлуксиз совитилгандаги $M_Б$ температурага тахминан баравар бўлади. Бинобарин, *аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температураси совитиш тезлигига боғлиқ бўлмас экан.*

Совитиш тезлиги аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температурасига таъсир этмаслигини кўрдик, аммо у аустенитдан мартенсит ҳосил бўлиш процессига таъсир этади. $M_Б$ температурадан тахминан 100°С пастроқда пўлат секин совитилса, аустенитнинг мартенситга айланиш даражаси каттароқ бўлади. Бунинг сабаби шуки, $M_Б$ температурадан сал пастда аустенит ўзгармас температурада мартенситга айлана олади. $M_Б$ нуқтадан тахминан 100°С пастда, яъни аустенитдан анчагина миқдор мартенсит ҳосил бўлгандан кейин пўлат тез совитилса, аустенит мартенситга тўлароқ айланади. Бунинг сабаби аустенитнинг стабилланиши (барқарорланиши) деб аталадиган ҳодисадир. Аустенитнинг мартенситга айланиш процессининг охирида пўлат маълум вақт тутиб турилса, қолдиқ аустенитнинг мартенситга айланиш хусусияти пасаяди. Пўлат секин совитилганда аустенитни стабилловчи процесслар содир бўлишга маълум даражада улгуради ва аустенитнинг мартенситга айланиши сусаяди. Аустенитнинг стабилланиши, афтидан, кучланишларнинг камайиши билан боғлиқдир. Пўлат қанча кўп тутиб турилса, кучланишларнинг камайиш даражаси шунчалик юқори бўлади ва аустенитдан мартенсит ҳосил бўлиш процессининг давом этиши учун зарур кучланишлар тўплаш мақсадида пўлатни шунчалик тез совитиш талаб этилади.

Бинобарин, мартенсит эгри чизиғида яна бир нуқта — температура бор экан. Бу температурадан юқорида пўлатни тутиб туриш ва секин совитиш аустенитнинг мартенситга айланиш процессини тезлатади, пастда эса, аксинча, сусайтиради.

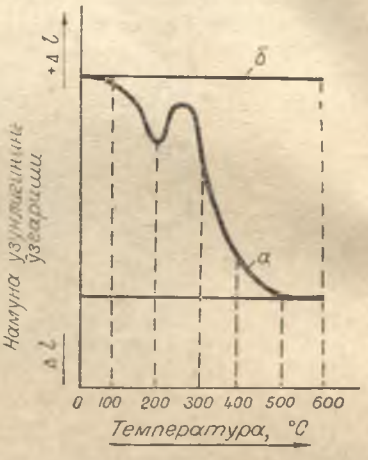
157-расмда тобланган пўлатдаги мартенситнинг микроскопик тузилиши (нинасимон мартенсит) тасвирланган.

Тобланган пўлатдаги қолдиқ аустенит миқдори аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температураси $M_Б$ га боғлиқ. Бу температура қанча паст бўлса, қолдиқ аустенитнинг миқдори шунча кўп бўлади. Пўлатда углерод миқдорининг ортиши билан $M_Б$ температура пасаяди ва,

ситнинг ўзгарганлигини, намуна ҳажмининг ортиши (намунанинг кенгайиши) эса фақат аустенитнинг ўзгарганлигини кўрсатади. Тобланган пўлат намунаси ҳажмининг (узунлигининг) температурага қараб ўзгаришини кўрсатувчи график *дилатометрик эгри чизиқ* деб аталади. Бундай эгри чизиқ 159- расмда тасвирланган.

Агар юмшатилган пўлат намунаси дилатометрда* қиздирилганда, пўлатда ўзгариш бўлмаса, асбоб горизонтал тўғри чизиқ чизади** (159- расмдаги *б* чизиқ). Тобланган пўлатда *а* эгри чизиқнинг *б* горизонтал чизиқдан оғиши пўлатда қандайдир ўзгаришлар бўлганлигини кўрсатади.

Тобланган пўлат қиздирилганда унда тўртта ўзгариш содир бўлади. Ана шу ўзгаришларни кўриб чиқайлик.



159- расм. Дилатометрик эгри чизиқ:

а — тобланган пўлат; *б* — юмшатилган пўлат.

159- расмда тасвирланган эгри чизиқдан кўриниб турибдики, пўлат намунаси тахминан 80°С гача қиздирилганда унда ҳеч қандай ўзгариш содир бўлмайди. Намуна 80°С дан тахминан 200°С гача қиздирилганда у қисқаради. Бу ўзгариш *биринчи ўзгаришдир*. 80°С дан 200°С гача бўлган температуралар оралиғида мартенсит кристалл панжарасининг *с* параметри анча қисқаради, яъни панжаранинг тетрагоналлик даражаси кичраяди. Пўлатни паст температурада бўшатиш натижасида панжарасининг тетрагоналлик даражаси *(с/а* нисбат) 1 га яқинлашиб қолган мартенсит *бўшатилган мартенсит* деб аталади. Мартенсит кристалл панжарасининг тетрагонал шаклида бўлиши унда ферритдагидан кўпроқ миқдорда углерод эриганлигидан келиб чиқишини юқорида айтиб ўтган эдик. Демак, панжара тетрагоналлик даражасининг кичрайишига бирдан-бир сабаб мартенситдан углероднинг қисман ажралиб чиқишидир. Мартенситдан ажралиб чиққан углерод жуда майда беқарор карбид кристаллари таркибида бўлади. Бу карбиднинг химиявий формуласи эса Fe_2C га яқин келади. Беқарор карбид юқори (300—400°С) температураларда цементитга айланади.

Шундай қилиб, бўшатилган мартенсит карбиднинг жуда майда кристаллари билан α-қаттиқ эритма аралашмасидан иборатдир.

Тетрагонал мартенситдан бўшатилган мартенсит ҳосил бўлиш процесси 200°С температурада тугалланмайди. Г. В. Курдюмов ўтказган тадқиқотларнинг кўрсатишича, пўлат бундай паст температураларда бўшатилганда ажралиб чиққан карбид пластинкалари α-қаттиқ эритмадан (тетрагонал мартенситдан) батамом ажралган бўлмайди. Карбиднинг кристалл панжараси мартенситнинг кристалл панжарасига муайян кристаллографик текислик бўйлаб ёпишган, яъни бу текислик-

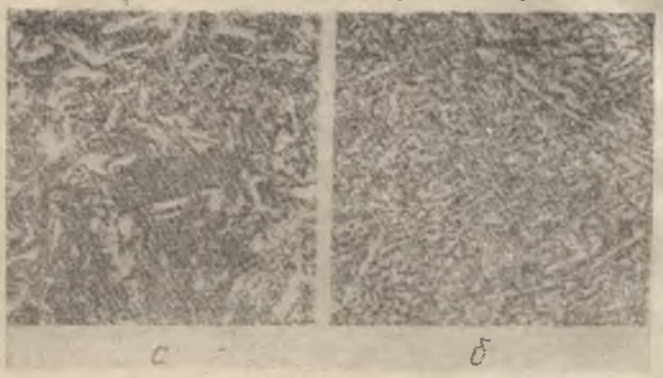
---

* *Дилатометр* сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси *ҳажм ўлчагич* демакдир. Бу асбоб металлшуносликда пўлат намуналари қиздирилганда ёки совитилганда улар узунлигининг ўзгаришини ўлчашда, физикада эса критик нуқталарни, чизиқ бўйлаб кенгайиш коэффициентини ва бошқаларни аниқлашда ишлатилади.

** Асбобнинг дифференциал схемаси туфайли намунанинг температура кўтарилиши натижасида ҳосил бўладиган кенгайиши акс эттирилмайди.

даги атомлар мартенсит панжарасига ҳам, карбид панжарасига ҳам тааллуқли бўлади. Мартенсит панжараси билан карбид панжарасининг бир-бирига боғланганлиги (когерентлиги) юқорироқ температураларда бузилиб, карбид мартенситдан батамом ажралади.

Пўлат 200 дан 300°С гача қиздирилганда у кенгаяди. Бу ўзгариш пўлатни бўшатишда содир бўладиган *иккинчи ўзгаришдир.* 200°С билан 300°С оралиғида қолдиқ аустенит ўта тўйинган α-қаттиқ эритма (мартенсит) билан карбиддан иборат гетероген (ҳар хил жинсли) меха-



160- расм. Бўшатилган пўлатнинг микроструктуралари×500:
а — бўшатиш троостити; *б* — бўшатиш сорбити.

ник аралашмага — бўшатилган мартенситга айланади. Бу ўзгариш диффузион ўзгаришдир, чунки қолдиқ аустенит концентрациялари турлича бўлган икки фазага ажралади. Иккинчи ўзгариш, ўз табиати жиҳатидан олганда, бирламчи аустенитнинг бейнитга айланишига ўхшайди.

300°С температурада, яъни иккинчи ўзгаришнинг охирида α-қаттиқ эритма таркибида 0,15—0,20% углерод бўлади. Температура 300°С дан оширилганда *учинчи ўзгариш* содир бўлади, яъни α-қаттиқ эритмадаги углероднинг ҳаммаси ажралиб чиқади ва олдинги ўзгаришларда вужудга келган ички кучланишлар йўқолади. Айни замонда карбид α-қаттиқ эритмадан ажралиб, цементит (Fe_3C) га айланади. Пўлатни бўшатишда содир бўладиган учинчи ўзгариш 400°С да тугайди ва пўлат феррит билан цементитнинг жуда майда аралашмасидан иборат бўлиб қолади. Бу аралашма *бўшатиш троостити* деб аталади. Бўшатиш троостити (160- расм, *а*) ўз табиати жиҳатидан, тоблаш троститига ўхшайди, чунки уларнинг иккаласи ҳам феррит билан цементитнинг жуда майда аралашмасидан иборатдир. Аммо бўшатиш троостити тоблаш троститидан таркибидаги цементитнинг шакли жиҳатидан фарқ қилади. Тоблаш троститидаги цементит заррачалари пластинка шаклида бўлса, бўшатиш троститидаги цементит сфероид шаклидадир. Иккала троостит цементитларининг шакли бошқа-бошқа бўлганлиги учун бу троститларнинг механик хоссалари ҳам турлича бўлади.

Температура 400°С дан оширилганда *тўртинчи ўзгариш* содир бўлади, яъни троститдаги цементит доналари йириклашиб, олдин *бўшатиш сорбити* (160- расм, б), сўнгра эса донадор перлит ҳосил бўлади.

Юқорида баён этилган температура оралиқлари (80—200°С, 200—300°С, 300—400°С ва 400—600°С) углеродли пўлатни секин қиздириш йўли билан бўшатишга оиддир. Агар пўлат тез қиздирилса, юқорида айтиб ўтилган ўзгаришлар температураси юқорироқ бўлади.

Айтиб ўтилган процесслар мартенсит пластинкалари ичида содир бўлганлигидан, пўлатнинг нинасимон тузилиши бўшатишнинг анча юқори температураларида ҳам сақланиб қолади.

6-§. ТОБЛАНГАН ПЎЛАТНИ БЎШАТИШНИНГ ПЎЛАТ ХОССАЛАРИГА ТАЪСИРИ

Тобланган пўлат бўшатилганда унинг структураси ўзгаради, бинобарин, механик хоссалари ҳам ўзгариб кетади.

Таркибида 0,5% дан ортиқ углерод бўлган пўлат тоблангандан кейин жуда қаттиқ бўлиб қолади, аммо унинг пластиклиги пасаяди.



161- расм. Пўлат қаттиқлигининг углерод миқдорига ва тоблашда қиздириш температурасига қараб ўзгариш эгри чизиқлари:

I — Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланган пўлат; *II* — Ac_1 критик нуқтадан юқори (Ac_1 + 30°С) температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланган пўлат.

Пўлатнинг тобланганда қаттиқ бўлишига сабаб шуки, мартенсит кристалл панжарасининг тетрагоналлик даражаси катталашади. Пўлат таркибидаги углерод миқдори қанча кўп бўлса, мартенсит панжарасининг тетрагоналлик даражаси шунча катта ва, демак, тобланган пўлатнинг қаттиқлиги шунча юқори бўлади.

Тобланган пўлат қаттиқлигининг углерод миқдорига ва тоблашда қиздириш температурасига боғлиқ эканлигини кўрсатувчи эгри чизиқлар 161- расмда тасвирланган.

Тобланган пўлат 400°С дан юқори температурада бўшатилса, унинг структураси феррит билан цементитдан иборат бўлади. Ферритнинг пухталиги (қаттиқлиги) паст ва пластиклиги юқори, цементитнинг эса пластиклиги паст ва қаттиқлиги юқоридир. Шу сабабли, бўшатилган пўлатнинг қаттиқлиги бир оз пасайиб, пластиклиги ортади.

Пўлатда цементит заррачаларининг сони ундаги углерод миқдорига тўғри пропорционалдир. Таркибида 0,35% углерод бўлган пўлатда тахминан 5%, таркибида 0,7% углерод бўлган пўлатда эса 10% цементит бўлади. Демак, пўлатда углерод миқдорининг ортиши билан унинг қаттиқлиги (пухталиги) ортиб, пластиклиги камаяди (123- расмга қаранг). Пўлатдаги углерод миқдори бир хил бўлганда цементит

заррачаларининг сони шу цементитнинг майдалик даражасига тўғри пропорционал бўлади, цементит эса пўлатни термик ишлаш йўли билан майдаланади.

Бинобарин, пўлатнинг механик хоссалари термик ишлаш усулларига боғлиқ бўлар экан.

Пўлатни бўшатиш температураси кўтарилганда, пўлатни тоблашда совитиш тезлиги пасайтирилганда ёки аустенитнинг изотермик парчаланиш температураси кўтарилганда цементит доналари йириклашиб, пўлатнинг пухталиги пасаяди.



162- расм. Аустенит доналаридаги мартенсит пластинкаларн (ниналари). × 500.

Пўлат қанчалик қаттиқ бўлса, унинг пластиклиги шунчалик паст бўлади. Пўлатнинг қаттиқлигидан ташқари, пластиклиги ҳам катта аҳамиятга эга. Аммо қаттиқлиги бир хил бўлган пўлатларнинг пластиклиги ҳар хил бўлиши ҳам мумкин, бу нарса пўлатнинг тузилишига ва мартенсит пластинкаларининг майда-йириклигига боғлиқдир. Аммо мартенсит пластинкаларининг (ниналарининг) майда-йириклиги шу мартенситни ҳосил қилган аустенитнинг тузилишига боғлиқ. Мартенсит пластинкалари аустенит донаси ичида ўсади. Демак, аустенит доналари қанчалик йирик бўлса, уларнинг ичида шунчалик узун мартенсит пластинкалари (ниналари) ҳосил бўлади ва, аксинча, аустенит доналари қанчалик майда бўлса, уларнинг ичида шунчалик майда мартенсит ниналари ҳосил бўлади. Буни 162- расмда тасвирланган микроскопик фотографиядан яққол кўриш мумкин.

Мартенсит пластинкалари йириклашган сари унинг пластиклиги ва, айниқса, қовушоқлиги анча пасаяди.

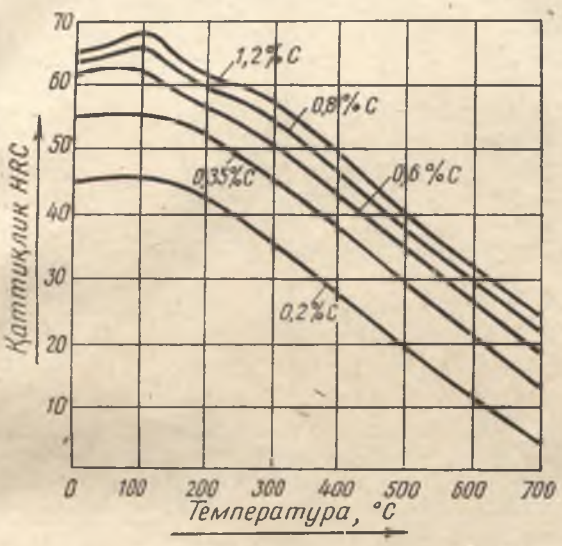
Пўлатнинг барча механик хоссаларини яхшилаш учун пўлат тобланган кейин унда майда нинали структура ҳосил бўлишига ҳаракат қилинади, бундай структура эса, юқорида айтиб ўтилганидек, ўзгаришдан олдинги аустенитнинг доналари майда бўлгандагина ҳосил қилинади. Маълумки, аустенитнинг изотермик парчаланиш температураси қанча паст бўлса, феррит билан цементит аралашмасининг заррачалари шунчалик майда ва, демак, пўлат шунчалик қаттиқ бўлади. Бинобарин, аустенитнинг ~700°С температурада парчаланишидан ҳосил бўлган маҳсулот — перлитнинг қаттиқлиги аустенитнинг ~650°С температурада парчаланишидан ҳосил бўлган маҳсулот — сорбитнинг қаттиқлигига қараганда, сорбитнинг қаттиқлиги трооститнинг қаттиқлигига қараганда, трооститнинг қаттиқлиги бейнитнинг қаттиқлигига қараганда, бейнитнинг қаттиқлиги эса аустенитнинг энг паст температурада ўзгаришидан ҳосил бўлган мартенситнинг қаттиқлигига қараганда паст бўлади (149-расмга қаранг).

Пўлатнинг тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейинги хоссалари диққатга сазовордир, чунки амалда деталлар тобланган кейин албатта бўшатилади. Шунинг учун, бўшатилган пўлатнинг хоссалари билан батафсилроқ танишиб чиқамиз.

Таркибида ҳар хил миқдорда углерод бўлган пўлатларнинг қаттиқлиги билан бўшатиш температураси орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар 163- расмда тасвирланган. Тобланган пўлатни бўшатиш-

да пўлат қаттиқлигининг ўзгариши бу вақтда пўлатнинг тузилишида содир бўладиган ўзгаришлардан келиб чиқади.

Тобланган пўлат паст (100°С гача) температураларда бўшатилганда унинг қаттиқлиги ё ўзгармайди (кам углеродли пўлатларда) ёки жуда оз ўзгаради (кўп углеродли пўлатларда), бу ҳол 163-расмдан яққол кўриниб турибди. Температура оширила борса, пўлатнинг қат-



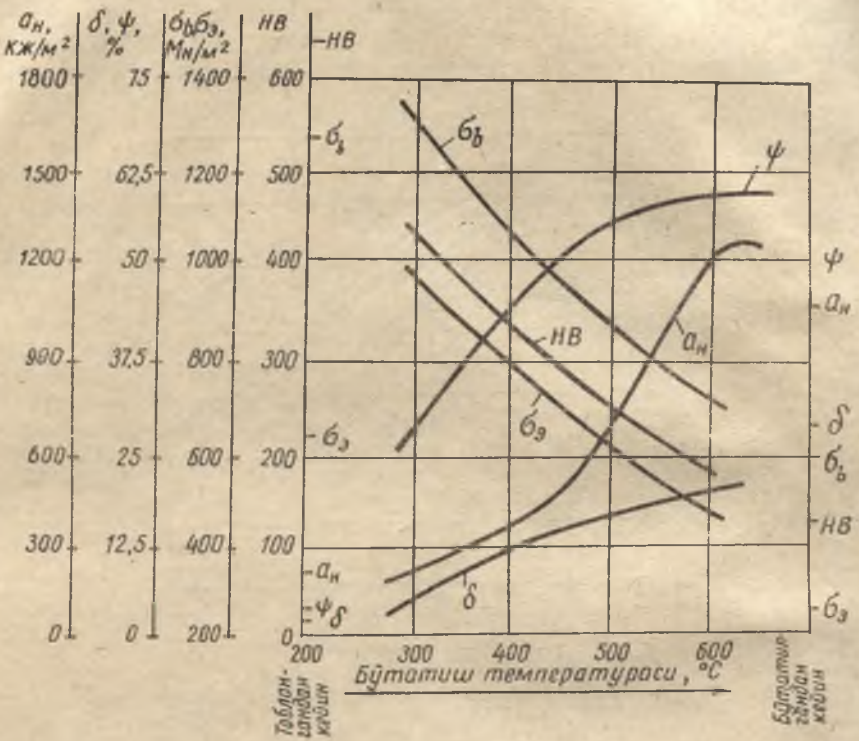
163-расм. Таркибида ҳар хил миқдорда углерод бўлган пўлатларнинг қаттиқлиги билан бўшатиш температураси орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар (Г. В. Курдюмов).

тиқлиги пасая боради, чунки карбид заррачалари йириклашиб, α-қаттиқ эритмадаги углерод миқдори камаяди. 200—250°С температуралар соҳасида, яъни қолдиқ аустенитнинг ўзгариш температураларида кўп углеродли пўлатларнинг қаттиқлиги озроқ ортади, чунки бунда тетрагонал мартенсит ва қолдиқ аустенит ўрнига бўшатилган мартенсит ҳосил бўлади. Бўшатиш температураси янада оширилса, феррит билан карбид аралашмаси ҳосил бўлиб, бу аралашма заррачалари йириклаша боради, шунинг учун пўлатнинг қаттиқлиги бир текисда пасаяди, пластиклик кўрсаткичлари эса оша боради.

Пўлат механик хоссаларининг бўшатиш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 164-расмда тасвирланган.

Бўшатиш температурасининг кўтарилиши натижасида пўлатнинг қаттиқлиги *(HB)*, мустаҳкамлик чегараси ($\sigma_в$) ва эластиклик чегараси ($\sigma_э$) пасайиб, пластиклик кўрсаткичлари (δ, φ ва $a_н$) ортади. Пўлат 300°С температурагача қиздирилиб бўшатилса, унинг мустаҳкамлик ва эластиклик чегаралари тобланган кейингидагига қараганда катта бўлади. Бўшатиш температураси пасайган сари бу кўрсаткичларнинг қиймати пасая боради. Пўлат 650°С температурада бўшатилса, унинг пластиклик кўрсаткичлари, яъни нисбий торайиши (φ) ва зарбий қовушоқлиги ($a_н$) энг юқори бўлади. Пўлат 650°С дан юқори температураларда бўшатилса, унинг пластиклик кўрсаткичлари (φ, $a_н$) пасайиб боради.

Тобланган ва юқори температурада бўшатилган пўлатда механик хоссаларнинг юмшатилган ва нормалланган пўлатдагига қараганда анча юкори бўлишининг сабаби шуки, бўшатиш сорбитининг тузилиши



164- расм. 40 маркали пўлат механик хоссаларининг бўшатиш температурасига қараб ўзгариши. Диаграмманинг чап ёнида пўлатнинг тобланган кейинги механик хоссалари, ўнг ёнида эса юмшатилгандан кейинги механик хоссалари чизиқчалар билан кўрсатилган.

тоблаш сорбитининг тузилишидан фарқ қилади: юқорида айтиб ўтилгандек, бўшатиш сорбити донадор тузилишда, тоблаш сорбитининг тузилиши эса пластинкасимон бўлади. Пўлатни икки қайта термик ишлаш, яъни олдин тоблаб, сўнгра юқори температурада бўшатиш пўлатнинг барча механик хоссаларини анча яхшилайди, шунинг учун бундай икки қайта термик ишлаш *пўлатни яхшилаш* деб аталади. Пўлатни яхшилаш конструкцион пўлатларни термик ишлашнинг асосий туридир.

Легирланган баъзи пўлатлардан фарқли ўлароқ, углеродли пўлатларнинг механик хоссалари бўшатиш температурасигача қиздирилган пўлатни совитиш тезлигига боғлиқ бўлмай, фақат бўшатиш температурасига ва бўшатиш процессининг давом этишигагина боғлиқдир.

7- §. ПЎЛАТНИНГ ТОБЛАНГАНДАН КЕЙИН ЭСКИРИШИ

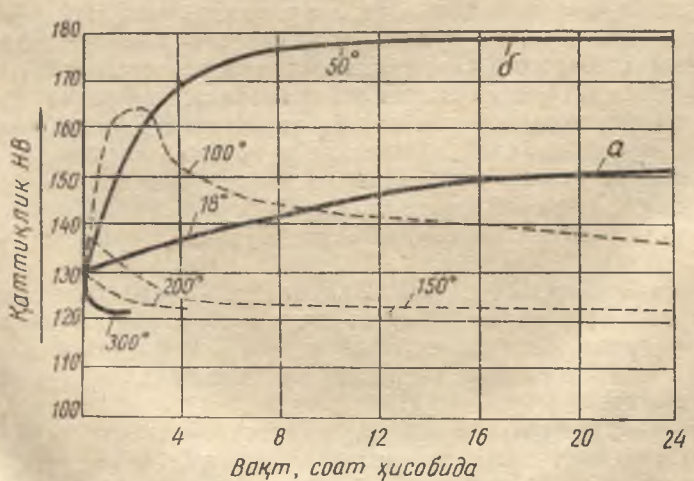
Қотишмалар хоссаларининг вақт ўтиши билан ўз-ўзидан, яъни ташқи факторлар таъсирисиз (нормал температурада) ўзгариш процесси *табиий эскириш* деб, ташқи фактор таъсирида (бир оз қиздириш йўли

билан) ўзгариш процесси эса *сунъий эскиртириш* деб аталади. Қандай процесс содир бўлишига қараб, қотишмаларнинг эскириши ҳам турлича бўлади. Масалан, йирик қуймалар, айниқса, чўян қуймалари нормал температурада узоқ вақт турса, ундаги ички кучланишлар камаяди, яъни қуймалар эскиради. Аммо қотишма тобланган дан кейин узоқ вақт турса, ундаги беқарор (мувозанатда бўлмаган) фазаларда ўзгариш процесслари содир бўлади, бунинг натижасида ҳам қотишма эскиради, эскиришнинг бу тури энг кўп учрайди; бундай эскириш ҳам характери жиҳатидан ҳар хил бўлиши мумкин. Биз бу ерда тобланган пўлатларнинг эскириш турларинигина кўриб ўтамиз.

Юмшоқ (таркибида углерод кам бўлган) пўлатнинг эскириши (дисперсион қаттиқлашуви). Эскиришнинг бу тури таркибида углерод миқдори кўп бўлмаган (юмшоқ) пўлатларга хосдир. Бундай пўлатлар амалда оддий темир деб қаралади, аммо бу фикр нотўғри фикрдир, чунки эскириш процесси α-темирда углерод эриганлигидан келиб чиқади. Ферритнинг углеродга тўйиниш чегараси Fe—Fe_3C диаграммасида *PQ* чизиги билан ифодаланади. Бу ерда α-темирда эриган углерод миқдори 0,02% дан (727°С да) 0,008% гача (нормал температурада) ўзгаради. Таркибида 0,008% дан ортиқ (масалан, 0,02%) углерод бўлган қотишма секин совитилганда ферритдан учламчи цементит ($Ц_{III}$) ажралиб чиқади:

$$Ф \quad Ц_{III}$$

Агар бундай пўлат *PQ* чизигидан юқори температурагача, масалан, 730°С гача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин тез совитилса, пўлат тобланади. Нормал температурада бундай пўлат таркибида 0,02% углерод бўлган ферритдан, яъни α-қаттиқ эритмадан иборат бўлади. Бу пўлат беқарордир, чунки таркибидаги углероднинг 0,008% дан ортиқчаси α-темир панжарасидан учламчи цементит тарзида ажралиб чиқа бошлайди. Ферритдан учламчи цементитнинг ажралиб чиқиш процесси пўлатнинг эскириш (чиниқиш) процессидир. Бу процесс натижасида тобланган пўлатнинг қаттиқлиги вақт ўтган сари ошиб боради (165- расм, *а*).



165- расм Тобланган пўлат хоссаларининг вақт ўтиши билан ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма.

Бу процессда пўлатнинг қаттиқлиги икки сабабга кўра ортади: биринчидан, α-қаттиқ эритмадаги ортиқча углерод атомлари α-панжарадан чиқа бошлаб, панжарани ўзгартиради; иккинчидан, ҳосил бўладиган жуда майда учламчи цементит заррачалари дисперс фаза ҳосил қилади. Бу фаза пўлат қаттиқлигини *дисперсликнинг критик даражаси* деб аталадиган чегарагача ошириб боради. Шунинг учун пўлатнинг бундай эскириши *дисперсион қаттиқлашув* деб аталади.

Эскиришнинг бу тури ҳолат диаграммасида қаттиқ эритманинг тўйинишини ифодалайдиган ва қотишма совитилганда эрувчанлик чегарасининг камайишига тўғри келадиган чизиғи бўладиган барча системаларда ҳам содир бўлиши мумкин.

Пўлатнинг дисперсион қаттиқлашувига қаттиқ эритмадан карбиднинг дисперс заррачалари ажралиб чиқишигина сабаб бўлиб қолмай, балки бошқа химиявий бирикмалар, масалан, нитрид, фосфид ва бошқа бирикмалар ҳам сабаб бўлиши мумкин.

Пўлатнинг эскириш (дисперсион қаттиқлашув) процесси одатдаги температурада, баъзан, жуда секин боради. Бундай ҳолларда пўлатни озроқ қиздириш дисперсион қаттиқлашув процессини тезлатади. 165-расмда нормал температурада (18°С да) эскириш эгри чизиғи *а* ҳарфи билан кўрсатилган, пўлатнинг 50°С гача қиздирилганда эскириши *б* ҳарфи билан кўрсатилган. Тобланган пўлат қиздирилганда шу пўлат қаттиқлигининг ошуви *а* ва *б* эгри чизиқларни бир-бирига таққослашдан яққол кўриниб турибди.

Пўлат озроқ қиздирилганда борадиган эскириш сунъий эскириш бўлади, чунки бунда ташқи фактор (қиздириш) таъсир қилади. Пўлатни сунъий эскиртириш аслини олганда, уни паст температурада бўшатиш демакдир. Аммо бу иккала процессни бир-биридан фарқ қилиш керак, чунки тобланган пўлат бўшатилганда, кўпинча, унинг қаттиқлиги пасаяди, сунъий эскиртирилганда эса унинг қаттиқлиги ошади.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, пўлатни бўшатишда қиздириш температураси сунъий эскиртириш температурасидан баланд бўлади. Юқорида айтиб ўтилганидек, пўлатни сунъий эскиртиришда унинг қаттиқлиги маълум чегарагача, яъни дисперсликнинг критик даражасига тўғри келадиган чегарагача ошиб боради, дисперслик даражаси (ажралиб чиқадиган учламчи цементит заррачаларининг майдалик даражаси) бу чегарадан ўтганда, пўлатнинг қаттиқлиги пасаяди. Юмшоқ пўлат қиздирилганда ажралиб чиқадиган учламчи цементитнинг дисперс заррачалари температура қанчалик юқори бўлса, шунчалик тез йириклашади ва температура маълум даражага етганда цементит заррачалари шу қадар йириклашадики, натижада пўлатнинг қаттиқлиги пасая боради. Демак, бу температура пўлатни эскиртириш температураси эмас, балки бўшатиш температурасидир, яъни шу ва ундан юқори температурада пўлатнинг эскириши билан бўшаши орасида фарқ қолмайди.

165- расмда пўлат 100°, 150°, 200° ва 300°С температурагача қиздирилганда қаттиқлигининг ўзгариш эгри чизиқлари тасвирланган. Бу эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, 150°С температурада пўлатнинг қаттиқлиги сезилмайдиган даражада кўтарилиб, дарҳол пасаяди, яъни пўлат бўшайди.

Қаттиқ (таркибида кўп углерод бўлган) пўлатнинг эскириши. Кам углеродли (юмшоқ) пўлатларнинг тобланғандан кейин эскириши, яъни дисперсион қаттиқлашувини кўриб ўтдик. Энди эскириш процессининг кўп углеродли (қаттиқ) пўлатларда қандай бориши билан танишиб чиқайлик.

Таркибида углерод миқдори кўп бўлган пўлатларда ҳам эскириш процесси бориши керак, чунки ҳар қандай пўлатда ҳам феррит бўлади. Аммо бу процессни кўп углеродли пўлат тобланганда аустенитнинг парчаланиб, қаттиқлиги ферритнинг дисперсион қаттиқлашувидан келиб чиқадиган қаттиқликка қараганда анча юқори бўлган мартенситга айланиш процесси ёпиб кетади. Кўп углеродли пўлатларнинг эскириши пўлат тобланганда ҳосил бўлган тетрагонал мартенситнинг бўшатилган мартенситга айланиш процесси билан боғлиқдир. Тетрагонал мартенситнинг бўшатилган мартенситга айланиш процесси одатдаги температурада ҳам боради, аммо бу процесс бир неча ой ва, ҳатто, бир неча йил давом этади. Ана шу процесс кўп углеродли тобланган пўлатнинг эскириш процессидир. Кам углеродли тобланган пўлатнинг эскириш процесси пўлатни озроқ қиздириш йўли билан тезлатилиши мумкин бўлгани каби, бу процесс ҳам кўп углеродли тобланган пўлатни озроқ қиздириш, яъни сунъий эскиртириш йўли билан тезлатилиши мумкин.

8-§. ПЎЛАТНИНГ СОВУҚЛАЙИН БОСИМ БИЛАН ИШЛАНГАНДАН КЕЙИН ЭСКИРИШИ

Пўлат совуқлайин босим билан ишланганда, яъни пластик деформацияланганда унинг пухталаниши (унда наклёп ҳосил бўлиши) III бобнинг 4-параграфида айтиб ўтилган эди. Пластик деформация натижасида пухталанган кам углеродли пўлат унча юқори бўлмаган (200—400°С) температурагача қиздирилса, пўлатда қайтиш процесси содир бўлмай, яъни пўлатнинг пухталиги пасаймай, балки унда тескари процесс боради: пўлатнинг қаттиқлиги, мустаҳкамлик чегараси ва эластиклик чегараси озроқ кўтарилиб, пластиклиги пасаяди. Пўлатнинг механик хоссаларида содир бўладиган бундай ўзгаришлар эскириш ҳодисаси юз берганлигидан келиб чиқади. Эскириш процесси кам углеродли пўлатнинг зарбий қовушоқлигини жуда пасайтириб юборади.

Пухталанган пўлатнинг эскириши, асосан, углеродга ўта тўйинган α-қаттиқ эритмадан (ферритдан) жуда майда заррачаларнинг (карбид, нитрид, оксид заррачаларининг) ажралиб чиқиши билан боғлиқдир. Ферритдан ажралиб чиқадиган бу заррачалар жуда майда бўлганлиги учун, дастлаб, пўлат пухталанади, чунки заррачалар феррит доналарининг сирпаниш текислиги бўйича ажралиб чиққанлигидан деформацияни қийинлаштиради, яъни феррит доначаларининг силжишига тўсқинлик қилади, температура оширилганда эса заррачалар йириклашиб, уларнинг деформацияга таъсири пасаяди. Пўлатнинг *кўкиш тусда синувчанлиги* деб аталадиган ажойиб бир ҳодисанинг сабаби ҳам эскириш процессидир. Гап шундаки, пўлат 200—400°С чамаси температурагача қиздирилганда (бундай температураларда пўлат сирти кўкиш тусга киради — кўкиш тусда синувчанлик деган ном ана шундан келиб чиққан) пўлат (юмшоқ пўлат) ўз пластиклигини йўқотади. Бу ҳодиса, афтидан, пухталанган пўлатда 200—400°С температураларда эскириш процессининг тез содир бўлишидан келиб чиқса керак.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, совуқлайин босим билан ишланган (пухталанган) пўлатнинг эскириш процесси қиздирилгандагина эмас, баъзан, одатдаги (нормал) температурада ҳам боради. Аммо бунда эскириш процесси бир неча ҳафта ва ундан ортиқ вақт давом этади. Пухталанган пўлатнинг эскириши натижасида пўлат зарбий қовушоқлигининг пасайиб кетиши, амалий жиҳатдан олганда, баъзан, масалан, буғ қозонлари тайёрланадиган пўлат учун жуда хавфлидир.

Юмшоқ пўлатнинг баъзи навларида эскиришга мойиллик бўлмаганлигидан, совуқлайин босим билан ишланган пўлатнинг эскиришга қанчалик мойиллиги синаб кўрилади. Эскириш процесси нормал температурада узоқ вақт давом этганлиги учун пўлатнинг эскиришга мойиллиги уни кўкиш тусда синувчанлик температурасигача қиздириб, сўнгра синалади, чунки бундай температурагача қиздирилганда пўлат тез эскиради.

III. ПЎЛАТНИ ТЕРМИК ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Пўлатни термик ишлаш назарияси билан қисқача танишиб чиқдик. Энди пўлатни термик ишлаш технологияси, яъни практикаси билан танишиб чиқишга ўтайлик.

1-§. ПЎЛАТНИ ЮМШАТИШ

Пўлатни Ac_3 ёки Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздириб, сўнгра секин (узлуксиз ёки тўхтаб-тўхтаб) совитиш процесси *юмшатиш* деб аталади.

Пўлатни юмшатишдан кўзда тутиладиган мақсад унинг доналарини майдалаштириш, қаттиқлигини пасайтириб, кесиб ишланиш хусусиятини яхшилаш, пластиклигини ошириш, ички кучланишларини йўқотиш, тузилиш жиҳатидан гетерогенликлигини йўқотиш ёки камайтириш, пўлатни навбатдаги термик ишлашга тайёрлашдан иборатдир.

Пўлатни юмшатишдан кўзда тутиладиган мақсадга кўра, юмшатиш икки турга бўлинади. Булардан бири *биринчи тур юмшатиш* бўлса, бошқаси *иккинчи тур юмшатишдир*. Биринчи тур юмшатишда пўлат фаза ўзгариши температурасидан (A_1 критик нуқтадан) паст температурагача, иккинчи тур юмшатишда эса фаза ўзгариши температурасидан (A_1 ёки A_3 критик нуқтадан) юқори температурагача қиздирилади. Биринчи тур юмшатиш *рекристаллизацион юмшатиш, паст температурада юмшатиш* ва *юқори температурада бўшатиш* деб ҳам аталади. Иккинчи тур юмшатишга тўла юмшатиш, чала юмшатиш, сфероидловчи юмшатиш ва диффузион юмшатиш киради. Пўлатни совитиш шароитига кўра, юмшатиш икки хил бўлади, булардан бири узлуксиз совитиш йўли билан юмшатиш бўлса, иккинчиси ўзгармас температурада (изотермик) юмшатишдир.

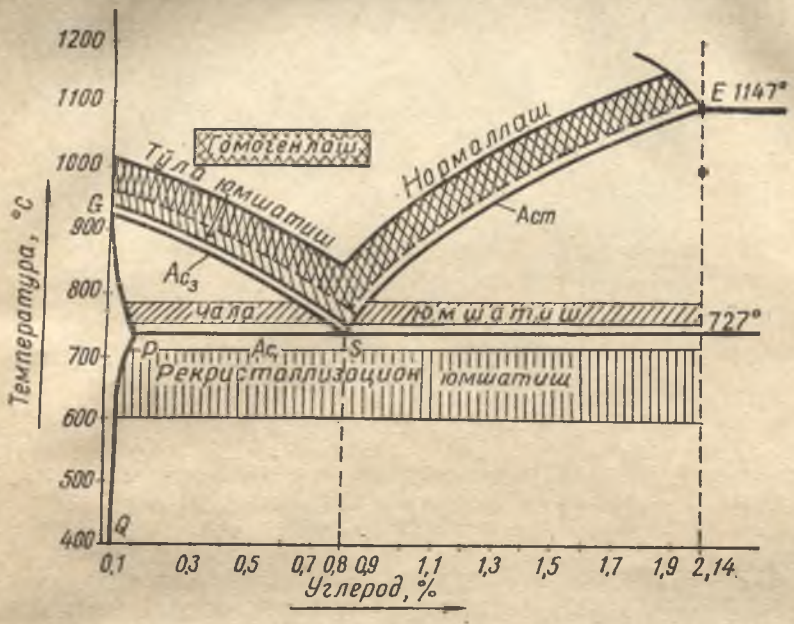
Пўлатни юмшатишнинг юқорида айтилган турларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқамиз.

Биринчи тур юмшатиш. Юмшатишнинг бу туридан кўзда тутиладиган мақсад совуқлайин босим билан ишланган пўлатда ҳосил бўлган ички кучланишларни йўқотиш, пўлатнинг қаттиқлигини пасайтиришдан иборат. Биринчи тур юмшатишда пўлат рекристалланиш температурасидан юқори температурагача (600° дан 727°С гача) қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин секин совитилади. Қиздириш температураси қанча юқори бўлса, ички кучланишларни йўқотиш учун пўлат шунча оз вақт тутиб турилади.

Иккинчи тур юмшатиш. Иккинчи тур юмшатишдан кўзда тутиладиган мақсад пўлат доналарини майдалаштириш, барқарор ва анча юмшоқ структура ҳосил қилиш, дендрит ликвацияни йўқотиш ва бошқалардан иборат. Бу турга кирувчи юмшатиш хилларини кўриб чиқайлик.

Тўла юмшатиш. Тўла юмшатишда пўлат темир—цементит диаграммасидаги *GSE* (Ac_3 ва Acm) чизиғидан 20—30°С юқори темпера-

турагача қиздирилиб (166-расм), сўнгра секин совитилади. Одатда, эвтектоидгача бўлган ва эвтектоид пўлатларгина тўла юмшатилади. Эвтектоиддан кейинги пўлатни эса чала юмшатиш амалий жиҳатдан



166- расм. Ҳар хил тур юмшатишда қиздириш температураси.

олганда энг мақбулдир. Тўла юмшатиш усулидан қиздириб туриб босим билан ишланган пўлатларни ва баъзи қуймаларни қайта кристаллаш учун фойдаланилади. Тўла юмшатиш натижасида пўлатнинг доналари майдалашиб, феррит билан перлит бир текис тақсимланади (167-расм).

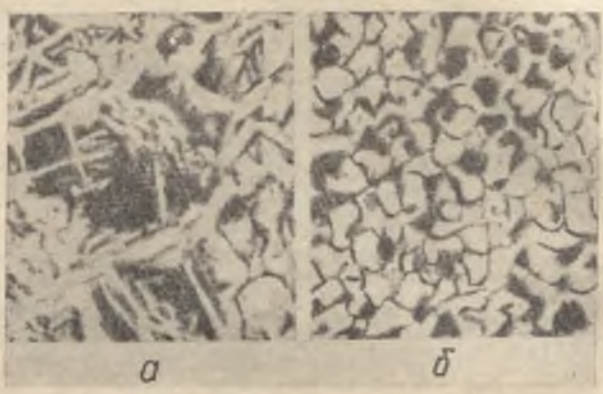


167- расм. Эвтектоидгача бўлган пўлатнинг микроскопик тузилиши:
а — юмшатишдан олдин; *б* — юмшатилгандан кейин.

Фасон қуймалар, кўпинча, таркибида 0,1 дан 0,5% гача углерод бўлган пўлатлардан тайёрланади; бундай қуймалар йирик доналардан — перлитнинг йирик пластинкалари билан ферритнинг йирик доналари ёки тўридан иборат бўлади. Қуймаларда, жуда кўпчилик ҳолларда,

*видманштеттен структураси** деб аталадиган структура учрайди (168-расм, *а*).

Видманштеттен структурали пўлат юмшатилгандан кейин унинг структураси феррит билан перлитнинг майда доналаридан иборат бўлиб қолади (168-расм, *б*), натижада қуйма пўлатнинг қовушоқлиги ошади.



168-расм. 40 маркали пўлатнинг микроскопик тузилиши:
а — юмшатишдан олдин (видманштеттен структураси);
б — юмшатилгандан кейин.

Қиздириб туриб босим билан ишланган (прокатка қилинган) пўлат тўла юмшатилса, унинг пухталиги пасайиб, қовушоқлиги ошади.

Қиздириб туриб босим билан ишланган қуйма пўлат юмшатиш температурасидан юқорироқ ($Ac_3+30\div50°C$) температурада ва 1,5—2 баравар узоқроқ тутиб туриш йўли билан юмшатилади.

Чала юмшатиш. Чала юмшатишда эвтектоидгача бўлган пўлатлар Ac_1 критик нуқта билан Ac_3 критик нуқта орасидаги температурагача, эвтектоиддан кейинги пўлатлар эса Ac_1 критик нуқта билан Acm критик нуқта орасидаги температурагача қиздирилади. Чала юмшатишда фақат перлит қайта кристалланиб, эвтектоидгача бўлган пўлатларда феррит, эвтектоиддан кейинги пўлатларда эса цементит ўзгармай қолади. Чала юмшатиш усулидан, асосан, эвтектоиддан кейинги пўлатларни юмшатишда фойдаланилади. Эвтектоидгача бўлган пўлатлардан прокатланган ва болғаланган буюмларгина чала юмшатилади. Бунда чала юмшатишдан кўзда тутиладиган мақсад перлитни қайта кристаллаш ва ички кучланишларни йўқотишдан иборат. Чала юмшатиш учун эвтектоидгача бўлган пўлатлар 780—800°С температурагача қиздирилади. Чала юмшатиш тўла юмшатишдан кўра тежамлироқдир, чунки чала юмшатишда пўлат тўла юмшатишдагига қараганда анча паст температурагача қиздирилади.

Сфероидловчи юмшатиш (донадор цементит ҳосил қилиш). Эвтектоиддан кейинги пўлатлар учун энг яхши структура донадор перлитдир, донадор перлитда эса перлит цементити ҳам, ортиқча цементит ҳам доналар тарзида бўлади. Эвтектоиддан кейинги донадор перлит структурали пўлатлар пластинкасимон перлит структу-

* Перлитнинг йирик пластинкалари билан ферритнинг бир-бирига қия жойлашган йирик пластинкалари (баъзан, ниналари) дан иборат структура. Бу структурани, дастлаб, метиорит темирида *Видманштеттен* деган олим топганлиги учун унинг номи билан аталган. Аммо металлшуносликка оид бошқа адабиётда, нотўғрироқ бўлса ҳам, *видманштетт структураси* деган термин кўпроқ ишлатилади.

рали пўлатлардан юмшоқроқ ва қовушоқроқ бўлиб, кесиб ишланиш хусусияти энг юқоридир. Эвтектоидгача бўлган пўлатлар феррит билан пластинкасимон перлитдан тузилган тақдирдагина уларни кесиб ишлаш энг осон бўлади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, эвтектоидгача бўлган пўлатларда донадор перлит ҳосил қилиш ниҳоятда қийин. Шу сабабли, сфероидловчи юмшатиш усули эвтектоиддан кейинги пўлатларга ва легирланган, масалан, хромли пўлатларга татбиқ қилинади.

Бу хилдаги юмшатишнинг сфероидловчи юмшатиш деб аталганлигига сабаб шуки, пўлатни юмшатиш натижасида пластинкасимон цементит сфероид шаклига киради.

Эвтектоиддан кейинги пўлатларни майда донали қилиш учун улар Ac_1 критик нуқтадан сал юқори температурагача қиздирилади. Бунда α-қаттиқ эритма γ-қаттиқ эритмага батамом айланади. Демак, сфероидловчи юмшатиш чала юмшатишнинг ўзидир; бу процессда пўлат 740—760°С температурагача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин секин совитилади. Сфероидловчи юмшатиш натижасида пластинкасимон цементит сфероидал цементитга айланишининг сабаби шуки, пўлат Ac_1 критик нуқтадан озроқ юқори температурагача қиздирилганда перлит аустенитга айланади, ортиқча цементит эса ўзгармай қолади, яъни гетероген структура ҳосил бўлади. Проф. А. П. Гуляевнинг тадқиқотларига кўра, гетероген структуранинг ўзгариши натижасида ҳамма вақт донадор перлит ҳосил бўлади, чунки эримай қолган (ортиқча) кўпдан-кўп цементит заррачалари (кристалланиш марказлари) донадор (сфероидал) цементит ҳосил бўлишига олиб келади. Донадор перлит ҳосил қилиш учун пўлат Ac_1 нуқтадан сал юқори температурагача қиздирилиши керак, чунки температура ундан кўтарилиб кетса, ортиқча цементит заррачалари (кристалланиш марказлари) аустенитда эриб, бир жинсли аустенит ҳосил қилади, бир жинсли аустенитдан эса ҳамма вақт пластинкасимон перлит ҳосил бўлади.

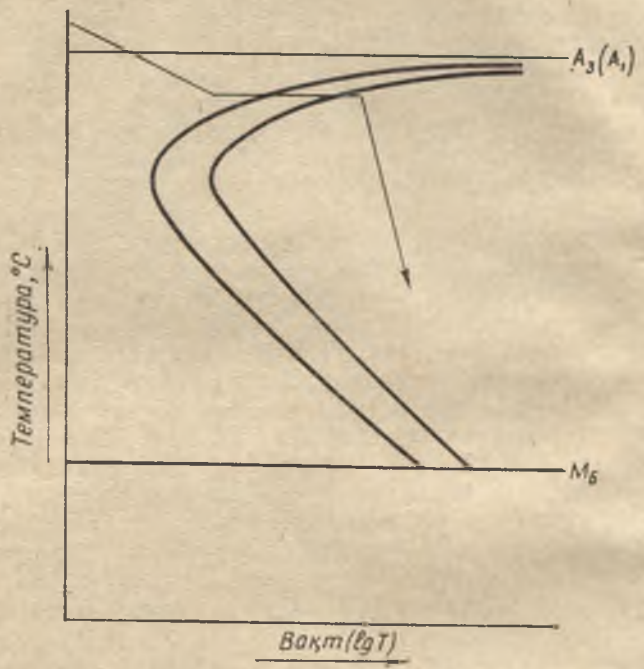
Сфероидловчи юмшатиш вақтида пўлат қанчалик секин совитилса, шунчалик йирик цементит доналари ҳосил бўлади. Сфероидловчи юмшатиш вақтида пўлат 700—650°С гача соатига 20—60°С тезлик билан совитилиб, баъзан, озроқ тутиб турилади-да, сўнгра ҳавода совитилади. Баъзи пўлатларда донадор перлитнинг ҳосил бўлиши жуда қийин, шунинг учун, сфероидловчи юмшатишнинг одатдаги режимида пластинкасимон перлитнинг фақат бир қисмигина донадор перлитга айланади. Пластинкасимон перлитнинг донадор перлитга айланишини осонлаштиришнинг йўли *такрор (циклик) юмшатиш* деб аталадиган усулдан фойдаланишдир. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, бунда одатдаги сфероидловчи юмшатиш бир неча марта такрорланади. Бундай такрор юмшатишда ҳар бир олдинги циклда ҳосил бўлган цементит заррачалари кристалланишнинг қўшимча марказлари бўлади, бунинг натижасида эса донадор перлит ҳосил бўлиши осонлашади.

Пўлат Ac_1 критик нуқтадан сал паст температурагача қиздирилганда ҳам пластинкасимон перлит донадор перлитга айланиши мумкин, аммо бунда пўлатни Ac_1 нуқтадан сал паст температурада узоқ вақт тутиб туриш, баъзан эса печь билан бирга совитиш керак бўлади, шунинг учун бу усулдан амалда камдан-кам фойдаланилади. Бу усулнинг ўрнига изотермик юмшатиш усулидан фойдаланиш маъқулроқ.

Агар эвтектоиддан кейинги пўлатда цементит тўр ҳолида бўлса, пўлатни юмшатишдан олдин цементит тўри йўқотилиши керак. Цементит тўрини йўқотиш учун эса пўлат Ac_m критик нуқтадан (темир — цементит диаграммасидаги SE чизиқдан) юқори температурагача қиздири-

лади, бунда цементит тўри аустенитда эриб, гомоген аустенит ҳосил бўлади, шундан кейин пўлат тезроқ (ҳавода) совитилса, цементит тўри қайта ажралиб чиқишга улгура олмай қолади.

Диффузион юмшатиш (гомогенлаш). Қуйма пўлатнинг таркиби, одатда, бир жинсли бўлмайди — пўлатда дендрит ва зонал ликвациялар бўлади. Бундай пўлатни бир жинсли қилиш (гомогенлаш)



169- расм. Пўлатни изотермик юмшатиш схемаси.

учун у Ac_3 критик нуқтадан 180—300°C юқори температурагача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт (12—15 соат) тутиб турилгандан кейин секин совитилади. Пўлатни термик ишлашнинг бу тури *диффузион юмшатиш* ёки *гомогенлаш* деб аталади. Пўлат юқори температурагача (1000—1100°C гача) қиздирилиб, шу температурада узоқ вақт тутиб турилганда унинг доналари анча йириклашади ва, шунинг учун, диффузион юмшатилган қуйма пўлат структураси йирик донали бўлади. Бундай пўлатни майда донали қилиш учун у қўшимча равишда термик ишланади, яъни одатдаги усул билан юмшатилади. Агар прокатланадиган ёки болғаланадиган қуймалар диффузион юмшатилган бўлса, уларни иккинчи марта юмшатишга ҳожат қолмайди, чунки йирик доналар пластик деформация вақтида майдаланади.

Изотермик юмшатиш. Изотермик юмшатишда эвтектоидгача бўлган пўлат Ac_3 критик нуқтадан, эвтектоиддан кейинги пўлат эса Ac_1 критик нуқтадан 20—30°C юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра Ar_1 нуқтадан 50—100°C паст температурагача тез совитилади ва аустенит феррит билан цементитга батамом парчалангунча шу температурада тутиб турилади. Изотермик юмшатишнинг одатдаги юмшатишдан афзаллиги шундаки, пўлатни изотермик юмшатишда вақт кам кетади ва гомогенлик даражаси анча юқори структура ҳосил бўлади.

Изотермик юмшатишда ўзгармас температурада тутиб туриш нуқтаси пўлатнинг структурасига ва хоссаларига таъсир этади. Бу нуқта (температура) қанчалик паст, яъни ўта совиш даражаси қанчалик юқори бўлса, цементит доналари шунчалик майда, бинобарин, перлитнинг дисперслик даражаси шунчалик юқори бўлади.

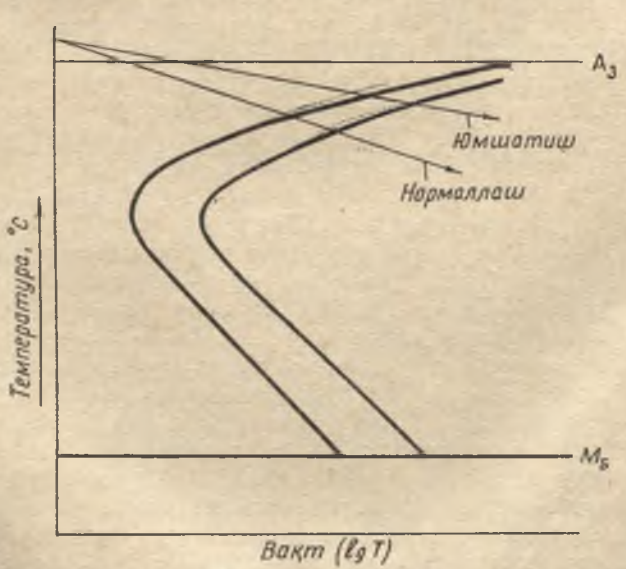
Пўлатни изотермик юмшатиш процесси, одатда, икки печда ёки температура зоналари ҳар хил бўлган битта печда ўтказилади, бу печларнинг бирида ёки печнинг бир зонасида деталлар $A_3(A_1)$ нуқтадан юқори температурагача қиздирилади, сўнгра температураси A_1 нуқтадан пастроқ бўлган иккинчи печга ёки печнинг иккинчи зонасига ўтказилади. Бу печда (зонада) температура бир хил бўлиб туради ва пўлат изотермик юмшайди. Изотермик юмшатиш схемаси 169-расмда тасвирланган.

2-§. ПЎЛАТНИ НОРМАЛЛАШ

Эвтектоидгача бўлган пўлатларни Ac_3 критик нуқтадан, эвтектоиддан кейинги пўлатларни эса Acm критик нуқтадан 30—50°С юқори температурагача қиздириб, сўнгра ҳавода совитиш процесси *нормаллаш* деб аталади.

Нормаллашдан кўзда тутиладиган асосий мақсад эвтектикагача бўлган пўлатларда майда донали структура ҳосил қилиш, эвтектоиддан кейинги пўлатларда эса ички кучланишларни ва наклёпни йўқотиш, пўлатни узил-кесил термик ишлашдан, совуқлайин штамплашдан ёки кесиб ишлашдан олдин унда гомоген структура ҳосил қилиш, иккиламчи цементит турини йўқотишдан иборатдир.

Пўлат таркибидаги углерод миқдорига қараб, нормалланган кейин унинг структураси ва, демак, механик хоссалари ҳам ҳар хил бўлади. Таркибида углерод миқдори кам (0,2—0,3%) бўлган пўлатлар нормалланганда, уларнинг структураси, худди юмшатилгандаги каби, феррит билан перлитдан иборат, аммо юмшатилгандагига қараганда



170-расм. Юмшатиш ва нормаллаш схемаси.

майдароқ донали бўлади. Шунинг учун ҳам нормалланган пўлатнинг пухталиги юмшатилган пўлатникига қараганда юқорироқ, пластиклиги эса пастроқ бўлади.

Нормаллашда зарур температурагача қиздирилган пўлат юмшатишдагига қараганда анча тез совитилади (170-расм). Демак, нормаллаш процесси юмшатиш процессига қараганда анча тежамлидир, шунинг учун кам углеродли пўлатлар юмшатилмай, балки фақат нормалланади. Таркибидаги углерод миқдори ўртача бўлган пўлатлар ҳамда кам легирланган пўлатлар нормалланганда уларда сорбитсимон перлит ёки сорбит ва феррит ҳосил бўлади; ферритнинг миқдори пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ (тескари пропорционал) бўлади. Нормалланган бундай пўлатларнинг қаттиқлиги ва пухталиги юмшатилгандагига қараганда анча юқоридир.

Нормаллаш усулидан фасон қуймаларга термик ишлов беришда ҳам, болғаланган, прокатланган буюмларга термик ишлов беришда ҳам фойдаланилади. Цементитланган деталлар ҳам нормалланади.

Кўп легирланган пўлатлар нормалланган кейин уларнинг структураси мартенситдан иборат бўлади, шунинг учун бундай пўлатларни нормаллаш тоблаш ўрнига ўтади.

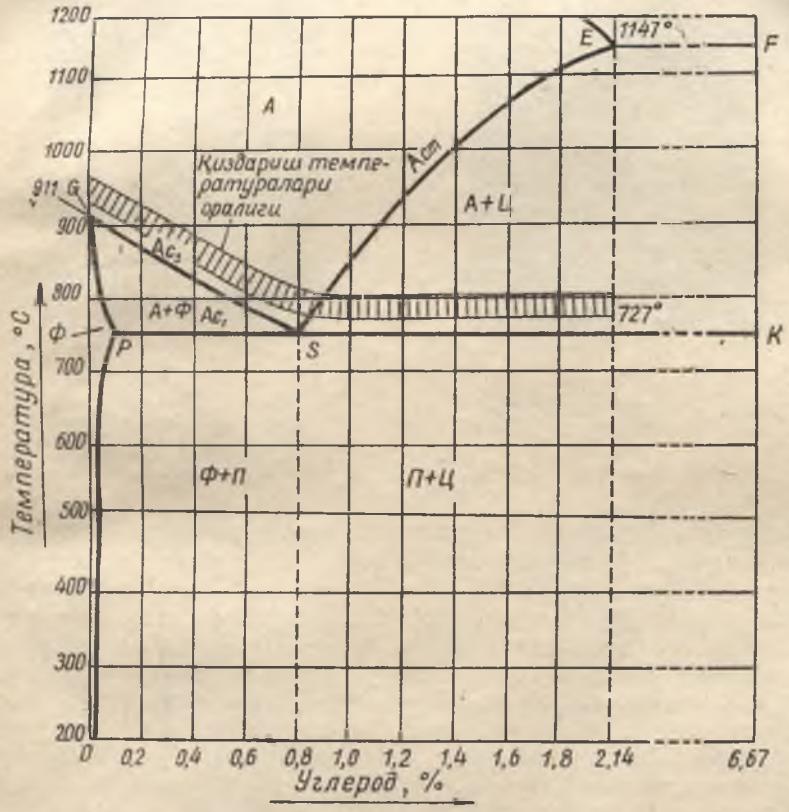
3-§. ПЎЛАТНИ ТОБЛАШ

Пўлатни маълум (Ac_3 ёки Ac_1 критик нуқталардан юқори) температурагача қиздириб, шу температурада зарур ўзгариш бўлгунча тутиб турилгандан кейин уни тез совитиш процесси *тоблаш* деб аталади. Пўлатни тўғри тоблаш учун, қиздириш температурасини, шу температурада тутиб туриш вақтини ва совитиш шароитини тўғри танлай билиш керак.

Қиздириш температурасини танлаш. Тоблашда пўлатни қиздириш температураси Fe — Fe_3C диаграммасидаги A_1 ва A_3 критик нуқталарнинг вазиятига боғлиқ бўлади. Эвтектоидгача бўлган пўлат учун қиздириш температураси темир — цементит диаграммасидаги (171-расм) *GS* чизиғидан (Ac_3 критик чизиқдан) 30—50°С юқори, эвтектоиддан кейинги пўлат учун эса *SK* чизиғидан (Ac_1 критик чизиқдан) 30—50°С юқори қилиб олинади. Пўлат ана шу температурагача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин тез совитилса (тобланса), майда нинасимон тузилишдаги мартенсит ҳосил бўлади. Эвтектоидгача бўлган пўлат Ac_3 билан Ac_1 нуқталар орасидаги температурагача қиздириш йўли билан тобланса, қиздириш вақтида ферритнинг бир қисми аустенитга айланмай қолади ва тобланган пўлат структураси мартенсит билан ферритдан иборат бўлади (172-расм). Бундай тоблаш *чала тоблаш* деб аталади. Чала тобланган пўлатда сақланиб қолган феррит пўлатнинг қаттиқлигини ва бўшатилгандан кейинги механик хоссаларини пасайтиради. Шу сабабли термик ишлашнинг бу усулидан фойдаланмаслик керак.

Эвтектоиддан кейинги пўлатни тоблашда уни Ac_3 (Acm) критик нуқтадан паст, аммо Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздириш яхши натижа берди, чунки бундай пўлат Ac_3 (Acm) нуқта билан Ac_1 нуқта орасидаги температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланса, цементитнинг бир қисми сақланиб қолади (173-расм), цементит эса кўп жиҳатдан фойдалидир. Масалан, ортиқча цементит пўлатнинг қаттиқлигини ва ейилишга чидамлилик хусусиятини оширади. Acm температурадан юқори температурагача қиздириш ярамайди, чунки бунда пўлатнинг қаттиқлиги ошмайди, балки ортиқча цементитнинг эриши ва қолдиқ аустенитнинг ортиши оқибатида пасаяди. Пўлат бундай қизди-

рилганда аустенит доналари йириклашиб, ички кучланишлар ҳосил бўлиш эҳтимоли кучаяди, пўлатнинг сирти тез углеродсизланади. Бинобарин, эвтектоидгача бўлган пўлатни тоблашда нормал температура Ac_3 нуқтасидан 30—50°С юқори температура бўлса, эвтектоиддан кейинги пўлатни тоблашда Ac_1 нуқтасидан 30—50°С юқори температурадир.



171- расм. Углеродли пўлатларни тоблашда қиздириш температуралари оралиғи.

Қиздириш ва тутиб туриш вақти, қиздириш воситалари. Пўлатни тоблашда уни маълум температурагача секин-аста ва бир текис қиздириш керак, акс ҳолда ички кучланишлар ҳосил бўлади. Пўлатни, айниқса, 650°С гача бўлган температуралар оралиғида тез қиздириш яраамайди. Аммо ҳаддан ташқари секин қиздириш ҳам тўғри эмас, чунки бунда печнинг иш унуми пасаяди, бундан ташқари, пўлатнинг сиртқи қатлами углеродсизланиши ва оксидланиши ҳам мумкин.

Пўлат зарур температурагача қиздирилгандан кейин уни шу температурада тутиб туриш вақти ҳам катта аҳамиятга эга. Тутиб туриш вақти аустенитга айланиш процессининг батамом тугалланиши, пўлатнинг ҳолати ва температураси унинг ҳамма жойида бир текис бўлиши учун кифоя қилиши керак. Пўлатнинг ҳамма жойида унинг ҳолати ҳамда температураси бир текис бўлиши ва барча перлитнинг аустенитга айланиши учун пўлат, айниқса, массив пўлат айни температурада узоқ вақт тутиб турилиши керак. Маълумки, ўзгариш процессининг ўзи

жуда қисқа вақт ичида, температурага қараб, бир неча минутдан бир неча секундгача вақт давомида тугайди. Аммо пўлат қиздирилиб, сиртқи қатламининг температураси ўзгариш температурасигача етказилган пайтда, пўлатнинг ички қатламлари ҳали шу температурагача қизимаган ва, демак, унда перлитнинг аустенитга айланиш процесси бошлан-



172- расм. Эвтектоидгача бўлган чала тобланган пўлатнинг микроскопик тузилиши. × 500.



173- расм. Эвтектоиддан кейинги тўғри тобланган пўлатнинг микроскопик тузилиши. × 500.

маган бўлади. Бинобарин, пўлатнинг ҳамма жойида температурани бир хил қилиш (пўлатнинг ҳамма жойини бир текис қиздириб олиш) ва ҳамма перлитни аустенитга айлантириш учун уни айни температурада маълум вақт тутиб туриш керак. Пўлатни маълум температурада тутиб туриш вақти пўлатнинг ўлчамларига (массасига), печда қандай жойланганлигига, қисман эса температуранинг ўзига боғлиқдир. Температура қанчалик юқори ва пўлат буюм қанчалик юпқа (ингичка) бўлса, тутиб туриш вақти шунчалик қисқа бўлади.

Юқорида баён этилганларга мувофиқ, пўлатни тоблаш (совитиш) даражасигача қиздириш учун кетадиган умумий вақт унинг сиртини фазанинг ўзгара бошлаш температурасигача қиздириш вақти (бу вақтни, бундан буён, қиздириш вақти деб атаймиз) билан шу температурада тутиб туриш вақти йиғиндисига тенг бўлади:

$$T_{у} = T_{қ} + T_{т}, \qquad (1)$$

бу ерда $T_{у}$ — умумий вақт;
$T_{қ}$ — қиздириш вақти;
$T_{т}$ — тутиб туриш вақти.

Умумий вақтни аниқлашга ўтишдан олдин, тобланадиган пўлатни қиздириш тезлиги билан танишиб чиқайлик.

Қиздириш тезлиги пўлатнинг хоссаларига, яъни иссиқ ўтказувчанлиги, иссиқлик сиғими, кенгайиш коэффициенти ва бошқа физикавий хоссаларига боғлиқ. Пўлат ҳаддан ташқари тез қиздириб юборилса, пўлатнинг (деталнинг) ички қисми билан сиртқи қаватлари орасидаги температуралар фарқи ортиб кетади, бунинг оқибатида дарзлар ҳосил бўлишига олиб борадиган катта ички кучланишлар вужудга келади.

Бундай дарзлар анча катта деталларда, айниқса, кўп углеродли ёки легирланган пўлатлардан тайёрланган деталларда учраб туради. Бундан, тоблашда кам углеродли пўлатларнигина тез қиздириш, кўп угле-

родли ва легирланган пўлатларни юқори температурали зонага қўймаслик, яъни уларни тез қиздирмаслик керак, деган хулоса келиб чиқади.

Пўлатни қандай тезлик билан қиздириш кераклиги иссиқлик манбаининг хусусиятларига ва бошқа кўпгина факторларга боғлиқ. Бу факторлар ичида энг катта аҳамиятга эга бўлганлари қиздирувчи муҳит ва қиздириш температурасидир.

Иссиқлик манбаидан деталга иссиқлик икки усулда ўтади. Бу усуллардан бири иссиқликнинг конвекция йўли билан, иккинчиси эса нурланиш йўли билан ўтишидир. Иссиқликнинг конвекция усулида ўтиши қиздирувчи муҳит билан деталнинг сирти бир-бирига тегиб турганда муҳит заррачаларининг иссиқликдан ҳаракат қилиши ҳисобига содир бўлади. Иссиқликнинг нурланиш йўли билан ўтиши муҳит ва деталь температуралари орасидаги фарққа тўғри пропорционалдир, демак, қиздирувчи муҳит температураси қанчалик юқори бўлса, деталга иссиқликнинг ўтиши ҳам шунчалик кучли бўлади. Паст (650°С гача бўлган) температураларда деталь секин, асосан конвекция ҳисобига қизийди, шуълаланиш (қизариш) пайтидан бошлаб эса деталь тез, асосан нурланиш иссиқлиги ҳисобига қизийди. Шу сабабли детални паст температураларгача қиздириш учун кетган вақт юқори температураларгача қиздириш учун кетган вақтдан кўп бўлади.

Тоблашда деталларни қиздириш учун кетадиган умумий вақтни ҳисоблаб чиқаришда юқорида баён этилган барча мулоҳазалар назарда тутилади. Аммо детални маълум температурада тутиб туриш вақтини аниқ ҳисоблаб топиш жуда қийин, шунинг учун, тутиб туриш вақти амалий коэффициентлар ёрдамида топилади, бу коэффициентларнинг қиймати эса юқорида келтирилган факторлар асосида танлаб олинади. Масалан, газ алангаси ҳар томонидан бир текисда тегиб турадиган цилиндрик стерженни (унинг диаметрини *d* деб оламиз) маълум температурада тутиб туриш учун кетадиган вақтнинг коэффициенти цилиндр диаметрининг ҳар миллиметрига 0,5—1 минутдан (0,5—1 *мин/мм* дан) қилиб олинади. Деталь анча юқори (800°С ва ундан юқори) температурагача қиздириладиган бўлса, коэффициентнинг қиймати сал кичик бўлади. Худди шу деталнинг ўзи суюқлантирилган тузда қиздириладиган бўлса, коэффициент 0,25—0,5 *мин/мм* қилиб, суюқлантирилган қўрғошинда қиздириладиган бўлса, 0,1—0,25 *мин/мм* қилиб олинади.

Деталнинг (заготовканинг) кесими квадрат шаклида бўлса (унинг томонини *a* деб оламиз), бундай детални маълум температурада тутиб туриш вақтининг коэффициенти цилиндрик детални қиздириш учун кетадиган вақт коэффициентидан бир ярим баравар, кесими тўғри тўртбурчак шаклида бўлган (унинг қисқа томонини *b* деб оламиз) детални қиздириш учун кетадиган вақт коэффициенти эса икки баравар ортиқ қилиб олинади.

Агар қиздирувчи муҳит қиздириладиган деталнинг ҳамма томонига бир текисда тегиб турмайдиган, масалан, деталь печь тубига қўйилган бўлса, у ҳолда, тутиб туриш вақти, деталларнинг жойланиш тартибига қараб, 1,5 дан 4 бараваргача: деталлар бир-бирига жуда яқин қўйилган бўлса, 2—4 баравар, деталлар бир-биридан сал нарига қўйилган ёки деталь битта бўлса, 1,5—2 баравар ортади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, пўлатнинг сиртқи қатламини Ac_3 ёки Ac_1 критик нуқтадан 30—50°С юқори температурагача, яъни перлитнинг аустенитга айланиш температурасигача қиздириш учун жуда кам — ҳисобга олмаса ҳам бўладиган даражада кам (бир неча секундгина) вақт кетади, перлитнинг аустенитга айланиш процесси эса бир неча минут давом этади. Пўлатни маълум температурада тутиб туриш вақти

перлитнинг аустенитга айланиб бўлиш вақтини ҳам ўз ичига олганлигидан, (1) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$T_у = T_т. \qquad (2)$$

(2) формулани татбиқ этишга оид бир неча мисол ечиб кўрамиз.

1-мисол. Таркибида 0,5% углерод бўлган пўлатдан ясалган стерженни тоблаш (совитиш) даражасигача қиздириш учун кетадиган умумий вақт топилсин. Стерженнинг диаметри 30 *мм*. Қиздирувчи муҳит суюқлантирилган туз.

Ечиш. Стержень цилиндр шаклида, диаметри $d = 30$ *мм*, қиздирувчи муҳит туз ваннаси бўлганлигидан:

$$T_т = 0{,}5 \cdot 30 = 15 \text{ мин.}$$

$T_у = T_т$ бўлганлигидан, умумий вақт 15 минутга тенг.

2-мисол. Таркибида 0,6% углерод бўлган пўлатдан ясалган квадрат кесимли детални тоблаш температурасигача қиздириш учун кетадиган умумий вақт топилсин. Квадрат томонининг узунлиги 20 *мм*, қиздирувчи муҳит — газ алангаси. Деталь печга ён ёғи билан ўрнатилган.

Ечиш. Деталь кесими квадрат шаклида, томонининг узунлиги $a = 20$ *мм*, қиздирувчи муҳит газ алангаси бўлгани ва деталь печга ён ёғи билан ўрнатилганлиги учун:

$$T_т = 1 \cdot 1{,}5 \cdot 2 \cdot 20 = 60 \text{ мин.}$$

Демак, $T_у = 60$ мин. экан.

3-мисол. Қўндаланг кесими тўғри тўртбурчак (параллелограмм) шаклида бўлган деталларни тоблаш температурасигача қиздириш учун кетадиган умумий вақт топилсин. Тўғри тўртбурчакнинг қисқа томони узунлиги 15 *мм*. Деталлар сони 6 дона. Қиздирувчи муҳит — газ алангаси. Деталлар печь тубида бир-бирига яқин жойлашган.

Ечиш. Деталнинг кесими тўғри тўртбурчак шаклида, қисқа томонининг узунлиги $b = 15$ *мм*, қиздирувчи муҳит газ алангаси бўлганлиги ва деталлар бир-бирига яқин жойлашганлиги учун:

$$T_т = 1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 15 = 120 \text{ мин.}$$

Демак, $T_у = 120$ мин. экан.

Тутиб туриш вақти коэффициентларининг ва, демак, қиздиришга кетадиган умумий вақтнинг юқорида кўрсатиб ўтилган қийматлари тақрибийдир. Бу қийматларни тажриба йўли билангина аниқ топиш мумкин. Заводларда қиздириш ва тутиб туриш вақтининг тайёр нормаларидан фойдаланилади, бу нормалар эса деталларни қиздириш ва айни температурада тутиб туриш вақтини бевосита ўлчаш йўли билан тузилади.

Пўлатни тоблаш температурасигача қиздириш учун ҳар хил печлардан фойдаланилади. Бу печлар жумласига алангали печлар, муфель печлари, тигель печлари киради.

Муфель печлари. Қиздириладиган деталлар бу печларнинг махсус камерасига жойланади, камера эса аланга билан ёки электр энергияси билан қиздирилади.

Тигель печлари. Бундай печлар ичида суюқлантирилган туз ёки қўрғошин бўлган тигеллар — ванналардир. Бундай печлар тузли ёки қўрғошинли ванналар деб аталади.

Юқорида айтиб ўтилган печлар конструкцияси жиҳатидан ҳам, деталларни қиздириш тезлиги ва бир текис қиздириш хусусияти жиҳатидан ҳам ниҳоятда хилма-хил бўлади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, деталларни қиздириш тезлиги, деталлар сиртининг кам оксидланиши ва кам углеродсизланиши жиҳатидан муфель печлари бошқа тур печлардан афзал туради, аммо улар, асосан, майда деталларни қиздириш учунгина ишлатилади.

Деталларни энг секин қиздирадиган печлар муфель печларидир. Бу жиҳатдан олганда, электр энергияси билан ишлайдиган муфель печлари газ билан ишлайдиган печлардан устун туради, уларда температурани тартибга солиш анча осон бўлади. Ҳозирги вақтда машинасозлик заводларининг термик ишлаш цехлари электр энергияси билан ишлайдиган ва термик ишлаш режимини аниқ тартибга солиш имконини берадиган автомат печлар билан ускуналанган.

Баъзан, қиздириладиган деталларни оксидланишдан ва углеродсизланишдан сақлаш учун муфель ёки электр печларининг камераларида нейтрал атмосфера ҳосил қилинади. Бундай печлар *ҳимоя атмосферали печлар* деб аталади.

Совитиш воситалари (совитувчи муҳитлар, тоблаш муҳитлари). Маълум температурагача қиздирилиб, сўнгра тутиб турилган пўлатни талаб этилган тезлик билан совитишнинг ҳам аҳамияти ғоят каттадир. Аустенитнинг мартенситга айланиши учун пўлатни тез совитиш керак. Аммо совитишнинг бошидан то охиригача, яъни уй температурасигача бир хил тезлик билан совитиш ярамайди. Маълумки, 650—400°С температуралар оралигида аустенитнинг барқарорлиги энг паст бўлиб, феррит билан цементит аралашмасига (перлитга) энг осон айланади. Бинобарин, маълум температурагача қиздирилиб, шу температурада тутиб турилган пўлат 650°С температурагача секинроқ совитилиши мумкин, аммо жуда секин совитиб юбориш ярамайди, чунки пўлат жуда секин совитиб юборилса, аустенитдан феррит ажралиб чиқиши ёки аустенит перлитга айланиши мумкин, 650 дан 400°С гача пўлат тез совитилиши керак, шундай қилинганда аустенит ўзгаришга улгура олмай қолади. 400°С дан паст температураларда пўлатни яна секинроқ совитса бўлади, чунки бу температураларда аустенит бирмунча барқарор бўлади. Ниҳоят, 300°С температурадан бошлаб, пўлатнинг секинроқ совитилиши айниқса зарур, чунки пўлат тез совитилса, структура кучланишларига термик кучланишлар ҳам қўшилиши мумкин.

15-жадвалда совитувчи ҳар хил муҳитларнинг пўлатни совитиш тезлиги келтирилган.

15-жадвал

Совитувчи ҳар хил муҳитларнинг пўлатни совитиш тезлиги

Совитувчи муҳит	650—550°С	300—200°С
	температуралар оралиғида совитиш тезлиги, *град/сек* ҳисобида	
18° С ли сув	600	270
28° С » »	500	270
50° С » »	100	270
75° С » »	30	270
NaCl нинг сувдаги 10 % ли эритмаси, 18° С ли	1100	300
NaOH нинг сувдаги 10 % ли эритмаси, 18° С ли	1200	270
H_2SO_4 нинг сувдаги 10 % ли эритмаси	800	270
Дистилланган сув	250	200
Мойнинг сувдаги эмульсияси	70	200
Совунли сув	30	200
Минерал мой (машина мойи)	150	30
Трансформатор мойи	120	25
75 % калай ва 25 % кадмийдан иборат қотишма	450	50

15-жадвалдан кўриниб турибдики, сув 650—550°С температуралар соҳасидагина тез совитиб қолмай, 300—200°С температуралар оралиғида ҳам тез совитади, бу эса сувнинг катта камчилигидир. Иситилган сувнинг совитиш тезлиги 650—550°С оралиғида пасайиб, 300—200°С оралиғида ўзгармай қолади. Туз ва кислоталар эритилган сувнинг совитиш тезлиги 650—550°С температураларда анча юқори бўлади.

Мойнинг совитиш тезлиги 650—550°С температураларда сувникига қараганда 4 баравар, 300—200°С оралиғида эса қарийб 10 баравар кичикдир.

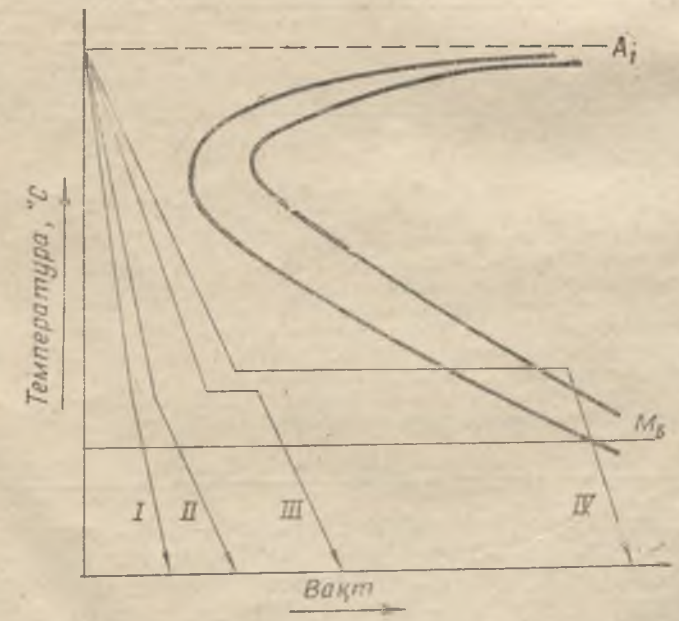
Пўлатни тоблаш усуллари. Тоблаш усулини танлаш пўлатнинг кимиявий таркибига, пўлатдан ясалган деталнинг шакли ва ўлчамларига,

шунингдек, тобланган пўлатда қандай хоссалар бўлиши кераклигига боғлиқдир. Тоблашнинг танланган усули имкони борича оддий бўлиши ва, шу билан бирга, тобланган пўлатда талаб этилган хоссалар бўлишига имкон бериши керак.

Пўлатни тоблашнинг бир неча усули бор. Ана шу усулларни кўриб ўтамиз.

Бир совитувчида тоблаш. Бу усул тоблашнинг энг оддий усулидир (174-расм, *I* эгри чизиқ); унинг моҳияти шундан иборатки, тоблаш температурасигача қиздирилган пўлат совитувчи суюқликка (сув ёки мойга) солинади*, деталь ана шу суюқликда нормал температурагача совийди. Бу усулдан углеродли ва легирланган пўлатлардан ясалган оддий шаклдаги деталларни тоблашда, шунингдек, автоматик тоблашда фойдаланилади. Автоматик тоблашда деталлар печдан совитувчи суюқликка автоматик равишда келиб тушади.

Бир совитувчида тоблаш усулининг камчилиги шуки, бундай усулда тобланган деталларда катта ички кучланишлар ҳосил бўлади. Деталларда ҳосил бўладиган ички кучланишларни камайтириш учун улар совитувчи суюқликка дарҳол солинмай, балки бирмунча вақт ҳавода совитиб олинади ва шундан кейингина совитувчи суюқликка солинади. Тоблашнинг бу усули *шамоллатиб олиш йўли билан тоблаш* деб аталади. Бу усулдан фойдаланилганда эвтектоидгача бўлган пўлатдан ясалган деталнинг температураси ҳавода совитилганда Ar_3 критик нуқтадан, эвтектоиддан кейинги пўлатдан ясалган деталнинг температураси эса Ar_1 критик нуқтадан пасайиб кетмаслиги керак.



174-расм. Тоблашнинг ҳар хил усуллари учун аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасига чизилган совиш эгри чизиқлари.

* Ўлчамлари 2—5 *мм* дан ортиқ деталлар сувга, ўлчамлари ундан кичик деталлар ва баъзи легирланган пўлатдан ясалган деталлар эса мойга солинади.

Икки совитувчида тоблаш (узлукли тоблаш). Бу усулдан деталда ҳосил бўладиган ички кучланишларни камайтириш учун фойдаланилади (174-расм, *II* эгри чизиқ). Деталь олдин тез совитувчи муҳитда (сувда) 400—300°С гача совитилгандан кейин, секин совитувчи муҳитга (мойга) солинади ёки ҳавода совитилади. Бу усул кўп углеродли пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни тоблашда қўлланилади. Бу усулдан фойдаланилганда аустенитнинг мартенситга айланиш процесси анча секин совиш жараёнида боради, бу эса ички кучланишларнинг камайишига олиб келади. Икки совитувчида тоблаш усулининг камчилиги шундаки, деталнинг биринчи совитувчида туриш вақтини тартибга солиш жуда қийин, чунки бу вақт бир неча секундгагина тенг бўлади. Агар вақт ўтказиб юборилса, аустенит парчаланиб кетиши мумкин. Детални биринчи совитувчида тутиб туриш вақтини аниқ тартибга солиш учун тоблашнинг босқичли усулидан фойдаланилади.

Босқичли тоблаш (174-расм, *III* эгри чизиқ). Деталь температураси $M_Б$ нуқтадан, яъни аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш температурасидан юқори бўлган муҳитда деталнинг ҳамма жойида температура шу муҳит температурасига бараварлашгунча тутиб турилади. Шундан кейин деталь секин (мойда ёки ҳавода) совитилади, бу вақтда аустенит мартенситга айланади. Детални икки босқичда совитиш ички кучланишларни камайтиради. Бу усул углеродли пўлатдан ясалган майда (диаметри ёки қалинлиги 10 *мм* гача бўлган) деталларни тоблашдагина қўлланилади, чунки йирик деталларни тоблашда совитиш тезлиги аустенитнинг барқарорлиги энг кам бўлган зонада (600—500°С да) критик нуқтадан паст бўлиб қолади ва аустенит қисман феррит билан цементитга ажралади.

Деталларни босқичли тоблашда совитувчи муҳит сифатида ўювчи ишқорлар (KOH ва NaOH) нинг суюқланмалари +5÷7% сув, нитрат ва нитритлар (KNO_3 ва $NaNO_3$ ёки KNO_2 ва $NaNO_2$) нинг аралашмаларидан иборат ванналар ишлатилади. Ванналарнинг температураси ўзгармаслиги ва автоматик равишда тартибга солиб туриладиган бўлиши керак.

Пуркаш йўли билан тоблаш. Бу усул тоблаш температурасигача қиздириб олинган деталга сув оқими пуркашдан иборат. Деталнинг бир қисмини тоблаш зарур бўлгандагина ана шу усулдан фойдаланилади.

Бўшатиш билан бўладиган тоблаш. Бу усулдан деталларнинг маълум бир қисмини, масалан, асбобларнинг иш қисмини тоблашда фойдаланилади. Маълумки, темирчилик асбоблари ва бошқа асбобларнинг иш қисми қаттиқ бўлиши, иш қисмидан қуйруғига томон қаттиқлиги пасайиб бориши керак. Бунинг учун асбобнинг фақат иш қисмигина сувга ботирилади-да, сувдан олиниб, иш қисмининг сувга ботмаган қисмидаги иссиқлик ҳисобига маълум температурагача қизиши учун кутиб турилади, сўнгра эса совитилади. Ана шу процесс асбоб иш қисмининг ҳам тобланиши, ҳам бўшаши бўлади. Бўшатиш билан бўладиган тоблаш тўғрисида шу бобнинг 9-параграфига ҳам қаранг (224-бет).

Изотермик тоблаш (174-расм, *IV* эгри чизиқ). Деталларни изотермик тоблаш учун ҳам улар суюқлантирилган туз ёки суюқлантирилган ишқорга солинади. Изотермик тоблашнинг босқичли тоблашдан фарқи шуки, изотермик тоблашда деталь совитувчи муҳитда аустенитнинг изотермик парчаланиш процесси батамом тугагунча тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади. Аустенитнинг изотермик парчаланиш температураси 250—350°С оралигида бўлганлиги учун совитувчи суюқ-

ликнинг температураси ҳам 250—350°С бўлиши керак. Изотермик тобланган пўлатнинг структураси бейнит (нинасимон троостит) дан иборат бўлиб, қаттиқлиги бошқа усулда тобланган пўлатникидан пастроқ (45—55 *HRC*), аммо қовушоқлиги (пластиклиги) юқорироқ бўлади.

Детални совитувчи муҳитда тутиб туриш вақти айни пўлат учун аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидан топилади.

Совитувчи муҳит сифатида, сув ва мойдан ташқари, суюқлантирилган туз ёки суюқлантирилган ишқордан фойдаланилади (16-жадвалга қаранг).

16- ж а д в а л

Пўлатни тоблашда ишлатиладиган тузларнинг химиявий таркиби ва суюқланиш температураси

Тартиб номери	Тузнинг номи ва химиявий таркиби	Суюқланиш температураси, С
1	Натрий нитрат $NaNO_3$	310
2	50% натрий нитрат $NaNO_3$+50% калий нитрат KNO_3	220
3	50% натрий нитрит $NaNO_2$+50% калий нитрит KNO_2	150
4	20% натрий гидроксид NaOH+80% калий гидроксид KOH	140

4-§. ПЎЛАТГА НОЛДАН ПАСТ ТЕМПЕРАТУРАДА ИШЛОВ БЕРИШ

Тобланган пўлатда ҳамма вақт қолдиқ аустенит бўлиши бизга маълум. Ана шу қолдиқ аустенитнинг бир қисмини мартенситга айлантириш учун пўлатга *нолдан паст температурада ишлов бериш,* бошқача қилиб айтганда, пўлатни *совуқ билан ишлаш* деб аталадиган усулдан фойдаланилади.

Кўп легирланган пўлатларда қолдиқ аустенитнинг мартенситга айланиш процессига нолдан паст температура қандай таъсир этишини жаҳонда биринчи бўлиб проф. А. П. Гуляев текширган.

Кўпгина нав пўлатлар тоблангандан кейин уларда анчагина миқдор қолдиқ аустенит бўлади. Агар аустенитнинг мартенситга батамом айланиб бўлиш температураси ($M_т$) нолдан паст бўлса (масалан, таркибида 0,6% ва ундан ортиқ углерод бўлган пўлатларда, 156-расмга қаранг), у ҳолда қолдиқ аустенитнинг бир қисми мартенситга айланади.

Пўлатда мартенсит миқдорининг ортиши натижасида, биринчидан, пўлатнинг қаттиқлиги ортади, бу эса кесувчи асбоблар тайёрланадиган пўлат учун ниҳоятда муҳимдир, иккинчидан, пўлатнинг ҳажми кенгаяди ва барқарор бўлиб қолади, бу ҳол ўлчов асбоблари тайёрланадиган пўлат учун катта аҳамиятга эга. Ҳажмнинг барқарорланувига сабаб шуки, тобланган пўлат совуқ билан ишланганда қолдиқ аустенитнинг миқдори камаяди ва, демак, аустенитнинг нормал температурада парчаланишига барҳам берилган бўлади.

Пўлатни совуқ билан ишлаш учун зарур температура аустенитнинг мартенситга тамом айланиб бўлиш нуқтаси ($M_т$) нинг вазиятига боғлиқдир. $M_т$ нуқтанинг вазияти эса пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлиб, углерод миқдори ортган сари $M_т$ нуқта пасаяди (155-расмга қаранг). Тобланган пўлатнинг табиий эскириш процессида қолдиқ аустенитнинг миқдори камаяди, яъни аустенит барқарорлашади. Натижада совуқ

билан ишлашнинг самараси пасаяди. Бинобарин, совуқ билан ишлаш процесси пўлат тоблангандан кейиноқ ўтказилиши керак.

Пўлатга нолдан паст температурада ишлов беришда энг кўп фойдаланиладиган совитувчи воситалар суюқ кислород (унинг температураси — 183°С) ва қуруқ муз (қаттиқ CO_2) билан денатурат спирт аралашмасидир; бу аралашманинг температураси — 78,5°С га тенг. Кўпгина пўлатлар учун $M_т$ = — 80°С атрофида бўлади, шу сабабли амалда, кўпинча, совуқ билан ишлашда қуруқ муздан фойдаланилади.

5- §. ПЎЛАТНИНГ ТОБЛАНУВЧАНЛИГИ ВА ТОБЛАНИШ ЧУҚУРЛИГИ

Тобланувчанлик. Тоблаш натижасида пўлатнинг ўз қаттиқлигини ошира олиш хусусияти *тобланувчанлик* деб аталади. Пўлатнинг тобланувчанлик даражаси η билан ифодаланади ва қуйидаги формуладан топилади:

$$\eta = \frac{H_т - H_ю}{H_ю}$$

бу ерда η — тобланувчанлик даражаси;

$H_т$ — тобланган пўлатнинг қаттиқлиги;

$H_ю$ — юмшатилган пўлатнинг қаттиқлиги.

Пўлатнинг тобланувчанлиги пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқдир.

Тобланиш чуқурлиги. Пўлатни тоблашдан кўзда тутиладиган мақсад унинг механик хоссаларини яхшилаш, асосан эса қаттиқлигини ошириш, яъни унда мартенсит ҳосил қилишдир. Мартенсит ҳосил қилиш учун маълум даражагача қиздирилган пўлат критик тезликдан юқори тезлик билан совитилиши керак. Аммо пўлат критик тезликдан юқори тезлик билан совитилганда унинг ички қатламлари сиртқи қатламларига қараганда секинроқ, яъни критик тезликдан паст тезлик билан совийди, бинобарин, пўлатнинг ички қатламларида мартенсит эмас, балки, совиш тезлигига қараб, троостит ё сорбит ёки перлит ҳосил бўлади. Демак, деталнинг йўғон-ингичкалиги (қалин-юпқалиги) структура ҳосил бўлишига таъсир этар экан. Пўлатнинг тобланиш зонаси, яъни мартенсит ҳосил бўлиш зонаси *тобланиш чуқурлиги* деб аталади.

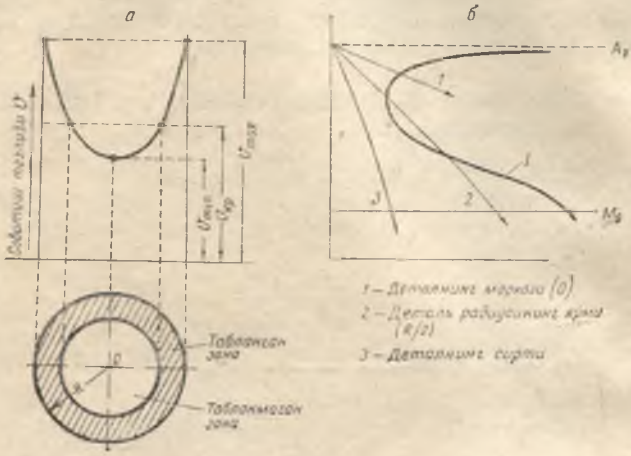
Детални тоблаш вақтида совитиш тезлиги деталь кесимининг радиуси бўйлаб қандай ўзгаришини кўрсатувчи схема (175- расм, *а* да) тасвирланган.

Агар критик тезлик схемада кўрсатилганидек бўлса, тобланиш чуқурлиги штрихлаб қўйилган қават қалинлигига тенг бўлади (175- расм, *а*). Бинобарин, тобланиш чуқурлиги совитишнинг критик тезлигига боғлиқ экан. Критик тезлик қанча кичик бўлса, тобланиш чуқурлиги шунча катта бўлади. Агар критик тезлик деталь марказининг совиш тезлигидан кичик бўлса, деталь кесимининг ҳаммаси тобланади ва, аксинча, критик тезлик деталь сиртининг совиш тезлигидан катта бўлса, деталь мутлақо тобланмайди.

Тобланиш чуқурлиги аустенитнинг перлитга айланиш тезлигига ва, демак, С-диаграммадаги аустенитнинг парчалана бошлаш эгри чизиғининг (175- расм, *б* даги *1* чизиқнинг) вазиятига ҳам боғлиқ бўлади. Цилиндрик деталь марказининг, сиртининг ва сиртидан $\frac{R}{2}$ га тенг катламининг С-диаграммага чизилган совиш эгри чизиқлари 175- расм, *б* да тасвирланган. Баён этилган совитиш шароитида деталнинг сиртида мартенсит, тобланган зонасида мартенсит билан троостит, марказида эса перлит ҳосил бўлади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, деталнинг

тобланган зонасида сиртдан марказга томон мартенсит миқдори камайиб, троостит миқдори ортиб боради.

Тобланиш чуқурлиги С-эгри чизиқнинг вазиятига ҳам боғлиқдир. С-эгри чизиқ 175-расм, *б* да кўрсатилган вазиятдан ўнгроқда бўлса, деталнинг тобланиш чуқурлиги ортади, чапроқда бўлса, аксинча, тоб-



175-расм. Совитиш тезлиги деталь кесимининг радиуси бўйлаб қандай ўзгаришини кўрсатувчи схемалар.

ланиш чуқурлиги камаяди. Бинобарин, аустенит перлитга қанчалик секин айланса, тобланиш чуқурлиги шунчалик катта бўлади ва, аксинча, аустенит перлитга қанчалик тез айланса, тобланиш чуқурлиги шунчалик кичик бўлади.

Тобланиш чуқурлигига ҳар хил факторларнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Аустенитда эрийдиган барча элементлар (кобальтдан бошқалари) пўлатнинг тобланиш чуқурлигини оширади, чунки улар аустенитнинг перлитга айланиш тезлигини пасайтиради. Аустенитда эримаган заррачалар (карбидлар, оксидлар ва бошқалар), кристалланишнинг қўшимча марказлари бўлгани учун, аустенитнинг перлитга айланиш тезлигини оширади ва, демак, пўлатнинг тобланиш чуқурлигини камайтиради. Гетероген аустенитнинг перлитга айланиш тезлиги γ-қаттиқ эритманинг камроқ тўйинган қисми ҳисобига ортади. Кристалланиш марказлари аустенит доналари орасидаги чегарада ҳосил бўлади, аустенит доналари қанчалик йирик бўлса, шу доналар орасидаги чегараларнинг умумий узунлиги шунчалик қисқа бўлади, бинобарин, аустенит доналарининг йириклашуви унинг перлитга айланиш процессини секинлаштиради ва пўлатнинг тобланиш чуқурлигини оширади.

Энди тобланиш чуқурлигининг қандай усуллар билан аниқланишини кўриб чиқайлик.

Тобланиш чуқурлиги тобланган пўлатнинг микроструктурасига қараб эмас, балки қаттиқлигини ўлчаш йўли билан топилади, чунки қаттиқликни ўлчаш анча осон.

Аввало, *тобланган зона* деган тушунчанинг ўзи нима эканлигини аниқлаб олайлик. Назарий жиҳатдан олганда, тобланган зона нуқул мартенситдан ва оз миқдор қолдиқ аустенитдан иборат бўлиши керак.

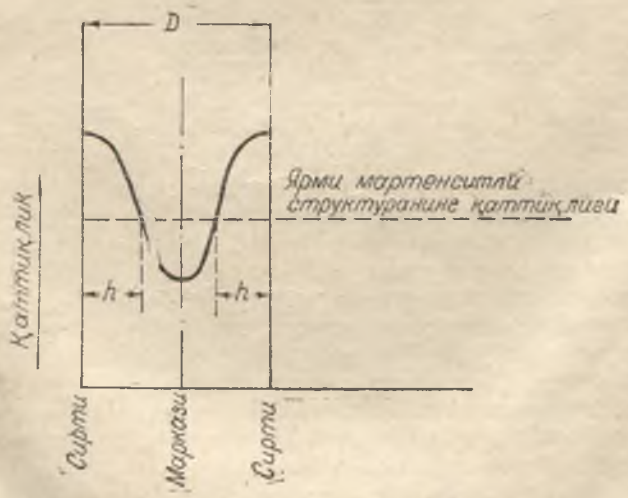
Тобланган зона деганда ана шуни тушунсак, амалда унинг чуқурлигини ўлчаш катта қийинчиликлар туғдиради. Гап шундаки, тобланган зонада мартенситдан ташқари, 5—10% троостит ҳам бўлса, трооститнинг бу миқдори ўлчанадиган ўртача қаттиқликка таъсир этмайди. Ҳозирги вақтда пўлат сиртидан 50 проценти мартенсит ва 50 проценти троститли (ярми мартенситли) структурагача бўлган оралиқ *тобланиш чуқурлиги* деб қабул қилинган; ярми мартенситли зонанинг қаттиқлиги, асосан, пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлади (17-жадвалга қаранг).

17- ж а д в а л

Ярми мартенситли зонанинг қаттиқлиги

Углерод миқдори, %	Ярми мартенситли зонанинг қаттиқлиги, *HRC*	
	углеродли пўлат учун	легирланган пўлат учун
0,08—0,17	—	25
0,18—0,22	25	30
0,23—0,27	30	35
0,28—0,32	35	40
0,33—0,42	40	45
0,43—0,52	45	50
0,53—0,62	50	55

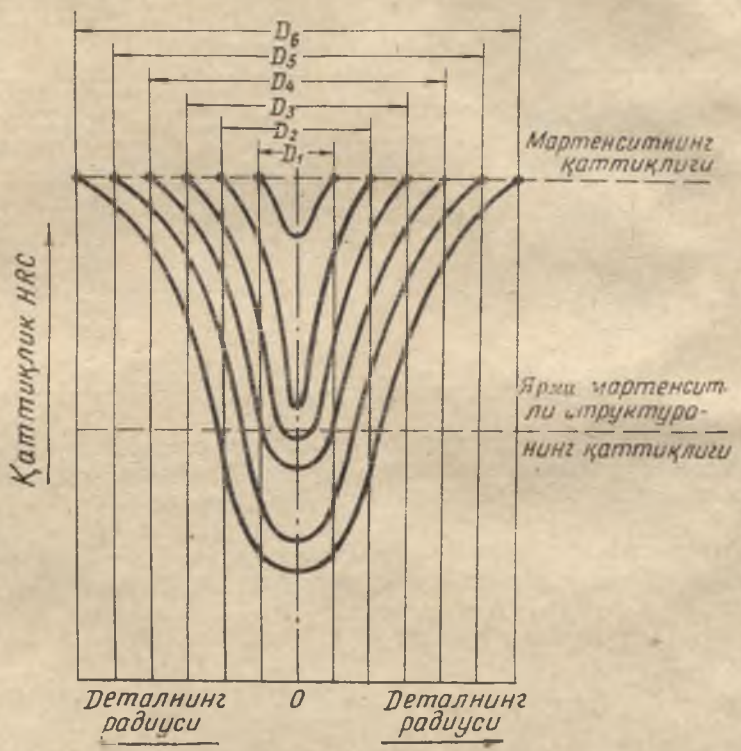
Пўлатнинг тобланиш чуқурлиги тобланган стерженнинг ёки брусснинг кўндаланг кесими қаттиқлигини ўлчаш йўли билан топилиши мумкин. Бунинг учун тобланган стержень ёки брусснинг ўртасидан диск қирқиб олинади-да, унинг радиуси бўйлаб қаттиқлиги ўлчаб борилади. Қаттиқликнинг диск сиртидан марказгача ўзгариб (камайиб) бориши график (эгри чизиқ) тарзида ифодаланади. 176-расмда ана шундай эгри чизиқлардан бири тасвирланган.



176-расм. Қаттиқликнинг тобланган пўлат стержень кесимининг радиуси бўйлаб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқ.

Тобланган пўлат сиртининг қаттиқлиги энг юқори, марказининг қаттиқлиги эса энг паст эканлиги 176- расмдан яққол кўриниб турибди. h нинг қиймати тобланиш чуқурлигини билдиради. Равшанки, h нинг қиймати айни нав пўлат учун, шу пўлатдан ясалган деталнинг диаметри D га ва совитиш тезлигига қараб, ҳар хил бўлади.

Энди, бир марка (химиявий таркиби бир хил) пўлатдан диаметрлари ҳар хил бўлган цилиндрик деталлар тайёрлаб, бу деталлар тоблангандан кейин уларнинг қаттиқликларини аниқласак, 177- расмда тасвирланган манзарани кўрамиз.



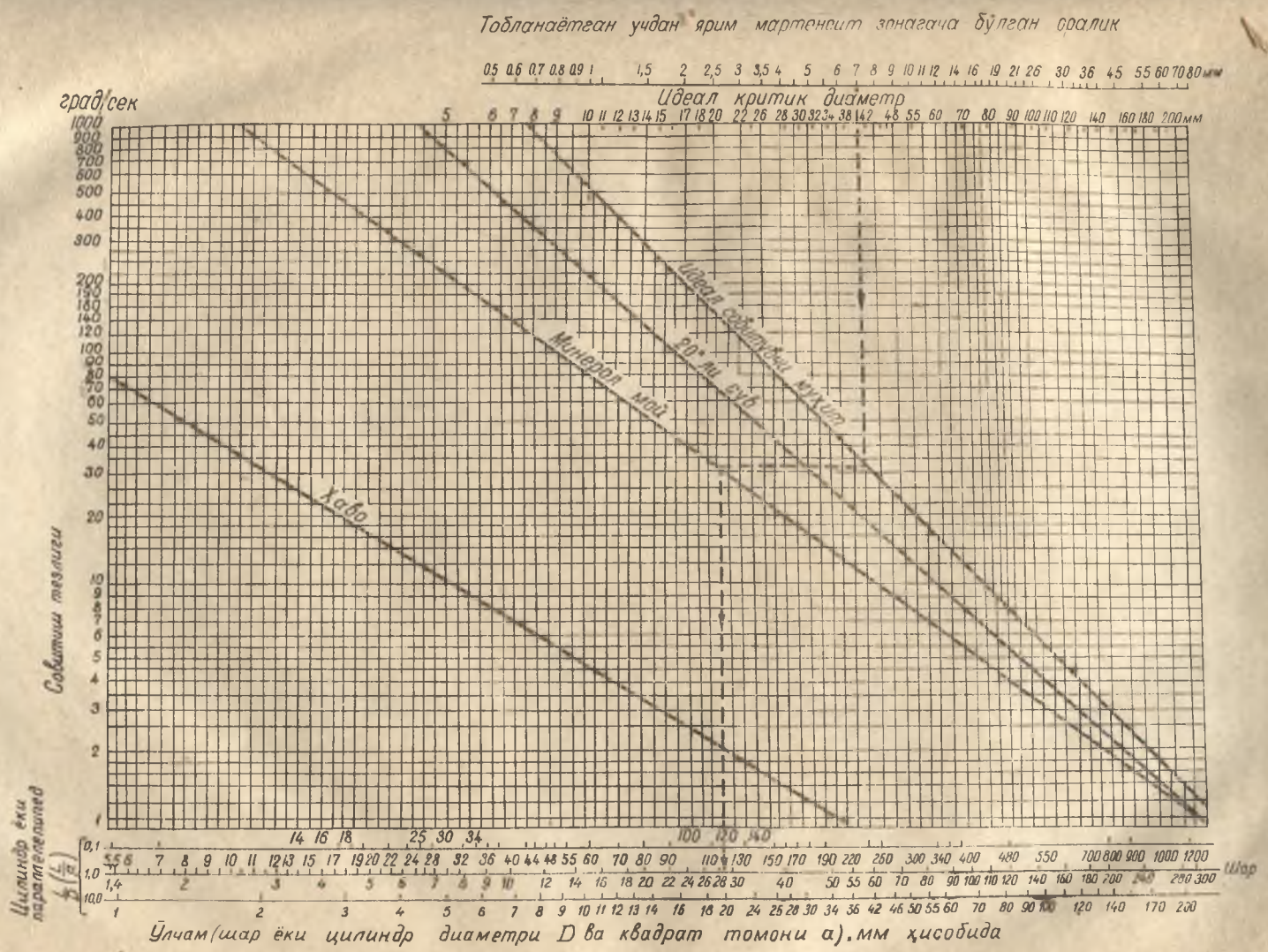
177- расм. Ҳар хил диаметрли цилиндрик деталларнинг қаттиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқлар (схема).

177- расмдаги эгри чизиқларни кўздан кечирсак, D_2 ва ундан кичик диаметрли деталларнинг қаттиқлиги ярми мартенситли структуранинг қаттиқлигидан катта эканлигини кўрамиз. Демак, айни пўлатдан ясалган деталлар ичида D_2 ва ундан кичик диаметрли деталларнинг тобланиш чуқурлиги марказигача етар экан.

Намунанинг марказгача тобланадиган энг катта диаметри *тобланиш чуқурлигининг критик диаметри* деб аталади ва $D_{кр}$ билан белгиланади. Бизнинг мисолимизда D_2 диаметр критик диаметрдир.

Критик диаметрдан катта диаметрли деталлар тобланганда тобланиш чуқурлиги деталнинг марказига етмайди, яъни деталнинг радиуси бўйлаб маълум қисми тобланмай қолади.

Совитувчи муҳит ўзгарганда критик диаметр ҳам ўзгаради: совитувчи муҳит қанчалик секин совитса, критик диаметр шунчалик кичик бўлади.



178- расм. Тобланиш чуқурлигини аниқлаш номограммаси (М. Е. Блантер).

Пўлатнинг тобланиш чуқурлиги совитиш усулига боғлиқ бўлмасин учун *идеал критик диаметр* деган тушунча киритилган, бу диаметр D_∞ билан белгиланади. Идеал диаметр чексиз катта тезлик билан идеал совитадиган суюқликда ҳамма жойи тобланадиган энг катта кесим диаметридир. Реал критик диаметр М. Е. Блантер таклиф этган махсус номограммадан (178- расм) идеал критик диаметр асосида топилади.

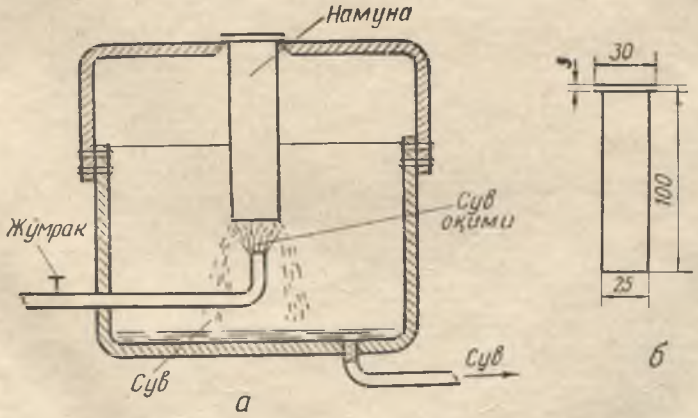
Блантер номограммасидан критик диаметрни топиш учун унинг тепасидаги шкаладан пўлатнинг тобланиш учидан ярми мартенсит зонагача бўлган оралиқ топилиб, топилган нуқтадан «Идеал совитувчи муҳит» чизиғига перпендикуляр туширилади, перпендикуляр билан шу чизиқнинг кесишув нуқтасидан тегишли совитувчи муҳит чизиғига горизонтал ўтказилади. Горизонталнинг совитувчи муҳит чизиғи билан кесишув нуқтасидан эса номограмманинг пастки қисмидаги шкалалардан бирига [параллелепипед, шар (куб) ёки цилиндр шкаласига] перпендикуляр туширилади. Перпендикулярнинг шу шкала билан кесишув нуқтаси маркази ярми мартенсит структурали пўлатнинг *мм* ҳисобидаги диаметрини (кубнинг томонини) кўрсатади.

Номограммада тобланадиган уч хил шаклдаги: цилиндр, параллелепипед ва шар шаклидаги пўлат берилган. Диск (цилиндрнинг хусусий ҳоли) учун $\frac{L}{D} = 0{,}1$; куб учун $\frac{l}{a} = 1$; бу ерда D — цилиндрнинг диаметри, a — квадратнинг томони, L — пўлатнинг қалинлиги ёки узунлиги. Шар учун ҳам, куб учун ҳам бир шкаланинг ўзидан фойдаланилади.

Номограммадан фойдаланиш усули шу номограмманинг ўзида пунктир чизиқ билан кўрсатилган.

Тобланиш чуқурлигини ва, демак, критик диаметрни ҳам аниқлашнинг энг оддий ва универсал усули биринчи бўлиб Н. Т. Гудцов таклиф қилган усул — учини (торецини) тоблаш усулидир.

Пўлат намунанинг учини тоблашда унинг қандай совитилиши 179-расм, *а* да кўрсатилган. Диаметри 25 *мм* ва узунлиги 100 *мм* бўлган намуна (179- расм, *б*) тоблаш температурасигача қиздирилгандан ке-

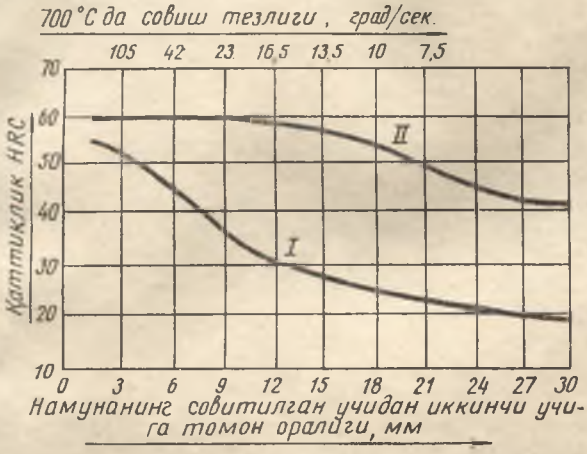


179- расм. Учини тоблаш усулида пўлатнинг тобланиш чуқурлигини аниқлаш (схема):

а — тобланиш чуқурлигини аниқлаш қурилмасининг схемаси;
б — пўлатдан тайёрланган намуна

йин кронштейнга илиб қўйилади, сўнгра пастки учига сув пуркалади. Намуна бундай совитилганда унинг пастки учи максимал тезлик билан совийди, намунанинг совиш тезлиги учидан узоқлашилган сари пасайиб

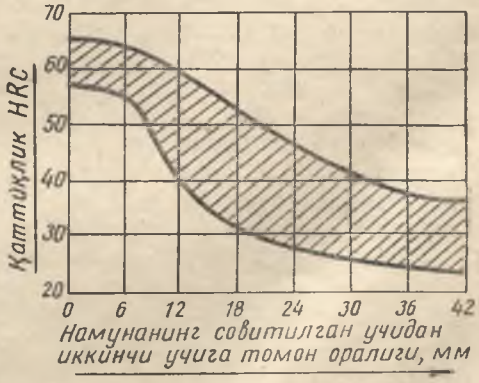
боради. Намуна тобланиб бўлгандан кейин унинг қаттиқлиги узунасига (совитилган учидан бошлаб) ўлчаб чиқилади-да, олинган натижалар график тарзида ифодаланади (180-расм). Намунанинг совитилаётган учидан каллагига томон борилган сари совиш тезлигининг қандай ўзгариши тажрибада аниқланган. Совиш тезлигининг ўзгариши диаграмманинг тепасида кўрсатилган (180-расм).



180-расм. Учи тобланган пўлат намунэси қаттиқлигининг ўзгариш эгри чизиқлари:

I — чуқур тобланмайдиган пўлат намунаси учун; *II* — чуқур тобланадиган пўлат намунаси учун.

Тобланиш чуқурлиги пўлатнинг химиявий таркибига боғлиқ эканлиги ва ҳар қайси марка пўлат таркибидаги элементлар миқдори максимум ва минимум бўлганлигидан, шу марка пўлатнинг тобланиш чуқурлиги бир эгри чизиқ билан эмас, балки икки эгри чизиқ билан ифодаланади. *Тобланиш чуқурлиги полосаси* деб аталадиган бундай эгри чизиқлар 181-расмда тасвирланган.



181-расм. 50Х пўлатининг тобланиш чуқурлиги полосаси (Г. В. Акимов ва К. В. Акимова)

6-§. ТОБЛАШДА ВУЖУДГА КЕЛАДИГАН ИЧКИ КУЧЛАНИШЛАР

Тоблашда вужудга келадиган ички кучланишлар уч хил бўлади. Булардан бири термик кучланишлар, иккинчиси структура кучланишлари, учинчиси эса панжара ичра кучланишлардир. Термик кучланишлар пўлат кесимининг айрим зоналари ва деталнинг ҳар хил қисмлари орасида вужудга келади. Детални термик ишлашда унинг кесимидаги айрим зоналар ва ҳар хил қисмлари орасида температуралар фарқи қанчалик катта бўлса, термик кучланишлар қиймати ҳам шунчалик катта бўлади. Температуралар

фарқи эса совитиш тезлигига, деталнинг нотекис совишига, унинг ўлчамига ва бошқаларга боғлиқдир.

Структура кучланишлари пўлатнинг доналари ичида ёки ёнма-ён турган доналар орасида вужудга келади. Ҳар хил фазаларнинг кенгайиш коэффициентлари ҳар хил бўлганлиги ёки янги фазалар ҳосил бўлиши натижасида фазалар орасида ҳам структура кучланишлари ҳосил бўлади. Структура кучланишлари детални совитиш тезлигига, деталнинг ўлчамига ва шу кабиларга боғлиқ бўлмайди.

Термик кучланишлар *биринчи тур кучланишлар* деб, структура кучланишлари эса *иккинчи тур кучланишлар* деб аталади.

Панжара ичра кучланишлар кристалл панжаранинг бир неча элементар катакчалари ҳажми ичида вужудга келади ва *учинчи тур кучланишлар* деб аталади. Қаттиқ эритмада бегона атом ҳам бўлса, бу атом ўз атрофида кристалл панжарани ўзгартиради, кристалл панжаранинг бу ўзгариши панжара ичра кучланишларга мисол бўла олади.

Юқорида баён этилган кучланишлар ичида термик кучланишларнинг таъсири айниқса катта. Термик кучланишлар ташқи факторларгагина боғлиқ бўлиб қолмай, балки пўлатнинг хоссаларига ҳам боғлиқдир. Агар пўлатнинг пластиклиги паст бўлса, бундай пўлатни совуқлайин босим билан ишлаш (пластик деформациялаш) орқали ундаги термик кучланишларни пасайтириб бўлмайди. Агар термик кучланишлар пўлатнинг мустаҳкамлик чегарасидан ортиб кетса, ўз-ўзидан маълумки, бундай пўлатда дарзлар ҳосил бўлади.

Энди, термик кучланишларнинг қандай келиб чиқиши билан танишиб ўтайлик.

Маълум шакл ва ўлчамдаги деталь Ac_1 ёки Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача (масалан, тоблаш температурасигача) қиздирилиб, сўнгра совитувчи муҳитга туширилса, деталнинг сиртқи қатламлари ички қатламларидан олдин тораяди, чунки сиртқи қатламлари ички қатламларидан кўра тезроқ совийди. Бинобарин, деталнинг ички қатламлари сиртқи қатламларини кенгайтиришга, яъни уларда *чўзилиш кучланишлари* ҳосил қилишга интилади, сиртқи қатламлари эса, ўз навбатида, ички қатламларини сиқишга, яъни уларда *сиқилиш кучланишлари* ҳосил қилишга интилади. Аммо деталь совиган сари унинг ички қатламлари ҳам қисқара боради, бу қисқаришга эса ташқи қатламлари қаршилик кўрсатади, демак, энди ички қатламларда чўзилиш кучланиши, сиртқи қатламларда эса сиқилиш кучланиши вужудга келади. Бу кучланишлар деталь батамом совиб бўлгандан кейин ҳам ўзининг маълум қийматини сақлаб қолади. Қиздирилган детални совитиш вақтида вужудга келган ва деталь совиб бўлгандан кейин ҳам сақланиб қоладиган кучланишлар *қолдиқ кучланишлар* деб аталади.

Пўлатда структура кучланишлари мартенсит ҳосил бўлишида айниқса осон вужудга келиши мумкин, чунки мартенситнинг солиштирма ҳажми бошқа ҳамма структураларнинг солиштирма ҳажмидан каттадир. Демак, тобланган пўлат структураси ҳамма вақт кучланган ҳолатда бўлади, бу кучланишни камайтириш учун эса пўлат бўшатилиши керак.

7- §. ТОБЛАШДА ВУЖУДГА КЕЛАДИГАН НУҚСОНЛАР

Пўлат тўғри тобланмаса, унда ҳар хил нуқсонлар ҳосил бўлиши мумкин. Бу нуқсонлар жумласига, масалан, тобланган пўлат қаттиқлигининг етарли даражада бўлмаслиги, ортиқча мўрт бўлиб қолиши,

деталда тобланмай қолган жойлар бўлиши, деталь сиртининг углеродсизланиши ва оксидланиши, деталнинг тоб ташлаши, деформацияланиши ва унда дарзлар ҳосил бўлиши киради. Ана шу нуқсонларни бирма-бир кўриб чиқайлик.

Тобланган деталь қаттиқлигининг етарли даражада бўлмаслиги. Бу нуқсонга температуранинг керагидан пастроқ бўлиши, деталнинг тоблаш температурасида етарли вақт тутиб турилмаганлиги ёки етарли даражада тез совитилмаганлиги сабаб бўлади. Температура пастроқ бўлса ёки тоблаш температурасида деталь етарли вақт тутиб турилмаса, аустенит углеродга кам тўйинади, бунинг натижасида мартенситнинг қаттиқлиги пасаяди. Деталь етарли даражада тез совитилмаса, аустенит мартенситга айланиш даражасигача ўта совимайди, бунинг оқибатида пўлат структураси ё қисман ёки батамом троостит ёхуд сорбитдан иборат бўлиб қолади.

Бу нуқсонни йўқотиш учун пўлат юмшатилиб, сўнгра такрор тобланади.

Тобланган деталнинг ортиқча мўрт бўлиб қолиши. Бундай нуқсон пўлатнинг зарур температурадан юқори температурагача қиздириб юборилишидан келиб чиқади. Пўлат зарур температурадан юқори температурагача қиздириб юборилганда аустенит доналари йириклашиб кетади ва пўлат тобланганда унинг мўртлиги ошади. Бу нуқсонни йўқотиш учун ҳам пўлат юмшатилиб, сўнгра такрор тобланади.

Деталь сиртининг оксидланиши ва углеродсизланиши. Бу нуқсон пўлат сиртида куйинди (оксид) ҳосил бўлиши ва пўлатнинг сиртқи қатламидаги углероднинг куйиб кетишидан иборат. Пўлат ҳимоя атмосфераси бўлмаган, бошқача айтганда, атмосфераси контрол қилинмайдиган алангали печларда ёки электр печларида қиздирилганда пўлатнинг сирти оксидланади ва углеродсизланади. Шунинг учун пўлат деталь бундай печларда қиздириладиган бўлса, тоблангандан кейин уни силлиқлаш, яъни сиртидаги углеродсизланган ёки оскидланган қатламни йўқотиш учун деталда қўйим қолдирилади, бу эса термик ишланадиган деталь тайёрлаш технологиясини мураккаблаштиради ва детални қимматлаштиради. Бу нуқсонга алангали печларда ва электр печларида ҳимоя атмосфераси ҳосил қилиш йўли билан барҳам берилиши мумкин. Ҳимоя атмосфераси иссиқлик бериш қобилияти юқори газларни, масалан, кокс газини ҳаво етишмайдиган жойда ёндириш, циста кўмирни газификация қилиш ва бошқа йўллар билан ҳосил қилинади.

Тобланадиган пўлат детални суюқлантирилган туз ёки тузларда, шунингдек, вакуумда қиздириш йўли билан ҳам бундай нуқсонларга барҳам берилади.

Деталда тобланмаган жойларнинг қолиши. Бу нуқсоннинг сабаби пўлат деталларнинг зарур температурагача қиздирилмаслиги, етарли даражада тез совитилмаслиги, нотекис совитилиши, совитиш процессида деталларнинг бир-бирига тегиб туриши, деталлар сиртининг ифлосланганлиги, пўлат дастлабки структурасининг бир жинсли бўлмаслиги, масалан, феррит тўпланиб қолган жойлар борлигидир. Дастлабки структураси гетероген бўлган пўлат тоблаш температурасигача қиздирилганда ферритли жойларда феррит ўзгармай қолади ёки углероднинг концентрацияси кам аустенит ҳосил бўлади. Ўз-ўзидан тушунарлики, деталь тўғри тобланган тақдирда ҳам ана шу жойларда унинг қаттиқлиги паст бўлади.

Юқорида баён этилган сабаблар йўқотилса, масалан, детални тоблашдан олдин унинг сирти тозаланса, деталь олдиндан нормалланиб, пўлатнинг структураси бир жинсли қилинса ва тоблашнинг бошқа

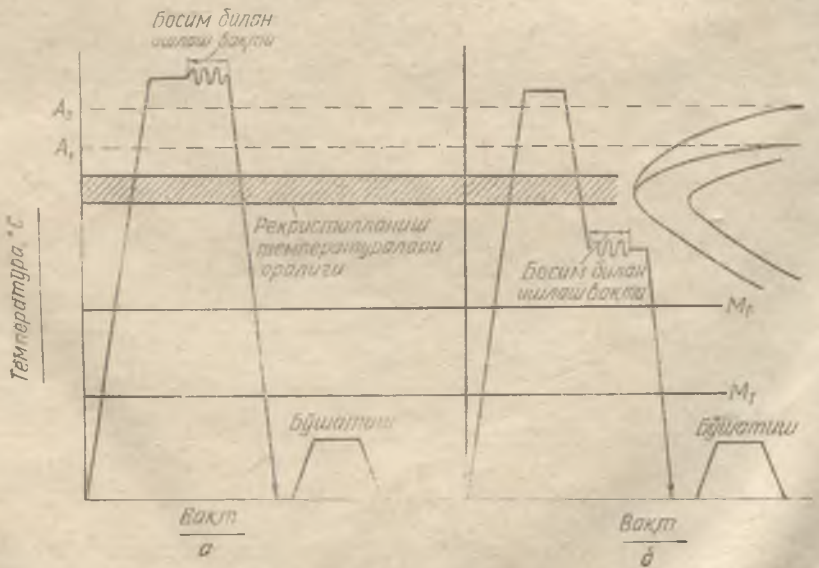
қоидалари бажарилса, деталда тобланмаган жойларнинг қолишига барҳам берилган бўлади.

Деталнинг деформацияланиши, тоб ташлаши ва дарз кетиши. Бу нуқсоннинг сабаби биз юқорида (6-параграфда, 219-бет) кўриб ўтган ички кучланишлардир. Аустенитнинг мартенситга айланиш соҳасида пўлат секин совитилса — поғонали, изотермик тобланса ёки икки муҳитда совитилса, ички кучланишлар камайиб, бундай нуқсонларга барҳам берилади. Майда деталлар, шунингдек, шакли оддий деталлар тоб ташлашга камроқ мойил бўлади. Шакли мураккаб деталларни углеродли пўлатлардан эмас, балки легирланган пўлатлардан тайёрлаш маъқулроқ, чунки углеродли пўлатлар сувда тобланса, легирланган пўлатлар мойда тобланади. Деталь мойда тобланганда ички кучланишлар катта бўлмайди.

8-§. ПЎЛАТНИ ТЕРМОМЕХАНИК ИШЛАШ

Пўлатни A_3 критик нуқтадан юқорироқ температурагача қиздириб, маълум вақт тутиб турилгандан кейин ё шу температуранинг ўзида ёки рекристалланиш температурасидан пастроқ температурагача совитилгач босим билан ишлаб, сўнгра тоблаш ва тобланғандан кейин паст температурада бўшатиш процесси *термомеханик ишлаш* деб аталади. Бинобарин, деформациялаш температурасига кўра, термомеханик ишлашни икки турга: юқори температурали термомеханик ишлаш (ЮТМИ) тури билан паст температурали термомеханик ишлаш (ПТМИ) турига бўлиш мумкин.

Юқори температурали термомеханик ишлаш процесси пўлатни A_3 критик нуқтадан ва, бинобарин, рекристалланиш температурасидан юқори температурагача қиздириш, шу температурада маълум вақт тутиб туриб, пўлат структурасини аустенитга айлантириш, сўнгра босим билан ишлангандан кейин тез совитишдан (тоблашдан), яъни аустенитни мартенситга айлантиришдан иборат (182-расм, *а*). Босим билан



182-расм. Термомеханик ишлаш схемаси:

а — юқори температурали термомеханик ишлаш (ЮТМИ); *б* — паст температурали термомеханик ишлаш (ПТМИ).

ишланган пўлат тез совитилмаса, аустенит рекристалланиб, унинг доначи йириклашади.

Паст температурали термомеханик ишлашда пўлат A_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиб, унинг структураси аустенитга айлантирилади. Шундан кейин пўлат рекристаллаииш температурасидан паст (400—500°С) температурагача ўта совитилади, яъни нисбатан барқарор ҳолатга келтирилади ва шу температурада босим билан ишланади (182-расм, *б*). Босим билан ишланган пўлатни дарҳол эмас, балки маълум вақт ўтгандан кейин совитиб, аустенитни мартенситга айлантириш мумкин, чунки бу температураларда аустенитда рекристаллаииш содир бўлмайди. Юқори температурали термомеханик ишлашда ҳам, паст температурали термомеханик ишлашда ҳам тобланган пўлат паст температурада бўшатилади.

Юқори температурали термомеханик ишлашда пўлатнинг пухталиги анча юқори бўлади [$\sigma_b = 2200 - 3000$ *Мн/м*^{2}(10^{-1} *кГ/мм*^{2})], бунинг сабаби шуки, босим билан ишланган пўлатда аустенит доналаридан мартенситнинг анча майда пластинкалари ҳосил бўлади.

Юқори температурали термомеханик ишлаш усули ҳар қандай қотишмага, паст температурали термомеханик ишлаш усули эса фақат мартенсит ҳосил қилиш учун тобланадиган пўлатларгагина татбиқ этилиши мумкин.

182-расмдан кўриниб турибдики, юқори температурали термомеханик ишлаш анча осон, паст температурали термомеханик ишлаш эса мураккаброқдир, чунки бунда ишлов бериладиган пўлатни ҳар хил температурали печларга олиб ўтиш ва ўзгармас температурада тутиб туриш зарур бўлади.

ЮТМИ да пўлатнинг деформацияга кўрсатадиган қаршилиги ПТМИ дагига қараганда кичик бўлади, чунки ЮТМИ да пўлат анча юқори температурада деформацияланади.

В. Д. Садовский тадқиқотларининг кўрсатишича, ЮТМИ натижасида, тобланган пўлатни бўшатишда вужудга келадиган биринчи ва иккинчи тур мўртликларга барҳам бериш мумкин (306-бетга қаранг).

Паст температурали термомеханик ишланган пўлатнинг пухталиги юқори температурали термомеханик ишланган пўлатникидан ҳам юқори бўлади. Масалан, легирланган конструкцион пўлатлар паст температурали термомеханик ишлангандан кейин уларнинг узилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 2700 - 3200$ *Мн/м*^{2}(10^{-1} *кГ/мм*^{2}) бўлиб колади. Бунинг сабаби шуки, ПТМИ да босим билан ишлаш температурасида пўлатда рекристаллаииш процесси содир бўлмайди, ЮТМИ да эса рекристаллаииш процессининг дастлабки босқичлари содир бўлиши мумкин, чунки бунда пўлат рекристаллаииш температурасидан юқори температурада босим билан ишланади.

9-§. ПЎЛАТНИ БЎШАТИШ

Тобланган пўлатни Ac_1 критик нуқтадан паст температурагача қиздириб, сўнгра маълум тезлик билан совитиш процесси *бўшатиш* деб аталади. Тобланган пўлатни бўшатиш термик ишлашнинг энг охирги операцияси бўлиб, бунда беқарор мартенсит ва қолдиқ аустенит барқарор ҳолатга келади, ички (қолдиқ) кучланишлар камаяди ва пўлатнинг механик хоссалари ўзгаради.

Тобланган пўлатнинг хоссалари бўшатиш операциясининг қанчалик тўғри ўтказилганлигига кўп даража боғлиқдир. Пўлатни бўшатишдаги асосий факторлар қиздириш температураси ва шу температурада тутиб

туриш вақтидир. Асосий эътибор қиздириш температурасини танлашга ва бўшатиш процесси вақтида шу температурани сақлаб туришга қаратилиши керак. Кўпинча, паст температурада бўшатиладиган деталлар суюқлантирилган тузли ванналарда қиздирилади, бундай ванналарда температурани бир хил сақлаб туриш мумкин бўлади. Детални паст ва ўртача температурагача қиздириб, сўнгра бўшатишда ҳаволи (оксидловчи атмосферали) печлардан фойдаланиладиган бўлса, пирометр бўлмаган тақдирда, температура режими деталь сиртининг рангига қараб назорат қилиб турилади. Ана шу ранг *оксидлар ранги* (товланиш ранги) деб аталади. Пўлат қиздирилганда оксидлана бошлайди ва пўлатнинг тоза (силлиқланган) сиртида оксидларнинг юпқа тиниқ пардалари ҳосил бўлади. Шу пардаларнинг қалинлигига қараб, улар турлича тусга киради. Бундай рангларнинг пайдо бўлиши оксиднинг ҳар хил қалинликдаги пардаларида оқ рангнинг интерференцияси билан боғлиқдир. Интерференция натижасида маълум узунликдаги тўлқинлар ютилган бўлади. Пўлатни бўшатиш процесси қандай факторларга боғлиқ бўлса, парданинг қалинлиги ҳам худди шу факторларга, яъни қиздириш температураси ва шу температурада тутиб туриш вақтига боғлиқдир. Шу сабабли оксидлар ранги пўлатнинг қай даражада бўшатилганлигини бир қадар кўрсатади.

Оксид пардасининг қалинлигига ва температурага қараб оксидлар рангининг қандай бўлиши 18-жадвалда кўрсатилган.

18-жадвал

Оксидлар ранги	Температураси, °С	Оксид пардасининг қалинлиги, *мк* (микрон)
Сариқ	220—240	0,045
Қовоқ ранг	240—260	0,050
Қизғиш-бинафша	260—280	0,065
Кўк	280—300	0,070

Пўлат оксидлар рангига қараб икки усулда бўшатилади.

1. Зарб билан ишлайдиган кесувчи асбобни тоблашда сувда унинг фақат иш қисмигина совитилади ва сувдан олингач, унинг сувга тегмаган қисми иссиқлиги ҳисобига маълум температурагача қизиши (оксидлар рангига қараб) кутиб турилади. Бу ҳодиса бўшатиш билан бўладиган тоблашдир.

2. Асбобнинг ҳамма ёғи тобланади, шундан кейин суюқлантирилган туз ёки кўрғошинли ваннада юқори температурада асбобнинг иш қисмидан бошқа томони бўшатилади ва пўлатнинг иссиқ ўтказувчанлигидан фойдаланиб, иш қисми қиздирилади. Бунда ҳам қизиш даражаси оксидлар рангига қараб аниқланади. Асбобнинг иш қисми бўшатиш температурасигача қиздирилгандан кейин, бутун асбоб дарҳол совитилади.

Таркибидаги углерод миқдори бир хил бўлган пўлатдан ясалган асбоб иш қисмининг қаттиқлиги бўшатиш температурасига боғлиқ бўлади. Асбобнинг иш қисми кўк тусда (оксидлар ранги кўк бўлганда) бўшатилса, унинг қаттиқлиги энг паст, сариқ тусда бўшатилганда эса энг юқори бўлади.

Пўлатни бўшатишнинг уч хил тури бор:

а) паст температурада бўшатиш — пўлат 200°С чамаси температурагача қиздирилиб, сўнгра маълум тезлик билан совитилади, натижада пўлат таркибида, асосан, бўшатилган мартенсит бўлади;

б) ўртача температурада бўшатиш — пўлат 200—450°С температуралар оралиғида қиздирилиб, сўнгра маълум тезлик билан совитилади, натижада пўлат таркибида, асосан, бўшатиш троостити бўлади;

в) юқори температурада бўшатиш — пўлат 450°С дан юқори (Ac_1 критик нуқтагача бўлган) температурагача қиздирилиб, сўнгра маълум тезликда совитилади, бунда пўлат, асосан, бўшатиш сорбитидан иборат бўлади.

Тобланган пўлатни бўшатишда бўладиган ўзгаришларга оид маълумотларни VI боб, II бўлимчасининг 5-параграфидан қаранг (188-бет).

Б. ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ

I. ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

Чўянларни термик ишлашдан кўзда тутиладиган мақсад уларнинг структурасини (тузилишини), хоссаларини ва кучланганлик (зўриққанлик) ҳолатини ўзгартиришдан иборатдир. Чўянларни термик ишлашнинг ўзига хос хусусиятлари шундан иборатки, биринчидан, цементитни парчалаб, унинг таркибидаги углерод эркин ҳолатга — графит ҳолатига ўтказилади, иккинчидан, бирикма таркибига кирадиган углерод миқдорини (перлит миқдорини) ошириш мақсадида эркин углерод (графит) эритилади.

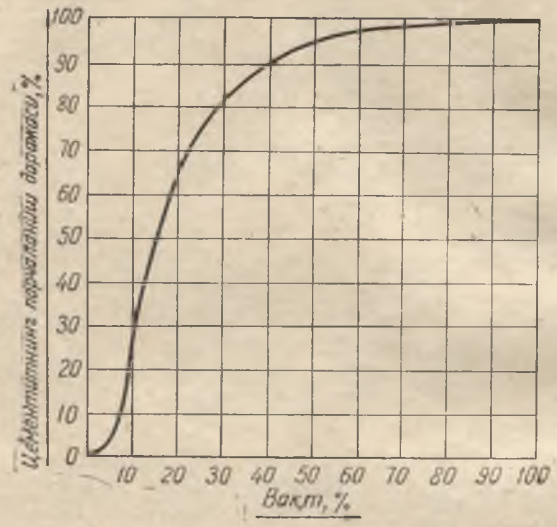
Цементитнинг парчаланиши. Пўлатни термик ишлаш усулларини кўриб чиқишда цементитнинг барқарор фаза эмаслиги айтиб ўтилган эди. Бинобарин, чўянлар таркибидаги цементит ҳам маълум шароитда парчаланиб, барқарор фазалар — аустенит билан графит ёки феррит билан графит ҳосил қилади. $P'S'K'$ чизиғидан (738°С дан) юқорида (127-расмга қаранг) аустенит билан графит барқарор фазалардир, демак, бу температурада цементит аустенит билан графитга парчаланади, $P'S'K'$ чизиғидан (738°С дан) паст температурада эса феррит билан графит барқарор бўлиб, цементит ана шу фазаларга парчаланади.

Цементитнинг парчаланиб графит ҳосил қилиш процесси *қаттиқ ҳолатда графитланиш* деб аталади (бу тўғрида V боб, чўянлар бўлимининг 1-параграфига ҳам қаранг, 150-бет). Температура кўтарилган сари цементитнинг парчаланиш процесси тезлашади. Ватанимиз заводларида олинган маълумотларга кўра, чўяндаги эвтектика таркибига кирувчи цементит билан иккиламчи цементит 800°С температурада 300 минут давомида, 1050°С температурада эса атиги 4 минут давомида парчаланиб бўлади. Цементитнинг айни бир температурада парчаланиш (изотермик парчаланиш) вақти ҳам ҳар хил бўлади. Цементитнинг изотермик парчаланиши билан вақт орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқ 183-расмда тасвирланган.

Цементитнинг изотермик парчаланиш процесси дастлаб секинроқ бориб, сўнгра жуда тезлашуви, ундан кейин эса (90% цементит парчаланиб бўлгач) яна секинлашуви 183-расмдаги эгри чизиқдан яққол кўриниб турибди. Совет олимларидан С. А. Салтиков, Г. Н. Троицкий, А. Д. Ассонов ҳамда В. И. Прядилов тадқиқотларининг кўрсатишича, оқ чўян қиздирилиб, сўнгра сувда, мойда ёки ҳавода тобланса, цементитнинг парчаланиш тезлиги ошиб кетади. Бунинг сабаби шуки, чўян тобланғандан кейин цементитнинг парчаланиш марказлари сони анча ортади. Масалан, одатдаги оқ чўян юмшатилганда унинг ҳар $мм^2$ сат-

ҳида 50 га яқин графит заррачаси бўлса, олдиндан тобланиб, сўнгра юмшатилгандан кейин бундай заррачалар сони 4000 га етади.

Цементитнинг парчаланиш тезлигига (графитланиш процессига) қўшимчалар ҳам катта таъсир этади (бу тўғрида V боб, чўянларга оид бўлимнинг 2-параграфида батафсилроқ сўзланган 153-бет); масалан, чўянга 0,1—0,2% алюминий қўшилса, цементитнинг парчаланиши тезлашади. Алюминий (Al), углерод (C), кремний (Si), титан (Ti) ва ни-



183- расм. Цементитнинг изотермик парчаланиши билан вақт орасидаги боғланиш графиги (100% вақт цементитнинг батамом парчаланишига тўғри келади).

кель (Ni) цементитнинг парчаланиш процессини тезлатади, вольфрам (W), марганец (Mn), молибден (Mo), олтингугурт (S) ва хром (Cr) эса секинлаштиради.

Чўяндан деталь қуйиш шароити ҳам цементитнинг парчаланиш тезлигига таъсир қилади. Суюқ чўяннинг бирламчи кристалланиш тезлиги қанчалик катта ва, демак, чўяннинг заррачалари қанчалик майда бўлса, цементит шунчалик тез парчаланади.

Цементитнинг парчаланиши натижасида паға-паға (бодроқ нусха) графит ҳосил бўлади, бундай графит *юмшаш графити* ёки *юмшаш углеродидир* (184-расм, *б*). Паға-паға графитнинг ташқи кўринишини 132-



184- расм. Оқ чўян юмшатилганда структурасининг ўзгариши × 100:

а — юмшатишдан олдин; *б* — графитловчи одатдаги юмшатишдан кейин; *в* — олдин тоблаб олиниб, сўнгра юмшатилгандан кейин.

расмдан қаранг, 156-бет. Агар оқ чўяннинг юмшатишдан олдинги структураси (184-расм, *а*) билан юмшатилгандан кейинги структурасини (184-расм, *в*) бир-бирига солиштириб кўрсак, чўян юмшатилгандан, яъни цементит парчалангандан кейин углерод цементит бўлган жойга эмас, балки бошқа ҳар хил жойларга тўпланганлигини кўрамиз. Демак, бунда углерод диффузияси содир бўлар экан.

Цементитнинг парчаланиш процесси қуйидаги процесслардан иборат:

а) цементитнинг парчаланиб, ундаги углероднинг аустенитга (критик температурадан юқорида) ёки ферритга (критик температурадан пастда) ўтиш процесси;

б) углерод заррачаларининг графитланиш марказига аустенит орқали диффузиланиш процесси;

в) графитланиш марказидан темир заррачаларининг кетиши, яъни углерод заррачалари учун жой бўшаш процесси — ўздиффузия;

г) аустенитдан углероднинг ажралиб чиқиб, графит донасининг ўсиши.

Равшанки, айни температурада мураккаб процесснинг умумий тезлиги шу температурада энг секин борадиган процесснинг тезлигига боғлиқ бўлади.

Юқорида айтиб ўтилган процесслар натижасида углероднинг сферонд шаклидаги доналари — юмшаш углероди ҳосил бўлади. Бу процесс *аустенит орқали парчаланиш* деб аталади.

Цементитнинг парчаланиши ва углероднинг диффузиланиши алоҳида-алоҳида процесслардир. Уларнинг тезликлари бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ўзгаради. Температура кўтарилган сари цементитнинг парчаланиш тезлиги билан углероднинг диффузиланиш тезлиги ортади.

Бирор температурагача углероднинг диффузиланиш тезлиги цементитнинг парчаланиш тезлигидан катта бўлади, бу температурани критик температура деб атаймиз ва $t_{кр}$ билан белгилаймиз. $t_{кр}$ дан юқорида углероднинг диффузиланиш тезлиги цементитнинг парчаланиш тезлигидан кичик бўлади. Демак, чўян $t_{кр}$ дан паст температурада юмшатилса, цементитнинг парчаланишидан ҳосил бўлган углероднинг ҳаммаси аустенит орқали ўтиб, графитланиш марказида тўпланишга улгуради; агар чўян $t_{кр}$ дан юқори температурада юмшатилса, цементитнинг парчаланишидан ҳосил бўлган углерод аустенитдан ўтишга улгура олмай, асосан, цементит бўлган жойнинг ўзида қолади. Бунинг натижасида сфероид шаклли углерод эмас, балки пластинка нусха углерод ҳосил бўлади, бу углерод юмшаш углероди дейилмай, тўғридан-тўғри графит деб, цементитнинг бундай парчаланиши эса *бевосита парчаланиш* деб аталади.

Чўянда юмшаш углероди ҳосил қилиш керак бўлса, уни $t_{кр}$ нуқтадан юқори температурагача қиздириш ярамайди. Одатдаги оқ чўянлар учун $t_{кр} = 1080 — 1125°C$. Баъзи элементлар, жумладан кремний $t_{кр}$ нуқтани пасайтиради, шунинг учун таркибида кўп миқдор кремний бўлган оқ чўян юмшатилганда пластинка нусха графит ҳосил бўлиши мумкин.

Цементит A_1 критик нуқтадан юқори температурада парчаланганда аустенит билан юмшаш углероди ҳосил бўлади *(графитланишнинг биринчи босқичи)*. Фақат феррит билан юмшаш углеродидан иборат структура ҳосил қилиш, яъни тўла графитланиш процессини амалга ошириш учун чўян ё стабил (барқарор) система (темир — графит системаси) бўйича яна совитилиши ёки A_1 критик нуқтадан пастроқ температурада маълум вақт тутиб турилиши керак *(графитланишнинг иккинчи босқичи)*. Чўян стабил система бўйича совитилганда аустенитдан ортиқча углерод ажралиб чиқади, A_1 критик нуқтадан паст темпе-

ратурада тутиб турилганда эса перлит таркибидаги цементитдан углерод ажралиб чиқади.

Чўянни совитишнинг аустенитдан углерод ажралиб чиқиши учун зарур бўлган тезлиги чўяннинг химиявий таркибига боғлиқ. Чўянда графитловчи элементлар (Al, C, Si, Ti ва Ni) миқдори қанча кўп бўлса, совитиш тезлиги шунча катта бўлади. Перлитдаги цементитнинг парчаланиш тезлиги ҳам чўяннинг химиявий таркибига боғлиқдир: кремний процессни тезлаштирса, хром ва марганец сусайтиради.

Чўянни термик ишлашнинг яна бир усули эркин углеродни эритиш усулидир. Бу усулдан феррит билан графит ёки феррит, графит ва перлитдан иборат кул ранг ёки болғаланувчан чўянларда химиявий бирикма ҳолидаги углерод миқдорини ошириш учун фойдаланилади. Маълумки, углерод γ-темирда α-темирдагидан кўра кўпроқ миқдорда эрийди, демак, углеродни эритиш учун чўян критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиши керак. Чўян критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилгандагина α-темир γ-темирга айланади. Эркин углеродни эритиш процесси цементитлаш процессига (244-бетга қаранг) ўхшашдир, фарқ фақат шундаки, айни ҳолда углерод (карбюризатор) ташқарида эмас, балки чўяннинг ўзида — графит заррачалари тарзида бўлади. Чўяндаги графит заррачалари бир-бирига жуда яқин бўлганлигидан, углероднинг γ-фазага диффузиланиш йўли жуда қисқа бўлади ва, шунинг учун, γ-фазанинг темир — графит диаграммасидаги $S'E'$ чизиғига яқин концентрациягача углеродга тўйиниш процесси нисбатан тез ўтади.

Эркин углероднинг ҳаммаси аустенитда эрийди деган тушунчага келиш ярамайди. Аустенитда 1,1—1,3% углеродгина эрий олади, чўянда эса, одатда, 2,5—3,5% углерод бўлади. Демак, эркин углероднинг фақат бир қисмигина эритмага ўта олади, бир қисми эса графит тарзида қолади. Бинобарин, чўян термик ишланганда шу чўяндаги графит қўшилмалар амалий жиҳатдан олганда ўзгармай қолади.

II. ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Чўянни термик ишлаш назарияси билан қисқача танишиб чиқдик. Энди чўянни термик ишлаш технологиясини кўриб чиқайлик.

1-§. КУЛ РАНГ ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ

Чўяндаги ички кучланишларни йўқотиш учун юмшатиш. Кул ранг чўяндан қуйилган мураккаб шаклли деталлардаги ички кучланишларни (қуйиш жараёнида ҳосил бўлган кучланишларни) йўқотиш учун бундай деталлар 500—550°С температурагача секин қиздирилади; қиздириш тезлиги соатига 75—100°С бўлади. 500—550°С гача қиздирилган деталь 2—8 соат тутиб турилгач, печь билан биргаликда соатига 30—50°С тезлик билан 200—150°С температурагача совитилади. Шундан кейин, совитиш ҳавода давом эттирилади. Бундай юмшатиш, баъзан, сунъий эскиртириш деб ҳам аталади. Агар деталь табиий эскиртирилса, яъни цехда ёки омборда 12—18 ойгача асраб қўйилса, ички кучланишларнинг бир қисми сақланиб қолади. Демак, табиий эскиртириш ўринли бўлмайди.

Графитловчи юмшатиш. Бу усулдан деталнинг қаттиқлигини пасайтириш учун фойдаланилади. Бу усулда кул ранг чўяндан ясалган деталь 650—700°С температурагача қиздирилади. Шу температурада тутиб туриш вақти қиздириш температурасига ва чўян таркибидаги

кремний миқдорига боғлиқдир. Магний қўшиб модификацияланган чўян учун юмшатишнинг бу усули айниқса катта аҳамиятга эга, чунки магнийли чўян паст температурада юмшатилганда унинг пластиклиги ва қовушоқлиги ортади.

Чўянда химиявий бирикма таркибидаги углерод миқдорини ва, демак, чўяннинг қаттиқлигини ошириш керак бўлса, бундай чўян нормалланади. Химиявий бирикма таркибидаги углерод миқдорини ошириш учун эркин углеродни темирда эритиш керак. Эркин углеродни эритиш учун эса чўян 850—900°С температурагача қиздирилиб, сўнгра ҳавода совитилади — нормалланади. Нормаллаш натижасида чўянда перлит миқдори ортади, перлит заррачалари майдалашади ва, ҳатто, перлит сорбитга айланади.

Кул ранг чўянни тоблаш учун у 820—950°С температурагача қиздирилиб, углеродга тўйинган аустенит билан графитдан иборат структура ҳосил қилинади, қиздириш температурасида маълум вақт тутиб турилгандан кейин, сувда, мойда ёки суюқлантирилган тузда совитилади.

Кул ранг чўяндан ясалган детални 820—950°С температурада тутиб туриш вақти деталнинг қалинлигига ва чўяннинг қиздиришдан олдинги структурасига боғлиқдир. Чўяннинг қиздиришдан олдинги структурасида феррит қанчалик кўп бўлса, эркин углеродни γ-темирда эритиб, углеродга тўйинган аустенит ҳосил қилиш учун детални шунча узоқ вақт тутиб туриш керак (бу вақт 3 соатга етади). Агар чўяннинг қиздиришдан олдинги структураси перлит бўлса, деталнинг ички қатламлари температураси ҳам 820—950°С га етгунча тутиб туришнинг ўзи кифоя.

Кул ранг чўяндан ясалган детални ўзгармас температурада (изотермик) тоблашнинг аҳамияти жуда катта, чунки бу усул чўяннинг пухталигини қарийб икки баравар, ейилишга чидамлилигини эса қарийб беш баравар оширишга имкон беради. Деталь тобланиб бўлгандан кейин, бўшатилади. Бўшатиш режими деталнинг талаб этиладиган қаттиқлигига боғлиқ бўлади. Деталнинг қаттиқлиги пастроқ бўлиши талаб этилса, у юқори (450—650°С) температурада, қаттиқлиги юқорироқ бўлиши талаб этилганда эса паст (200—250°С) температурада бўшатилади.

2-§. ОҚ ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ

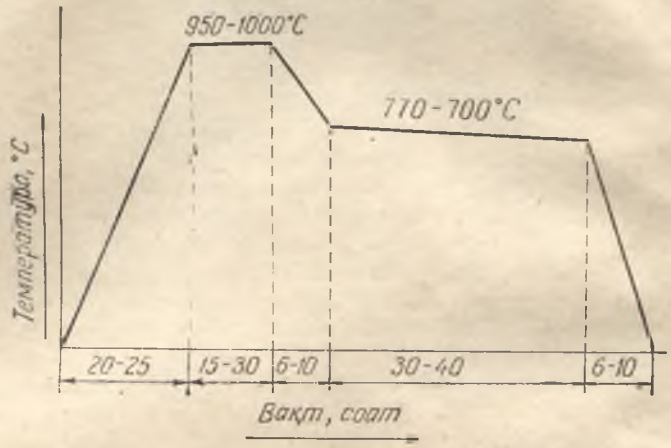
Оқ чўянни термик ишлаш уни ҳар хил мақсадларда юмшатишдан иборатдир.

Графитловчи юмшатиш. Оқ чўян жуда қаттиқ ва мўрт бўлганлиги учун деталлар тайёрлашда ундан фойдаланилмаслиги чўянларга бағишланган бобда айтиб ўтилган эди (154-бет). Оқ чўян юмшатилиб, болғаланувчан чўянга айлантирилади. Болғаланувчан чўян ишлаб чиқариш учун эвтектикагача бўлган оқ чўяндан қуйма тайёрланади. Бундай чўянда 2,2—3,2% С, 0,7—1,5% Si, 0,3—0,4% Mn, 0,1—0,2% P ва 0,06—0,1% S бўлади. Оқ чўян перлит билан ледебуритдан иборатдир. Бинобарин, оқ чўяннинг структурасида эвтектика цементити, иккиламчи цементит, эвтектоид цементити (перлит таркибига кирувчи цементит) бўлади. Графитловчи юмшатишдан кўзда тутиладиган мақсад барча цементитни парчалаб, феррит ва юмшаш углероди ҳосил қилишдан иборат.

Болғаланувчан чўян ҳосил қилиш учун оқ чўяннн юмшатишнинг амалий режими 185-расмда тасвирланган.

185-расмдаги графикдан кўриниб турибдики, оқ чўян қуймаси 20—25 соат давомида 950—1000°С температурагача қиздирилиб, шу

температурада 15—30 соат тутиб турилса, ортиқча цементит парчаланиб бўлади, яъни графитланиш процесси содир бўлади, шундан кейин деталь 770°С гача тезроқ, яъни 6—10 соат давомида совитилади. 770°С гача совитилган чўян жуда секин, яъни 30—40 соат давомида 700°С гача яна совитилади ёки олдин 740°С гача 6—10 соат давомида совитилиб, сўнгра шу температурада (ўзгармас температурада) 30—40 соат тутиб турилади. Чўян 770° дан 700°С гача жуда секин совитилганда қайта кристалланиш темир — графит системаси бўйича бориб, ҳамма углерод



185- расм. Оқ чўянни юмшатиш режимининг тахминий графиги.

эркин ҳолатда ажралиб чиқади, чўян ўзгармас температурада (740°С да) тутиб турилганда эса перлит таркибидаги цементитнинг парчаланиш (графитланиш) процесси содир бўлади.

Графитланиш процесси тугагач чўян печдан олиниб, ҳавода совитилади, натижада болғаланувчан чўян ҳосил бўлади.

Ватанимиз олимлари, инженер ва техниклари оқ чўянни юмшатиш процессини тубдан такомиллаштирдилар, жадал юмшатиш усулларини жаҳонда биринчи бўлиб топдилар ва жорий қилдилар; оқ чўянни юмшатиш вақтини 250—300 соатдан 60—70 соатга туширдилар. Аммо бу билангина чегараланиб қолинмади, совет олимлари, инженер ва техниклари графитловчи юмшатишнинг ўта жадал усулларини жорий қилдилар ва қилмоқдалар.

Графитловчи юмшатишнинг ўта жадал усулида оқ чўяндан қуйилган деталлар 900—950°С гача қиздирилиб, сўнгра сувда, мойда ёки ҳавода совитиш йўли билан тобланади, шундан кейин бу деталлар графитланишнинг биринчи ва иккинчи босқичидан ўтказилади. Чўян тобланганда графитланиш марказлари сони ортганлигидан, юмшатиш вақти анча қисқаради. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, олдиндан тобланиб, сўнгра юмшатиладиган чўянда 0,2—0,3% Сг бўлиши мумкин, ҳолбуки одатдаги усул билан юмшатиладиган чўянда 0,05—0,07% дан ортиқ Сг бўлмаслиги керак.

Юқори температурагача қиздириб графитловчи юмшатиш усулидан фойдаланиладиган бўлса, чўян суюқлантирилган тузли ваннада қиздирилади. Бу усулда графитланишнинг биринчи босқичи оқ чўяндан тайёрланган детални суюқлантирилган барий хлорид $BaCl_2$ ли ваннага ботириш йўли билан ўтказилади; суюқлантирилган тузнинг температураси 1060—1100°С бўлиши,

аммо $t_{кр}$ дан паст бўлмаслиги керак, агар температура $t_{кр}$ дан паст бўлса, пластинка нусха графит ҳосил бўлади. Температура юқори бўлганлигидан, цементит 45—60 минутда батамом парчаланиб бўлади. Шундан кейин деталь ваннадан олиниб, графитланишнинг иккинчи босқичи одатдаги печда ўтказилади, яъни 730°С температурагача қиздирилиб, шу температурада 8—20 соат тутиб турилгандан кейин, ҳавода совитилади.

Чала графитловчи юмшатиш. Агар юмшатилган чўянда перлитнинг ҳаммаси ёки унинг бир қисми қолиши керак бўлса, чала графитловчи юмшатиш усулидан фойдаланилади. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, чала графитланиши лозим бўлган чўян 750°С гача тез, сўнгра 950—970°С гача секинроқ қиздирилади ва бу температурада 20—30 соат тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади ёки 710—730°С гача тез совитилгандан кейин шу температурада 10—20 соат тутиб турилиб, яъни графитланишнинг иккинчи босқичи охирига етказилмай, чўян ҳавода совитилади.

Чала юмшатилган чўяндан антифрикцион материал сифатида фойдаланилади.

Сфероидловчи юмшатиш. Пухталиги, пластиклиги ва қовушоқлиги юқори бўлган болғаланувчан чўян донадор перлит билан юмшаш углеродидан иборат бўлиши керак. Ана шундай чўян ҳосил қилиш учун чўянга 0,9—1,1% марганец қўшилади. Қўшилган марганец графитланишнинг биринчи босқичини озроқ чўзади-ю, аммо графитланишнинг иккинчи босқичида цементитнинг парчаланишини жуда ҳам сусайтириб юборади, бу ҳол чўянни маълум температурада пластинка нусха перлитнинг донадор перлитга айланиши учун зарур вақт тутиб туришга имкон беради. Чўянда донадор перлит ҳосил қилиш учун, чўян 750°С гача тез, сўнгра 950—970°С гача секинроқ қиздирилади ва шу температурада 15—30 соат тутиб турилиб, 840—860°С гача тезроқ совитилади ва шу температурада 1 соатча тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади.

Агар графитланишнинг биринчи босқичидан кейин чўян тобланиб, мартенсит ёки троостит-мартенсит билан юмшаш углеродидан иборат структура ҳосил қилингандан сўнг бу чўян 620—680°С да бўшатилса, унда худди юқорида баён этилгани каби хоссалар пайдо бўлади.

Углеродсизлантирувчи юмшатиш. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, оқ чўяндан тайёрланган деталлар оксидловчи муҳитли яшикларга жойланиб, сўнгра ана шу яшикларда юмшатилади. Оксидловчи муҳит сифатида руда, куйинди ва бошқалар ишлатилади. Яшикларга деталлар жойлангандан кейин яшикларнинг қопқоғи ёпилиб, усти лой билан яхшилаб сувалади-да, олдин 950°С гача тез, сўнгра 1000—1050°С гача секинроқ қиздирилади ва шу температурада 210 соат тутиб турилиб, яшиклар ҳавода ёки печь билан бирга совитилади. Чўяндаги углерод рудадаги ёки куйиндидаги оксидлар билан ўзаро таъсир этади, бунинг натижасида углероднинг кўп қисми куйиб кетади, деталнинг 1,5—2,0 *мм* чуқурликдаги сиртқи қатлами эса батамом углеродсизланади. Чўянни бундай юмшатишда деталь, одатда, критик нуқтадан паст температурада тутиб турилмайди, натижада деталнинг ўзаги перлит билан юмшаш углеродидан иборат бўлади, шунинг учун бундай чўяннинг синиқ жойи оқ тусда кўринади. Демак, бунда оқиш ўзакли чўян ҳосил бўлади. Агар қора ўзакли, яъни ферритли болғаланувчан чўян ҳосил қилиш керак бўлса, чўян критик нуқтадан пастроқ температурада тутиб турилиши керак. Углеродсизлантирувчи юмшатиш усулидан камдан-кам фойдаланилади.

3-§. БОЛҒАЛАНУВЧАН ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ

Болғаланувчан чўяндан структураси перлит билан ферритдан иборат (ейилишга чидамли), перлит билан сорбит ёки троостит-мартенситдан иборат (жуда пухта) деталлар тайёрлаш лозим бўлса, графитловчи юмшатишнинг иккала босқичидан ҳам ўтган, яъни структураси феррит билан юмшаш углеродидан иборат бўлган болғаланувчан чўян термик ишланади. Бундай термик ишлашдан кўзда тутиладиган асосий мақсад эркин углеродни γ-темирда эритиш бўлганлигидан чўян 850—900°С температурагача қиздирилиб, углеродга тўйинган γ-қаттиқ эритма ҳосил бўлганга қадар (одатда, 1—2 соат) шу температурада тутиб турилади, сўнгра маълум тезлик билан совитилади. Агар деталнинг структураси перлит билан феррит, перлит ёки сорбитдан иборат бўлиши талаб этилса, зарур температурагача қиздирилган деталь ҳавода ёки ҳаво оқимида, қолган барча ҳолларда эса сувда ёки мойда совитилади. Тобланган деталь 680—700°С температурада бўшатилади.

Ферритли болғаланувчан чўяндан троостит-сорбит структурали болғаланувчан чўян ҳосил қилиш учун, ферритли чўян 840—860°С гача қиздирилиб, шу температурада 30—60 соат тутиб турилади-да, мойда совитилади, шундан кейин эса бўшатилади. Чўянни бўшатиш учун у 680—700°С гача қиздирилади, шу температурада 60—100 соат тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади.

Ферритли болғаланувчан чўяндан ясалган деталларни юза тоблаш усули ҳам бор. Бу усулдан фойдаланилганда деталлар юқори частотали ток билан 1050°С гача қиздирилиб, шу температурада 1 мин. чамаси тутиб турилади. Бунда деталнинг 2—3 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами углерод билан 0,7—0,8% гача тўйинади, шундан кейин деталь сувда совитилади. Деталь сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 50—60 га етади, ички қатламлари эса юмшоқ (НВ=120—130) ва қовушоқлигича қолади, яъни ички қатламларида феррит билан юмшаш углеродидан иборат структура сақланади.

4-§. ОҚАРТИРИЛГАН ЧЎЯННИ ТЕРМИК ИШЛАШ

Кул ранг чўяндан деталь қуйишда металл қолиплардан (кокилдан) ёки нам қолипдан фойдаланилса, чўян таркибида кремний миқдори камроқ (деталнинг деворлари юпқароқ бўлганда) кул ранг чўян оқ чўянга айланиши, яъни оқариши мумкин. Оқартирилган чўянни яна кул ранг чўянга айлантириш мақсадида у графитловчи юмшатиш процессидан ўтказилади. Бундай юмшатиш режими чўянда ҳосил қилиниши керак бўлган структурага боғлиқдир. Агар чўянда перлит сақланиб қолиши керак бўлса, деталь графитланишнинг фақат биринчи босқичидан ўтказилади. Бунда деталь 850—950°С температурагача қиздирилади. Агар чўянда анчагина миқдор феррит ҳосил қилиш керак бўлса, у ҳолда деталь графитланишнинг иккинчи босқичидан ҳам ўтказилади. Бунда деталь 680—700°С температурагача қиздирилиб, сўнгра секинроқ совитилади. Бундай чўянда, одатда, 2,5—3,5% кремний бўлади, шунинг учун цементит графитланишнинг биринчи босқичида атиги 0,5—5 соат, графитланишнинг иккинчи босқичида эса 2—6 соат ичида батамом парчаланади. Оқартирилган чўяндаги ички кучланишларни йўқотиш учун бундай чўяндан ясалган деталлар фақат паст температурада юмшатилади.

VII боб

МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИРТҚИ ҚАТЛАМИНИ ПУХТАЛАШ

А. ПЎЛАТНИ ЮЗА ТОБЛАШ

Ишқаланишга ишлайдиган ва динамик жиҳатдан пухта бўлиши талаб этиладиган деталларнинг фақат сиртқи қатламигина қаттиқ, ўзаги эса қовушоқ (пластик) бўлиши керак. Деталларда ана шундай хоссалар уларни юза тоблаш ёки химиявий-термик ишлаш йўли билан ҳосил қилинади. Биз бу ерда фақат юза тоблаш усулларинигина кўриб ўтамиз, чунки химиявий-термик ишлаш шундан кейинги бўлимчада батафсил баён этилади. Юза тоблаш турлари хилма-хил бўлса ҳам, уларнинг моҳияти бир, яъни юза тобланадиган деталларнинг фақат сиртқи қатламигина тоблаш температурасигача қиздирилиб, сўнгра тез совитилади. Бунда деталнинг ички қатламлари ўзининг аввалги хоссаларини сақлаб қолади.

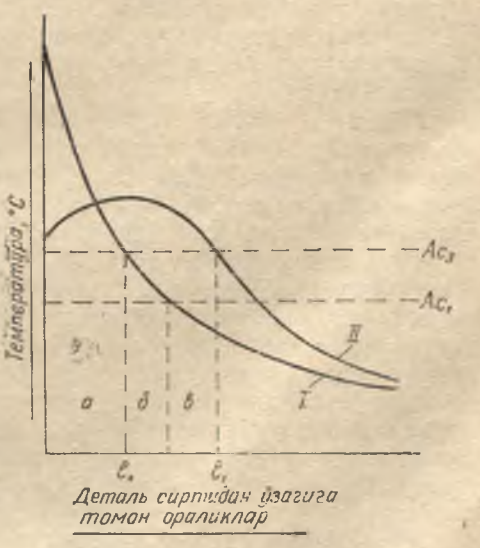
Деталларни юза тоблашда уларнинг сиртқи қатламини зарур температурагача қиздиришнинг турлича усуллари бор, улар қуйидагилардир:

1) газ алангасида (одатда, ацетилен-кислород алангасида) қиздириш; 2) суюқлантирилган туз ёки металларда қиздириш; 3) электр токи билан қиздириш (юқори частотали токлар билан ва контакт усулида қиздириш); 4) электролитларда қиздириш.

Сўнгги йилларда, асосан, электр токи билан қиздириш усулидан фойдаланилмоқда.

Юза тоблашда температуранинг деталь сиртидан ўзагига томон қандай тақсимланиши 186-расмда *I* эгри чизиқ билан тасвирланган.

Деталнинг сиртқи қатлами критик нуқталардан юқори температураларгача тез қиздирилганда сиртқи қатлами билан ички қатламларининг температуралари орасида катта фарқ вужудга келади (186-расм, *I* эгри чизиқ). Агар деталь сиртқи қатламининг температураси Ac_3 нуқтадан юқори температурагача етказилгандан кейин (186-расм, *а* соҳа) тез совитилса, деталнинг сиртқи қатлами тўла тобланади; деталнинг



186-расм. Юза тоблашда температуранинг деталь сиртидан ўзагига томон тақсимланиш эгри чизиғи.

Ac_1 нуқтадан юқори, аммо Ac_3 нуқтадан паст температурагача қизиган қатлами (186-расм, *б* соҳа) чала тобланади; деталнинг ўзаги (186-расм, *в* соҳа) ё қизимай қолади ёки Ac_1 нуқтадан паст температурагача қизийди ва совитилганда тобланмайди. Бинобарин, қиздирувчи муҳитдан деталга бериладиган иссиқликнинг жуда кўп қисми деталнинг марказий қисмига тарқалишга улгурмайди ва, шу сабабли, унинг сиртқи қатлами критик нуқтадан юқори температурагача анча тез қизийди.

Деталнинг тобланиши керак бўлган сиртқи қатлами l_0 нинг температураси $Ac_3+30°C$ га етганда қиздириш тўхтатилиб, шундан кейин деталь совитилади. Шуни ҳам назарда тутиш керакки, қиздириш тўхтатилгандан кейин, деталнинг сиртидан ичкариги қатламларининг температураси қиздирилган сиртқи қатламдан тарқалувчи иссиқлик ҳисобига ортиб, сиртқи қатламнинг температураси бир қадар пасаяди. Сиртқи қатлами зарур температурагача қиздирилган деталь совитувчи суюқликка ботирилган ёки унга совитувчи суюқлик пуркалган пайтда деталь кесими бўйлаб температуранинг тақсимланиши 186-расмда *II* эгри чизиқ билан тасвирланган; бунда деталь l_1 чуқурликкача тобланади.

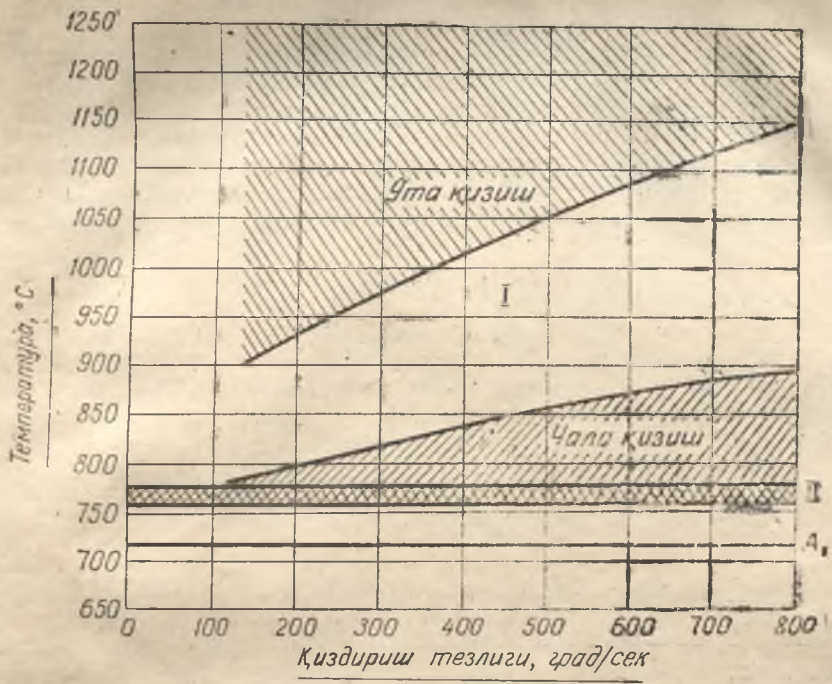
Деталнинг сиртқи қатламини Ac_3 критик нуқтадан анча юқори температурагача қиздириш юза тоблашнинг ҳамма усуллари учун одатдаги ҳодисадир, аммо бу ҳодиса ўта қизишга ва структуранинг ёмонлашувига албатта олиб борадиган ҳодиса эмас. Юқорида (168-бет) биз перлитнинг аустенитга айланиш процесси билан танишганимизда қиздириш тезлиги қанчалик катта бўлса, перлит аустенитга шунчалик юқори температурада айланишини ва аустенит доналарининг шунчалик йириклашувини кўриб ўтган эдик. Аммо қиздиришнинг ҳар қайси тезлиги учун шундай температуралар оралиғи борки, бунда майда донали структура ҳосил бўлади.

187-расмда қиздириш температуралари оралиғининг қиздириш тезлигига қараб қандай ўзгаришини акс эттирувчи диаграмма тасвирланган. Қиздириш тезлиги қанчалик катта бўлса, тоблаш температурасигача қиздириш нуқтаси шунчалик юқори эканлиги диаграммадан яққол кўриниб турибди. Қиздириш тезлиги кичик бўлганда тоблаш температурасигача қиздириш нуқталари оралиғи қиздириш тезлиги катта бўлгандагига қараганда анча пастда эканлигини ҳам шу диаграммадан кўрса бўлади.

Пўлатни тоблаш нуқтасигача қиздириш температураси $Fe—Fe_3C$ ҳолат диаграммасига қараб олиниши юқорида айтиб ўтилган эди, аммо тез қиздиришда бундай қилиб бўлмайди. Қиздириш тезлиги катта бўлганда пўлатни тоблаш нуқтасигача қиздириш температураси 187-расмда тасвирлангани каби диаграммалардан танлаб олиниши керак.

Юза тобланадиган детални газ алангасида қиздириш. Бу усул ацетилен-кислород алангасидан фойдаланилганда яхши самара беради, чунки ацетилен-кислород алангаси энг юқори температура ҳосил қилади ҳамда вақт бирлиги ичида энг кўп иссиқлик узатади, чунки унинг ички конуси учида температура 3200°С га етади. Ацетилендан ташқари, бошқа газлардан, масалан, ёритиш гази, метан ва бошқалардан ҳам фойдаланиш мумкин, аммо улар алангасининг температураси ацетилен алангаси температурасидан паст бўлгани учун юза тобланадиган деталли бу газларнинг алангасида қиздириш тезлиги пастроқ бўлиши керак.

Юза тобланадиган деталли газ алангасида қиздиришнинг тўртта асосий усули бор. Бу усуллардан бирида тобланадиган деталь қўзғалмай туради, иккинчисида деталь айланади, учинчисида деталь ёки тоблаш асбоби илгарилама ҳаракат қилади, тўртинчисида эса деталь ҳам

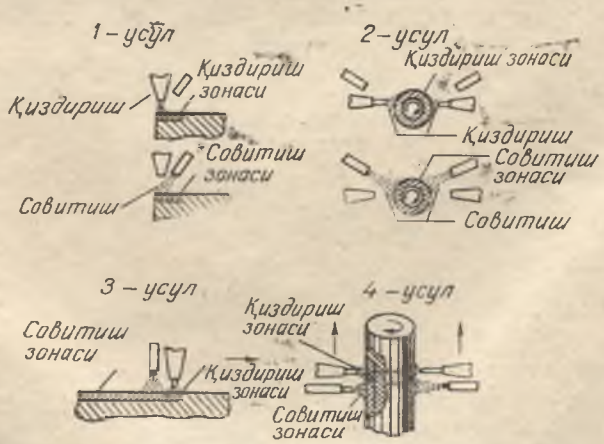


187- расм. Қиздириш температурасини танлаб олишга хизмат қиладиган диаграмма, У10 маркали пўлат учун (А. П. Гуляев):

I — тез қиздириш — электр энергияси билан қиздириш; *II* — секин қиздириш—печда қиздириш.

айланади, ҳам илгарилама ҳаракат қилади ёки деталь айланиб, тоблаш асбоби илгарилама ҳаракат қилади (188- расм).

Биринчи ва иккинчи усулда детални юза тоблаш икки операциядан иборат: даставвал, тобланадиган сиртнинг ҳаммаси зарур температурагача қиздириб олинади, шундан кейин эса қиздирилган сиртнинг ҳаммаси совитилади. Иккинчи ва учинчи усулда деталнинг тобланадиган



188- расм. Газ алангасида қиздириб тоблаш усулларининг схемалари.

сирти қиздирилиб, кетидан совитиб борилади; демак, бу усуллар узлуксиз тоблаш усулига киради.

Деталнинг сиртқи қатлами ацетилен алангасида қиздирилганда температура жуда юқори, қиздириш тезлиги эса жуда катта бўлганлиги учун деталнинг қиздирилаётган сиртқи қатлами ўта қизиб кетади, ичкариги қисмида эса температура паст бўлади. Бинобарин, деталнинг сиртқи зонасида структура мартенситдан, ундан кейинги зонада мартенсит билан ферритдан, ички зона эса тобланмаган пўлатдан иборат бўлади, чунки бу зона Ac_1 критик нуқтадан паст температурагача қизийди.

Бу усул билан тоблашда горелка ва тобланадиган юза оралиғи 3 дан 6 *мм* гача бўлиши керак

Газ алангасидан фойдаланилганда деталнинг 6 *мм* гача чуқурликдаги сиртқи қатламини тоблаш мумкин.

Юза тобланадиган детални суюқлантирилган туз ёки металларда қиздириш. Деталнинг сиртқи қатламини тоблаш температурасигача қиздиришнинг бу усулида суюқлантирилган тузли ёки суюқлантирилган қўрғошинли ванналардан фойдаланилади. 19- жадвалда деталларни юза тоблашда ишлатилиши мумкин бўлган тузларнинг таркиби ва суюқланиш температураси кўрсатилган.

19- ж а д в а л

Деталларни қиздиришда ишлатиладиган тузларнинг таркиби ва суюқланиш температураси

Тартиб номери	Тузнинг номи ва таркиби	Суюқланиш температураси, °С
1	Барий хлорид $BaCl_2$	960
2	78 % барий хлорид $BaCl_2$+22 % натрий хлорид NaCl	640
3	50 % натрий хлорид NaCl+50 % калий хлорид KCl	670
4	20% калий хлорид KCl+60% натрий хлорид NaCl+20% натрий карбонат Na_2CO_3	700

Юза тобланадиган детални юқори частотали ток билан қиздириш. Деталдан электр токи ўтганда қаршиликка учрайди, натижада деталь қизийди. Деталнинг сиртқи қатламини элекр токи билан қиздиришда токнинг ана шу хусусиятидан фойдаланилади.

Физика курсидан маълумки, ҳосил бўладиган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Q = 0{,}239 I^2 RT \ кал, \qquad (1)$$

бу ерда Q — иссиқлик миқдори, *кал* ҳисобида;
I — ток кучи, ампер ҳисобида;
R — каршилик, *ом* ҳисобида;
T — ток ўтиш вақти, *сек* ҳисобида.

СИ системасида (1) тенглама бундай ёзилади:

$$Q = 0{,}239 \cdot 4{,}187 I^2 RT \approx I^2 RT \ жоул.$$

(1) тенгламадан яққол кўриниб турибдики, ток кучини ўзгартириш йўли билан исталганча миқдорда иссиқлик ҳосил қилиш мумкин. Демак, температурани ва қиздириш тезлигини ҳам исталганча ўзгартирса бўлади. Қиздириш процессининг унумини ошириш мақсадида ток ўтиш вақтини имкони борича қисқа олиш керак.

Сўнгги вақтларда деталларни юза тоблашда, асосан, электр токидан фойдаланилиши юқорида айтиб ўтилган эди. Бунинг сабаби шуки, электр токидан фойдаланилганда қиздириш тезлиги ташқи иссиқликдан (печь иссиқлигидан) фойдаланилгандагига қараганда бир неча юз ва, ҳатто, бир неча минг марта ортиқ бўлади, яъни секундига 30 дан 1000°С гача етади.

Деталларни юқори частотали ток билан қиздириш усулини СССРда биринчи бўлиб (1934 йилда) проф. В. П. Вологдин таклиф этган эди. Юқори частотали ток билан қиздириш усулининг бошқа ҳамма усулларга қараганда жуда катта афзалликлари бор. Чунончи, юқори частотали ток билан қиздиришда: а) деталнинг исталган чуқурликкача бўлган қатлами тобланади, б) иш унуми ошади, в) деталнинг механик хоссалари (қаттиқлиги, оқувчанлик чегараси ва зарбий қовушоқлиги) юқори бўлади, г) деталь сиртида куйинди ҳосил бўлмайди, д) деталь унча тоб ташламайди, е) тоблаш процессини батамом автоматлаштириш имконияти туғилади, ж) исталган шаклдаги деталнинг сиртқи қатламини тоблаш мумкин бўлади ва ҳоказо. Бу усулдан деталларни термик ишлашнинг барча турларида ҳам фойдаланиш мумкин.

Детални юқори частотали ток билан қиздиришнинг моҳияти шундан иборатки, қиздириладиган деталь ўтказгичнинг (индукторнинг) юқори частотали электромагнит майдонига киритилади. Индуктордан ўзгарувчан ток ўтказилганда ҳосил бўладиган магнит оқими деталда юқори частотали ўзгарувчан (уюрма) токлар (Фуко токлари) ҳосил қилади (индуктивлайди), детални ана шу токлар қиздиради.

Детални қиздириш учун зарур бўладиган юқори частотали (500 дан 15000 *гц* гача частотали) ток машина генератордан, 10 000 000 *гц* гача частотали ток эса лампали генератордан олинади.

Индукцион ток деталь кесими бўйлаб нотекис тақсимланади: токнинг зичлиги деталь сиртида марказидагига қараганда катта бўлади ва марказига томон кичрайиб боради. Токнинг деталь сиртидан марказига томон қандай ораликка кириши мумкинлигини қуйидаги формуладан топса бўлади:

$$h = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \qquad (2)$$

бу ерда h — токнинг кириш чуқурлиги, *см* ҳисобида;
ρ — солиштирма қаршилик, *ом·см²/см* (*ом·см*) ҳисобида;
μ — магнит киритувчанлик, *гс/э* ҳисобида;
f — токнинг частотаси, *гц* ҳисобида.

(2) формуладан яққол кўриниб турибдики, частота қанчалик катта бўлса, токнинг кириш чуқурлиги шунчалик кичик бўлади. Шу сабабли, деталь сиртқи қатламини қанчалик юпқа тоблаш зарур бўлса, ток частотаси шунчалик катта олиниши керак. Бинобарин, деталларнинг сиртқи юпқа қатламини тоблашда лампали генераторлардан, деталларни чуқурроқ (2—3 *мм* дан чуқур) тоблашда эса машина генератордан фойдаланиш зарур.

Таркибидаги углерод миқдори оз ва ўртача бўлган пўлатлар учун 768°С дан паст температурада токнинг кириш чуқурлиги тақрибан қуйидагича бўлади:

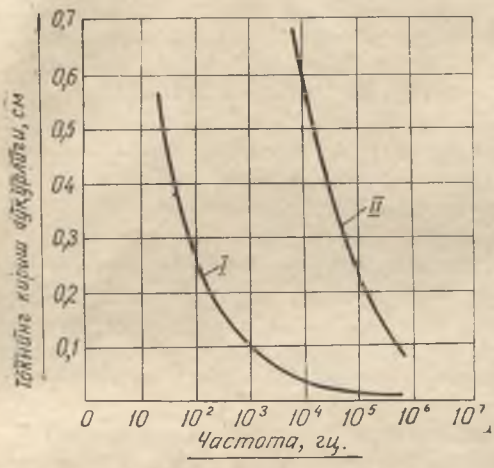
$$h = \frac{1{,}7}{\sqrt{f}} \ см. \qquad (3)$$

Маълумки, 768°С дан юқори температурада пўлатнинг магнит хоссалари йўқолади, шунинг учун магнит киритувчанлик (μ) тез пасайиб, солиштирма қаршилик (ρ) ортади, натижада токнинг кириш чуқурлиги

ошади. Бундай ҳолда, яъни 768°С дан юқори температурада токнинг кириш чуқурлигини қуйидаги тақрибий тенгламадан топса бўлади:

$$h = \frac{60}{\sqrt{f}} \text{ см.} \qquad (4)$$

Температура кўтарилган сари, пўлатнинг солиштирма қаршилиги (ρ) ортиб боради; ана шу ҳодиса ҳисобга олинмаса, токнинг кириш чуқурлиги билан частота орасидаги (3) ва (4) тенгламалар асосида ҳисоблаб топилган боғланиш эгри чизиқлари 189- расмда тасвирланганидек бўлади.



189- расм. Токнинг кириш чуқурлиги билан частота орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар:

I — пўлат 768°С гача қиздирилганда; *II* — пўлат 768°С дан юқори температурагача қиздирилганда.

Деталнинг сиртқи қатламини тўғри ва имкони борича бир текис қиздириш индуктор деталларининг шаклига боғлиқдир. Индуктор қизил мис найлардан петля ёки ўрам шаклида қилиб тайёрланади (192- расм).

Деталнинг сиртқи қатламини юқори частотали ток билан қиздириб тоблаш тартиби қуйидагича: деталь индуктор ичига жойланиб, унинг сиртқи қатлами тоблаш температурасигача қиздирилгандан кейин деталнинг қиздирилган қисми индуктордан совиткич (спрейер) томон сурилади-да, бу ерда суюқлик пуркаш йўли билан совитилади (тобланади).

Юза тобланадиган деталлар таркибида 0,4% ва ундан ортиқ углерод бўладиган пўлатдан ясалади, чунки углерод миқдори 0,4% дан кам бўлса, деталнинг сиртқи қатлами тобланганда унинг қаттиқлиги етарли даражада бўлмайди. Маълумки, легирловчи элементлар пўлатнинг тобланиш чуқурлигини оширади, демак, юза тобланадиган деталларни легирланган пўлатдан тайёрлаш ярамайди. Кўпчилик ҳолларда, тобланиш чуқурлиги пастроқ бўлган пўлатлардан фойдаланилади. Тобланиш чуқурлиги пастроқ пўлатларга таркибида доимий қўшимчалар (Mn, Si) ва тасодифий қўшимчалар (Cr, Ni ва бошқалар) миқдори энг кам бўлган углеродли пўлатлар киради.

Юқори частотали ток билан қиздириб тоблашда углеродли пўлатлар сув билан, легирланган пўлатлар* эса 60°С гача иситилган сув билан ёки эмульсия билан совитилади.

Юза тоблашда юқори частотали ток билан қиздириш усулидан деталлар кўплаб ва сериялаб ишлаб чиқариладиган шароитда фойдаланилади, чунки якка деталларни юза тоблашда бу усулдан фойдаланиш анча қимматга тушади, бундан ташқари, бутун қурилманинг ўзи ҳам қиммат туради.

Юқори частотали ток билан қиздириб, юза тоблашга мисоллар келтирамиз.

---

* Чуқурроқ тобланиши керак бўлган деталлар легирланган пўлатлардан ясалиши мумкин.

Тошкент қишлоқ хўжалик машиналари заводи (Ташсельмаш) да ХВС-1,2 ёки ХТ-1,2 пахта териш машиналарининг шпиндели, шпиндель бармоғи ва бошқа деталлари юқори частотали ток билан қиздирилиб, юза тобланади. Бу деталларнинг қандай тобланишини бирма-бир кўриб чиқайлик.

Ш п и н д е л ь. Шпинделнинг материали 45 маркали пўлат, юза тобланиш зонасининг узунлиги 510 *мм*. Юза тоблаш учун ЛГЗ-60 ёки ЛЗ-107 установкаларидан фойдаланилади. Шпинделнинг тобланадиган юза қатлами юқори частотали ток воситасида 930—960°С температурагача қиздирилиб, температураси камида 30°С бўлган сув билан совитилади (тобланади). Тобланиш чуқурлиги 0,3—1,0 *мм* га етади (190-расмга қаранг). Шпиндель тобланадиган зонаси узунлигининг бир учидан иккинчи учига индукторнинг ўтиш вақти 15 секундга тенг.



190 - расм. Пахта териш машинаси шпинделининг кўндаланг кесими.

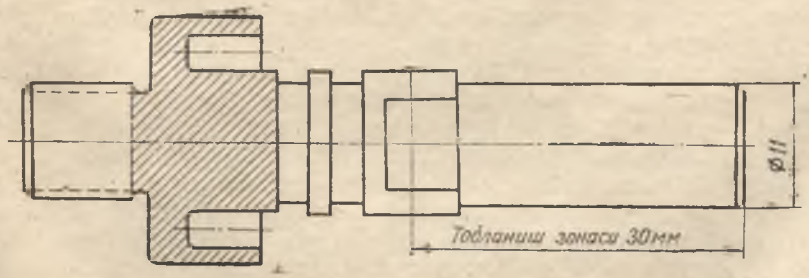
Тобланган шпиндель ТО-45 типидаги электр печида 195—205°С гача қиздирилиб, шу температурада 36 минут тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади (бўшатилади).

Юза тобланиб, сўнгра бўшатилган шпиндель сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 42—52 га етади.

Ш п и н д е л ь б а р м о ғ и. Шпиндель бармоғи 191-расмда тасвирланган ва унда тобланадиган зонанинг узунлиги кўрсатилган. Бармоқ 40Х маркали пўлатдан ясалади.

Шпиндель бармоғини юза тоблаш учун ЛГЗ-60 установкасидан фойдаланилади. Бармоқнинг тобланадиган юза қатлами юқори частотали ток воситасида 930—960°С температурагача қиздирилади, шу температурада 3 секунд тутиб турилгач, температураси 30°С дан паст бўлмаган сув билан совитилади (тобланади). Тобланиш чуқурлиги диаметрининг иккала томонига 3—4 *мм* дан гўғри келади. Юза тобланган бармоқ ТО-45 электр печида 195—205°С температурагача қиздирилиб, шу температурада 36 минут тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади (бўшатилади).

Юза тобланиб, сўнгра бўшатилган бармоқ сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 35—45 га етади.



191- расм. Шпиндель бармоғи.

Юза тобланадиган детални контакт усулида қиздириш. Деталнинг тобланадиган сиртқи қатламини контакт усули билан қиздиришда қаршилик сифатида деталнинг ўзидан фойдаланилади. Бу усул айланиш жисмларини (валларни, шпинделларни ва шу кабиларни) юза тоблашда қўлланилади.

Контакт усулида қиздиришни СССРда биринчи бўлиб проф. Н. В. Г е в е л и н г таклиф қилган эди. Контакт усули билан қиздириб, юза тоблашнинг моҳияти қуйидагилардан иборат. Юза тобланадиган вал

Тошкент қишлоқ хўжалик машиналари заводи (Ташсельмаш) да ХВС-1,2 ёки ХТ-1,2 пахта териш машиналарининг шпиндели, шпиндель бармоги ва бошқа деталлари юқори частотали ток билан қиздирилиб, юза тобланади. Бу деталларнинг қандай тобланишини бирма-бир кўриб чиқайлик.

Ш п и н д е л ь. Шпинделнинг материали 45 маркали пўлат, юза тобланиш зонасининг узунлиги 510 *мм*. Юза тоблаш учун ЛГЗ-60 ёки ЛЗ-107 установкаларидан фойдаланилади. Шпинделнинг тобланадиган юза қатлами юқори частотали ток воситасида 930—960°С температурагача қиздирилиб, температураси камида 30°С бўлган сув билан совитилади (тобланади). Тобланиш чуқурлиги 0,3—1,0 *мм* га етади (190-расмга қаранг). Шпиндель тобланадиган зонаси узунлигининг бир учидан иккинчи учига индукторнинг ўтиш вақти 15 секундга тенг.



190 - расм. Пахта териш машинаси шпинделининг кўндаланг кесими.

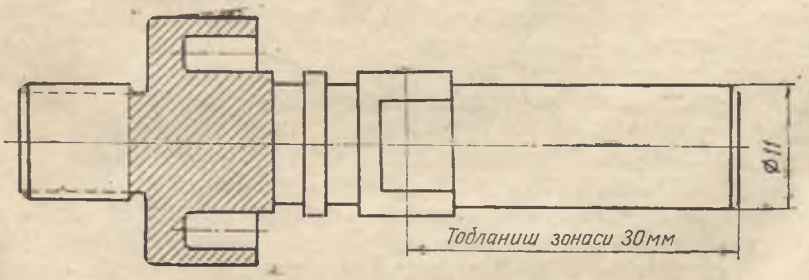
Тобланган шпиндель ТО-45 типидаги электр печида 195—205°С гача қиздирилиб, шу температурада 36 минут тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади (бўшатилади).

Юза тобланиб, сўнгра бўшатилган шпиндель сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 42—52 га етади.

Ш п и н д е л ь б а р м о ғ и. Шпиндель бармоғи 191-расмда тасвирланган ва унда тобланадиган зонанинг узунлиги кўрсатилган. Бармоқ 40Х маркали пўлатдан ясалади.

Шпиндель бармоғини юза тоблаш учун ЛГЗ-60 установкасидан фойдаланилади. Бармоқнинг тобланадиган юза қатлами юқори частотали ток воситасида 930—960°С температурагача қиздирилади, шу температурада 3 секунд тутиб турилгач, температураси 30°С дан паст бўлмаган сув билан совитилади (тобланади). Тобланиш чуқурлиги диаметрининг иккала томонига 3—4 *мм* дан гўғри келади. Юза тобланган бармоқ ТО-45 электр печида 195—205°С температурагача қиздирилиб, шу температурада 36 минут тутиб турилгандан кейин ҳавода совитилади (бўшатилади).

Юза тобланиб, сўнгра бўшатилган бармоқ сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 35—45 га етади.

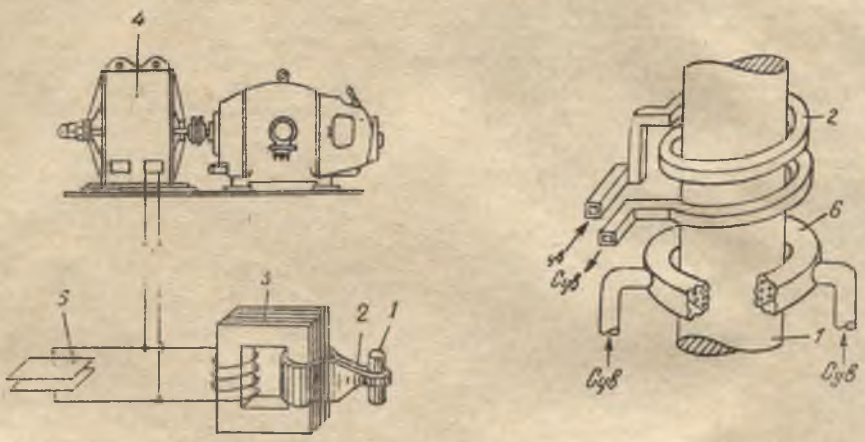


191- расм. Шпиндель бармоғи.

Юза тобланадиган детални контакт усулида қиздириш. Деталнинг тобланадиган сиртқи қатламини контакт усули билан қиздиришда қаршилик сифатида деталнинг ўзидан фойдаланилади. Бу усул айланиш жисмларини (валларни, шпинделларни ва шу кабиларни) юза тоблашда қўлланилади.

Контакт усулида қиздиришни СССРда биринчи бўлиб проф. Н. В. Г е в е л и н г таклиф қилган эди. Контакт усули билан қиздириб, юза тоблашнинг моҳияти қуйидагилардан иборат. Юза тобланадиган вал

ёки бошқа бир цилиндрик деталь токарлик станогининг марказлари орасига олинади. Станокнинг суппортига трансформаторли тобловчи мослама ўрнатилади, бу мосламанинг мисдан ясалган иккита ролиги бўлади, роликларнинг диаметри 200—220 *мм*, эни эса 8—12 *мм* қилинади. Ана шу роликлар энининг ҳар бир *мм* узунликдаги қисми юза тобланиши керак бўлган деталга 10 дан 15 *кг* куч билан босади. Тобланадиган деталь айлантирилади-да, роликлар деталь ўқи бўйлаб



192- расм. Юқори частотали ток билан юза тоблаш қурилмасининг схемаси (В. П. Вологдин):
1 — юза тобланадиган деталь; *2* — индуктор; *3* — трансформатор; *4* — генератор; *5* — конденсатор; *6* — совиткич (спрейер).

силжитилади. Шундай қилиб, роликлар деталь сиртида спираль йўл бўйлаб боради. Роликларга ток берилса, ролик деталнинг сиртқи қатламини спираль йўл бўйлаб, зарур температурагача қиздириб боради. Деталнинг тоблаш температурасигача қизиган сиртқи қатлами одатдаги суюқ совиткич билан совитилади. Детални контакт усули билан қиздиришда унинг 0,05—0,1 *мм* чуқурликкача бўлган сиртқи қатлами унча қизимайди ва, шунинг учун, совитилганда тобланмай қолади. Бунинг сабаби шуки, деталь сиртининг иссиқлигини роликлар четга ўтказиб юборади. Тоблаш температурасигача қизимай қолган қатлам деталда дарзлар ҳосил бўлишидан сақлайди, чунки совитувчи суюқлик, ана шу қатлам туфайли, деталнинг қаттиқ қизиган қатламига бевосита тегмайди. Бу усулнинг камчилиги шундан иборатки, роликлар деталь сирти бўйлаб навбатдаги спираль йўлни ўтишида илгари тобланган спираль йўл ҳам қизийди ва бўшайди, натижада унинг қаттиқлиги маълум даража пасаяди.

Юза тобланадиган детални электролитда қиздириш. Электролитда қиздириш усулининг моҳияти қуйидагилардан иборат. Юза тобланиши керак бўлган деталь электролит эритмасига, масалан, натрий карбонат Na_2CO_3 нинг сувдаги 50% ли эритмасига туширилади, эритма орқали эса 250—350 вольт кучланишли ўзгармас ток ўтказилади. Бунда деталь катод вазифасини ўтайди. Ток ўтказилганда деталнинг сирти электролитдан ажралиб чиққан водород билан қопланади. Ана шу водород қаршилик ролини ўйнайди. Электр токи водород қаватидан ўтганда деталнинг сиртқи қатламини перлитнинг аустенитга айланиш температурасигача қиздиради. Тоблаш температурасигача қиздирилган деталь ё шу электролит эритмасида ёки совитувчи суюқлик солинган бошқа

бакда совитилади. Деталь шу электролит эритмасининг ўзида совитиладиган бўлса, электролитга ток бериш тўхтатиб қўйилади.

Электролит сифатида ишқорий металларнинг юқорида кўрсатиб ўтилган тузидан бошқа тузлари, кислоталар ва ишқорлар ҳам ишлатилиши мумкин. Электролит эритмасининг температураси 50—70°С, токнинг кучланиши 220—310 *в*, токнинг зичлиги 4—6 *а/см*^{2} бўлади.

Деталларни электролитда юза тоблаш усулининг афзалликлари қуйидагилардан иборат: қурилманинг тузилиши жуда оддий, процессни автоматлаштиришга имкон беради, деталларнинг исталган жойини ва учини қиздириш имкониятини туғдиради, деталь тоб ташламайди, тобланган юза тоза ва иш унуми анча юқори бўлади. Бу усулнинг камчилиги шундан иборатки, унда йирик деталларни тоблаб бўлмайди.

Б. ҚОТИШМАЛАРНИ ХИМИЯВИЙ-ТЕРМИК ИШЛАШ

Деталь ва асбобларнинг сиртқи қатламини пухталаш усулларидан бири химиявий-термик ишлаш усулидир. Деталь ва асбоблар сиртқи қатламининг химиявий таркибини, структурасини ва хоссаларини ўзгартириш мақсадида унга ишлов бериш процесси *химиявий-термик ишлаш* деб аталади. Деталь ёки асбоб сиртқи қатламининг химиявий таркиби ташқи химиявий актив муҳит билан шу деталь ёки асбоб материали орасида борадиган химиявий реакция ҳисобига ўзгартирилади. Химиявий актив муҳитнинг атомлари деталнинг сиртқи қатламига диффузиланиб, уни маълум чуқурликкача тўйинтиради. Масалан, пўлатдан ясалган деталь углерод (II)-оксид (CO)да Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилса, деталнинг сиртқи қатлами углеродга тўйинади. Бунда деталнинг сиртқи қатлами кўп углеродли пўлат бўлиб қолади ва унинг механик хосалари, масалан, қаттиқлиги, ейилишга чидамлилиги ҳамда бошқа хоссалари кучаяди. Ҳозирги вақтда химиявий актив муҳит сифатида углерод, азот, хром, кремний, алюминий ва бошқа элементлар ишлатилади.

Химиявий-термик ишлашнинг юза тоблашга қараганда бир қатор афзалликлари бор. Бу афзалликлар шундан иборатки, биринчидан, у деталнинг сиртқи шаклига боғлиқ бўлмайди, иккинчидан, химиявий-термик ишланган деталь сиртқи қатламининг хоссалари билан ички қатламларининг хоссалари орасида юза тобланган деталникига қараганда анча катта фарқ бўлади, учинчидан, химиявий-термик ишлашда деталь сиртқи қатламининг ўта қизиш оқибатларини шундан кейин детални термик ишлаш йўли билан бартараф қилиш мумкин.

Детални химиявий-термик ишлашда химиявий актив муҳит сифатида газдан фойдаланиладиган бўлса, учта оддий процесс содир бўлади. Бу процесслардан бири *диссоциация,* иккинчиси *абсорбция* ва учинчиси *диффузиядир.*

Диссоциация процесси газ молекулаларининг парчаланиб, актив атомлар ҳосил қилишидан иборат. Газ молекулаларининг парчаланиш даражасини, яъни неча процентининг парчаланганлигини кўрсатувчи катталик *диссоциланиш даражаси* деб аталади.

Абсорбция процесси газ билан металл чегарасида содир бўлади. Бу процесс металл сиртининг эркин атомларни ютишидан (эритишидан) иборатдир. Бу процесс ютилувчи элемент металлда эрий оладиган бўлсагина бориши мумкин.

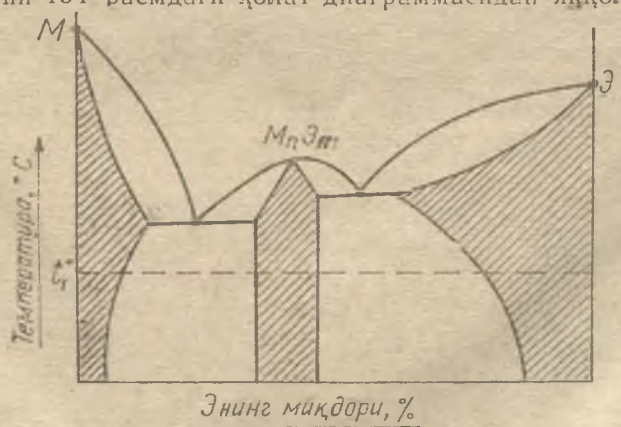
Диффузия процесси тўйинтирувчи элементнинг деталь сиртидан ичкарига томон киришидан иборат.

Юқорида баён этилган уч процесс натижасида деталнинг сиртқи қаватида *диффузион қатлам* ҳосил бўлади. Диффузиланувчи элементнинг бу қатламда тақсимланиши, яъни элемент концентрациясининг қатлам бўйича ўзгариши 193- расмда тасвирланган.

Диффузиланувчи элемент концентрациясининг деталь сиртида энг катта бўлиб, ичкарига томон кичрайиб бориши 193- расмдаги графикдан яққол кўриниб турибди. Диффузиланувчи элемент металлда батамом эриб, қаттиқ эритмалар ҳосил қилган тақдирдагина юқоридагидек бўлади. Агар диффузиланувчи элемент металлда маълум чегарагача эриса ва химиявий бирикмалар ҳосил қилса, диффузион қатламнинг тузилиши металлнинг элементга диффузион тўйиниш температурасида шу система ҳолат диаграммасининг изотермик қирқимидан аниқланади. Масалан, М—Э системасининг (бу ерда М — металл, Э — диффузиланувчи элемент) ҳолат диаграммаси 194- расмда тасвирланганидек бўлади ва металл элементга t_1 температурада тўйинтирилади, дейлик. Агар диссоциация, абсорбция ва диффузия процесслари етарли даражада шиддат билан ва етарлича вақт ичида борса, деталлнинг сиртқи қатламида Э нинг М даги ўзгарувчан концентрацияли қаттиқ эритмаси ҳосил бўлади, бу қатлам остида $M_nЭ_m$ химиявий бирикма қаттиқ эритмасининг қатлами туради, бу химиявий бирикманинг концентрацияси ҳам ўзгарувчандир. Ундан кейин М нинг Э даги қаттиқ эритмаси келади, бу қаттиқ эритма айни температурада тўйиниш чегарасидан нолгача камайиб боради. Ниҳоят, М металлнинг ўзи қолади. Қаватларнинг чегарасида концентрация, фазаларнинг бирга мавжуд бўлиш шартига биноан, тўсатдан ўзгаради, буни 194- расмдаги ҳолат диаграммасидан яққол кўриш мум-



193- расм. Диффузиланувчи элемент концентрациясининг қатлам чуқурлиги бўйлаб ўзгариш графиги. (А. П. Гуляев).



194- расм. М — Э системасининг ҳолат диаграммаси, бир фазали соҳа штрихлаб қўйилган.

кин. Агар М нинг Э га тўйиниш процесси пассивроқ борса, деталнинг сиртида Э нинг концентрацияси 100% га етмайди.

Металларда атомларнинг диффузияси икки хил бўлади. Булардан бири гомодиффузия (ўздиффузия) бўлса, иккинчиси гетеродиффузиядир.

Гомодиффузия — бунда асосий металл атомлари шу металлнинг кристалл панжарасида кўчади; гетеродиффузия — бунда бегона атомлар, масалан, бизнинг мисолимизда Э атомлари М металлнинг кристалл панжарасида силжийди.

Гомодиффузия процессида, масалан, М металлнинг атомлари иссиқлик таъсирида тартибсиз ҳаракатда бўлиб, бу металлнинг кристалл панжарасида ўринларини алмаштириб туради. Гомоген атомларнинг кўчиши концентрацияга таъсир этмайди.

Гетеродиффузияда бегона атомлар концентрация катта жойдан концентрация кичик жойга кўчади. Концентрацияси бир текис бўлмаган ҳолатнинг эркин энергияси бир хил концентрацияли ҳолатникига қараганда катта бўлганлигидан, гетеродиффузия ўз-ўзидан боради.

Атомларнинг диффузияси қандай содир бўлади, деган саволга жавоб берайлик.

Ҳар қандай моддада иссиқлик ўзгариши содир бўлади, бунинг натижасида айрим атомларнинг энергияси бошқа атомларникидан ортиб кетади. Энергияси ортиб кетган ана шу атомлар панжара тугунларидан тугунлар орасига кўчади, яъни дислокациланади, демак, тугунлардаги ўрин бўшаб қолади — вакансия ҳосил бўлади. Ана шу вакансия ёнидаги атом шу вакансияга кўчади, кўчган атом ўрнига бошқа бир атом келади, унинг ўрнига учинчи атом ўтади ва ҳоказо.

Кристалл панжара тугунларидаги бирор атомни ўз ўрнидан қўзғатиш учун маълум иш бажариш зарур бўлади. Атомни тугундаги жойидан қўзғатишда бажариладиган ана шу иш активланиш энергияси деб аталади. Бу энергия атомларнинг кўча олиш хусусиятининг энг муҳим характеристикасидир. Бу катталик температурага боғлиқ бўлмай, модданинг табиатига боғлиқдир. Вакансиянинг кўчиши билан борадиган диффузион процесслардан ташқари, дислокациланган атом тугунларнинг бир оралиғидан бошқа оралиқларига кўчиши (бу кўчиш атом бўш ўринга тушгунча давом этади) билан борадиган диффузион процесслар ҳам бўлиши мумкин.

Диффузия процессининг тезлашувига температуранинг таъсири шундан иборатки, температура кўтарилган сари заррачаларнинг иссиқдан тебраниши кучайиб, кристалл панжарада вакансиялар сони ортади.

Диффузия процесси миқдорий жиҳатдан диффузия коэффициенти деб аталадиган катталик билан ифодаланиши мумкин. Бу катталик 1 *см*^{2} майдончадан 1 *сек* давомида ўтган модда миқдорига сон жиҳатидан тенг бўлиб, D ҳарфи билан белгиланади.

D ва температура орасидаги боғланиш қуйидаги тенглама билан ифодаланиши мумкин:

$$D = D_0 e^{-\frac{E}{R(273+t)}}$$

бу ерда D_0 — кристалл панжарага боғлиқ бўлган коэффициент;

E — активланиш энергияси;

e — натурал логарифмлар асоси;

R — газлар константаси;

t — температура, °С ҳисобида.

R билан E температурага боғлиқ бўлмаганлигидан, диффузия коэффициенти температура кўтарилган сари кучли даражада ошади.

Сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлишида диффузия процесси осонлашади, чунки бунда эритувчи атоми ёки иони ўз жойидан қўзғалмайди. Ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида эса эритувчи атомини ёки ионини ўз ўрнидан қўзғатиш керак бўлади. Бинобарин, ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида активланиш энергияси сингиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишидагига қараганда бирмунча каттадир.

Энди химиявий-термик ишлаш турларини кўриб чиқайлик. Химиявий-термик ишлаш турларига цементитлаш (углеродлаш), азотлаш, цианлаш ва диффузион легирлаш киради.

1- §. ЦЕМЕНТИТЛАШ (УГЛЕРОДЛАШ)

Пўлатнинг сиртқи қатламини углеродга тўйинтириш процесси *углеродлаш*, бошқача қилиб айтганда, *цементитлаш* деб аталади. Цементитлаш процесси қадимдан маълум. XIX асрнинг ўрталаригача пўлат темирга углеродни диффузилаш йўли билан олиниб келар ва бундай пўлат цемент пўлат деб аталар эди. Цементит деган ном ҳам ана шундан келиб чиққан. Аммо яқинлардагина бу процесс илмий асосга қўйилди.

Пўлатнинг сиртқи қатлами углерод билан тўйинтирилганда унинг шу қатлами кўп углеродли пўлатга айланади ва, одатда, цементитлаш учун кам углеродли пўлат олинганлигидан, цементитланиб, сўнгра тобланган пўлатнинг марказий қисми юмшоқ ва қовушоқлигича қолади.

Цементитлашнинг уч хил усули бор. Булардан бири қаттиқ муҳитда цементитлаш, иккинчиси газ муҳитда, учинчиси эса суюқ муҳитда цементитлаш усулидир.

Қаттиқ муҳитда цементитлаш. Бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, герметик беркиладиган пўлат яшик олиниб, унга бир қават карбюризатор — углеродловчи модда (писта кўмир ва бошқа қўшимчалар — карбонатлар) солиниб, унинг устига цементитланадиган деталлар териб чиқилади-да, устидан яна карбюризатор солинади, яшик ана шу тартибда тўлдириб чиқилгандан кейин қопқоғи яхшилаб беркитилади. Шундан кейин яшик печда 900—950°С гача қиздирилади. Яшикдаги карбюризатор бўлаклари орасида ҳаво бўлганлиги учун шу ҳаво таркибидаги кислород кўмир (углерод) билан реакцияга киришади, реакция натижасида углерод (IV)-оксид CO_2 эмас, балки углерод (II)-оксид CO ҳосил бўлади, чунки CO_2 ҳосил бўлиши учун яшик ичидаги ҳаво кислороди кифоя қилмайди, яшикка эса, у герметик беркилганлиги учун, ташқаридан ҳаво кира олмайди. 900—950°С температураларда углерод (II)-оксид барқарор бўлмайди ва, шунинг учун, темирга текканда парчаланиб, атом ҳолидаги углеродни ажратиб чиқаради:

$$2CO = CO_2 + C.$$

Ажралиб чиққан углерод атоми темир (пўлат) сиртига диффузиланади.

Писта кўмирга карбонатлар, масалан, барий карбонат ($BaCO_3$), натрий карбонат (Na_2CO_3), калий карбонат (K_2CO_3) қўшилса, карбюризатор активлашади, чунки бунда карбонатларнинг парчаланиши на-

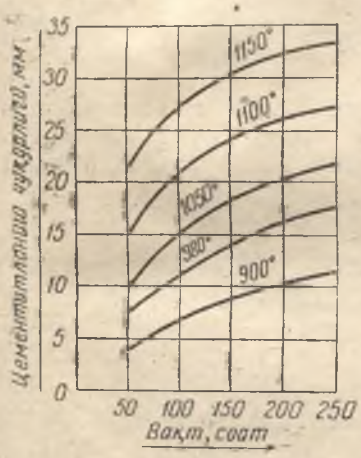
тижасида карбонат ангидрид ҳосил бўлиб, у кўмир билан реакцияга киришади:

$$BaCO_3 = BaO + CO_2,$$
$$CO_2 + C = 2CO.$$

Ишлаб чиқариш корхоналарининг термик цехларида ишлатиладиган қаттиқ карбюризаторларга, одатда, оғирлик жиҳатидан 40% гача карбонатлар қўшилган бўлади.

Қаттиқ карбюризаторда цементитлаш процесси узоқ чўзиладиган процессдир. Бу процесс ҳосил қилиниши керак бўлган диффузион қатламнинг қалинлигига қараб, бир неча ўн соат давом этиши мумкин. Масалан, деталнинг сиртқи қатламини 1 *мм* чуқурликкача цементитлаш учун бир неча соат вақт керак бўлади.

Цементитланиш чуқурлигининг температура ҳамда вақтга қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 195-расмда тасвирланган.



195-расм. Цементитланиш чуқурлигининг температура ҳамда вақтга қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар. Деталь хром-никель-молибденли пўлатдан ясалган; карбюризатор 65 % писта кўмир, 23 % кокс ва 12 % барий карбонатдан иборат (Н. А. Минкевич).

Қаттиқ карбюризатор воситасида цементитлаш процессининг узоқ давом этишига асосий сабаб шуки, иссиқликни яхши ўтказмайдиган карбюризаторли яшикнинг ички қатламларига иссиқликнинг ўтиши анча қийин бўлади. Цементитлаш процессини тезлатиш учун газ ёки суюқ муҳитдан фойдаланилади.

Газ муҳитда цементитлаш. Бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, печнинг герметик беркиладиган камерасига цементитланиши керак бўлган деталлар жойланиб, устидан атом ҳолидаги углерод ажратиб чиқара оладиган газ ўтказилади. Бунда деталнинг талаб этилган қалинликдаги сиртқи қатламини углеродга тўйинтириш тезлиги қаттиқ карбюризатордан фойдаланилгандагига қараганда анча каттадир. Шу сабабли, газ муҳитда цементитлаш усули кўплаб деталлар ишлаб чиқаришда асосий усулдир.

Газ муҳитда цементитлашнинг қаттиқ карбюризаторда цементитлашга қараганда бир қатор афзалликлари бор. Бу афзалликлар қуйидагилардир:

а) деталлар тез қизийди ва, натижада, уларни тутиб туриш вақти анча қисқаради:

б) печь камерасига киритиладиган газ миқдорини ва таркибини тартибга солиш қулай ва осон бўлади;

в) катта асбоб-ускуналар, чунончи, кўмир майдалагич, қориштиргич, цементитлаш яшиклари бўлмаганлигидан, ишлаб чиқариш майдони қисқаради;

г) процессни тўла механизациялаштириш мумкин бўлади;

д) ишчи кучи анча қисқаради;

е) цементитланган деталларни тўғридан-тўғри печдан олиб тоблаш мумкин бўлади;

ж) цементитлаш арзон тушади ва ҳоказо.

Газ муҳитда цементитлаш процесси стационар ёки методик (узлуксиз ишлайдиган) конвейер печларда ўтказилади. Цементитловчи газлар сифатида

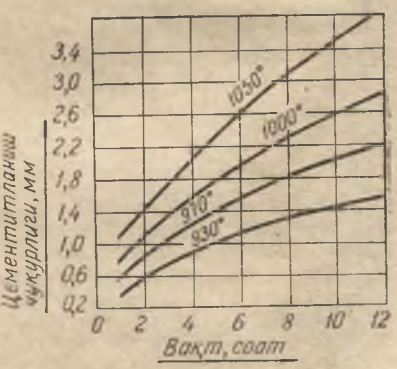
углерод (II)-оксид CO, тўйинган углеводородлар C_nH_{2n+2} ва тўйинмаган углеводородлар C_nH_{2n} ишлатилади. Бу газлар парчаланганда деталнинг сиртқи қатламига диффузиланувчи углерод атоми ажралиб чиқади:

$$2CO = CO_2 + C;$$
$$C_nH_{2n+2} = (2n + 2)H + nC;$$
$$C_nH_{2n} = 2nH + nC.$$

Деталларни цементитлашда энг кўп ишлатиладиган газлар тўйинган углеводородлар (C_nH_{2n+2}), яъни метан CH_4, этан C_2H_6, пропан C_3H_8, бутан C_4H_{10} ва бошқалардир.

Агар деталнинг сиртқи қатламига юқорида келтирилган реакциялар натижасида ажралиб чиқадиган углероднинг бир қисми ютилмай қолса, яъни абсорбция процесси диссоциация процессидан секинроқ борса, ортиқча углерод кристалланиб, деталь сиртига зич қурум пардаси тарзида ўтиради ва цементитланиш процессини қийинлаштириб қўяди. Шу сабабли, газ муҳитда цементитлаш процессини рационаллаш учун муайян таркибли газ ишлатиш ва газнинг сарфини тартибга солиб туриш зарур.

Маълумки, α-темир углеродни γ-темирдан кўра кам эритади, шунинг учун, цементитлаш вақтида деталь Ac_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиши керак. Деталь Ac_1 нуқтадан паст температурада цементитланса, углеродга унинг фақат юза қобиғигина тўйинади. Цементитланадиган деталлар, одатда, 930—950°C температурагача қиздирилиб, шу температурада 6—9 соат тутиб турилади, бунда деталнинг 1,2—1,6 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами цементитланади. Температура кўтарилган сари цементитланиш чуқурлиги ошиб боради. Газ муҳитда цементитланиш чуқурлигининг температурага ҳамда вақтга қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 196- расмда тасвирланган.



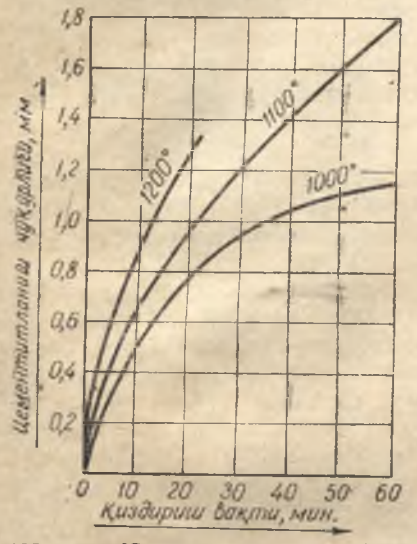
196- расм. Цементитланиш чуқурлигининг температурага ҳамда вақтга қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар (А. П. Гуляев).

Температура кўтарилган сари цементитланиш чуқурлигининг ортиб бориши юқорида айтиб ўтилди. Аммо цементитлаш печларининг муфеллари тайёрланадиган иссиқбардош қотишмалар температурани 950—970°C дан оширишга имкон бермайди. Шу сабабли, газ муҳитда цементитлаш учун юқори частотали токдан фойдаланилади, юқори частотали ток эса юқори температуралар ҳосил қилишга имкон беради.

Цементитланадиган деталларни юқори частотали ток билан қиздириш усули энг такомиллашган ва юқори унумли усулдир. Масалан, 18ХГТ ёки 30ХГТ маркали махсус пўлатдан ясалган шестерняларни юқори частотали ток билан 1050—1070°C температурагача қиздириб цементитлашда 1 *мм* цементитланиш чуқурлиги ҳосил қилиш учун 30—45 минут кифоя, ҳолбуки газ муҳитда одатдаги усул билан 1 *мм* чуқурликкача цементитлаш учун 8 соат вақт кетади. Бундан ташқари, юқори частотали ток билан қиздиришда қиммат турадиган қиздиргич

печларга эҳтиёж қолмайди, процесс батамом автоматлаштирилганлиги учун цементитланиш сифати ҳамма деталларда бир хил бўлади, деталларнинг таннархи пасаяди ва меҳнат шароити яхшиланади.

Юқори частотали ток билан қиздиришда, одатда, 2000 *гц* частотали ток берадиган 50 *квт* қувватли генератордан фойдаланилади.



197- расм. Юқори частотали ток билан қиздириб цементитлашда цементитланиш чуқурлигининг температурага ва қиздириш вақтига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар (А. Д. Ассонов ва бошқалар).

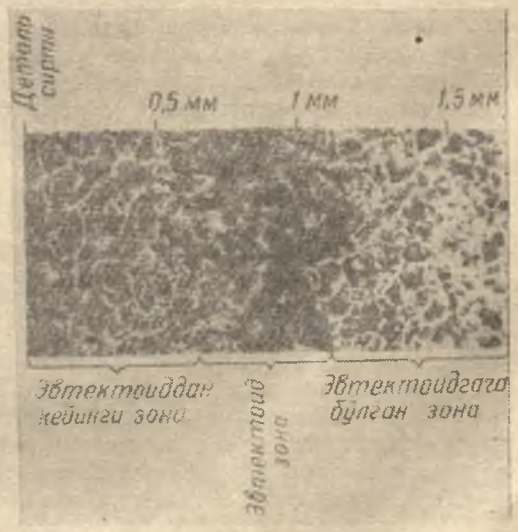
Юқори частотали ток билан қиздириб цементитлашда цементитланиш чуқурлигининг температурага ва қиздириш вақтига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 197- расмда тасвирланган.

Маълум температурада цементитланган деталнинг сиртқи қатламидаги углерод миқдори шу температурада углероднинг γ-қаттиқ эритмада эрувчанлик чегарасига, яъни Fe — Fe_3C ҳолат диаграммасидаги *SE* чизиғига боғлиқдир. Деталь қанчалик юқори температурада цементитланса, унинг сиртқи юпқа қатламидаги углерод миқдори шунчалик кўп бўлади, аммо 2,14% дан ошмайди.

Айни температурада цементитланган деталнинг сиртидаги углерод миқдори Fe—Fe_3C ҳолат диаграммасидаги *SE* чизиғида ётган нуқтанинг концентрациялар ўқига туширилган проекциясидан топилади. Углероднинг бу миқдори деталнинг сиртидан ичкарисига томон камайиб боради. Цементитланган деталь секин совитилгандан кейин диффузион қатламининг структураси 198- расмда тасвирланган.

Деталнинг 0,8—0,9% углеродли сиртқи зонаси перлит билан цементитдан иборат бўлиб, *эвтектоиддан кейинги зона* деб аталади. Шундан кейин таркибида 0,8% чамаси углерод бўлган зона келади, бу зона перлитдан иборат бўлиб, *эвтектоид зона* дейилади. Бу зонадан сўнг *эвтектоидгача бўлган* зона келади, феррит билан перлитдан иборат бу зона таркибидаги углерод миқдори 0,7% дан кам бўлади. Эвтектоидгача бўлган зона структураси деталнинг ичкарисига томон ўзгара бориб, ниҳоят, деталь ўзагининг структураси каби бўлиб қолади.

Детални цементитлаш вақтида унинг сиртқи қатламидаги углерод миқдори 1,1—1,2%



198- расм. Цементитланган деталь диффузион қатламининг секин совитилгандан кейинги микроскопик тузилиши.

дан ошмаслиги керак, акс ҳолда иккиламчи цементит миқдори ортиб кетиб, сиртқи қатламни мўрт қилиб юборади.

Цементитланган деталнинг эвтектоиддан кейинги зонасида, баъзан, цементит, кўпинча, феррит билан қуршалган йирик тўпламлар ҳосил қилади (199-расм). Бундай структура *анормал структура* деб, анормал структура ҳосил қила оладиган пўлат эса *анормал пўлат* деб аталади. Эвтектоиддан кейинги зонанинг нормал структураси иккиламчи цементит тўри билан қуршалган пластинкасимон перлитдир (200-расм).

Цементитланган анормал пўлат одатдаги усулда тобланғандан кейин унинг сиртида юмшоқ жойлар ҳосил бўлади. Бундай жойларни йўқотиш учун пўлат критик нуқтадан анча юқори температурагача қиздирилиб, тез совитиш йўли билан тобланади. Аммо бундай тобланганда пўлат доналари анча йириклашади. Анормал пўлатнинг бундай хоссалари ва структураси унинг етарли даражада кислородсизлантирилмаганлигидан келиб чиқади.

Суюқ муҳитда цементитлаш. Суюқ муҳитда цементитлаш усулидан юпқа сиртқи қатламини углеродга тўйинтириш керак бўлган майда деталларни цементитлаш учун фойдаланилади. Бу усулда деталлар кремний карбид (SiC) аралаш суюқлантирилган тузли ваннада цементитланади. Бунинг учун 75—85% натрий карбонат (Na_2CO_3), 10—15% натрий хлорид (NaCl) ва 5—10% кремний карбид (SiC) дан иборат аралашма ваннада суюқлантирилиб, температураси 820—850°С га етказилади. Тузлар аралашмасида кремний карбид ва сувсизлантирилган сода бўлганлиги учун ваннада қуйидаги реакция боради:

$$2Na_2CO_3 + SiC = Na_2SiO_3 + Na_2O + 2CO + C$$

Бу реакция натижасида ажралиб чиққан атом ҳолидаги углерод деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, углерод атоми ажралиб чиқиш пайтида химиявий жиҳатдан жуда актив бўлиб, ваннадаги барча оксидларни қайтаради ва деталнинг сиртқи қатламини углеродга тўйинтиради.

Деталлар ваннада 0,5 дан 2 соатгача тутиб турилса, уларнинг 0,5 *мм* гача қалинликдаги сиртқи қатлами цементитланади.

Бу усулнинг афзалликлари шундан иборатки, биринчидан, ишлатиладиган тузлар заҳарли бўлмайди ва цементитлаш процесси тез ўтади, иккинчидан, цементитланиб, сўнгра бевосита тобланган деталларнинг сирти жуда тоза чиқади, бу эса кесиб ишланмайдиган деталлар учун ниҳоятда муҳимдир.

Цементитланган деталларни термик ишлаш. Цементитлашдан кўзда тутиладиган мақсад деталнинг сиртқи қатламини жуда қаттиқ ва ейилишга чидамли қилишдан иборат. Аммо цементитлашнинг ўзи билангина деталнинг сиртқи қатламини зарур даражада қаттиқ ва ейилишга зарур даражада чидамли қилиб бўлмайди, деталь цементитланганда углерод деталь кесими бўйлаб талаб этилган тарзда тақсимланади, холос. Шунинг учун, цементитланган деталь албатта термик ишланиши, яъни тобланиши ва ички кучланишларга барҳам бериш учун паст температурада бўшатилиши керак. Деталь термик ишланганда унинг сиртқи қатламида кўп углеродли мартенсит ҳосил бўлади, ички қатламлари эса юмшоқ ва қовушоқлигича қолади.

Цементитланган деталнинг вазифасига қараб, термик ишлашнинг қуйидаги усулларидан бири қўлланилади:

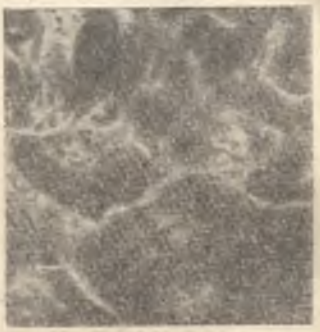
1) бир марта тоблаб, сўнгра паст температурада бўшатиш;
2) икки марта тоблаб, сўнгра паст температурада бўшатиш;

3) цементитлангандан кейиноқ, яъни цементитланиш температурасининг ўзиданоқ тоблаш, сўнгра паст температурада бўшатиш.

Биринчи усул шундан иборатки, цементитланиб, сўнгра нормал температурагача совитилган деталлар, пўлат маркасига қараб, 850—900°С температурагача қиздирилади, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин тобланади. Тобланган деталлардаги



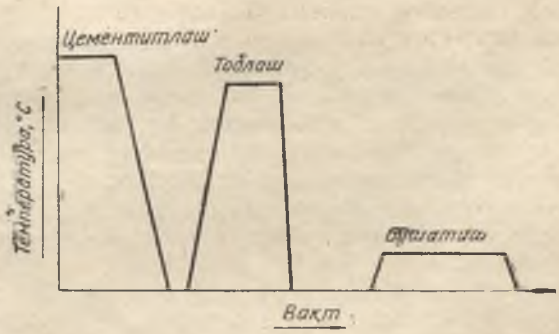
199- расм. Анормал структура. × 500.



200- расм. Нормал структура. × 500.

ички кучланишларга барҳам бериш учун улар паст (150—170°С) температурада бўшатилади. Биринчи усулда термик ишлаш режимининг схемаси 201- расмда тасвирланган.

Биринчи усулда тобланиб, сўнгра бўшатилган деталнинг сиртқи қатлами йирик нинасимон мартенситдан иборат бўлади.



201- расм. Цементитланган детални биринчи усулда термик ишлаш режимининг схемаси.

Цементитланган деталнинг механик хоссалари айниқса юқори бўлиши талаб этиладиган ҳолларда термик ишлашнинг иккинчи усулидан фойдаланилади. Бу усул шундан иборатки, цементитланиб, нормал температурагача совитилган деталлар 850—900°С гача қиздирилади, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин мойда совитилади (биринчи тоблаш). Биринчи тоблашдан кўзда тутиладиган мақсад деталнинг сиртқи қатламидаги цементит тўрини йўқотиш ва ички қатлами доналарини майдалашдан иборат. Цементитланган детални термик ишлаш бу билан тугамайди, чунки деталь сиртқи қатламининг қаттиқлиги зарур даражага етмайди. Деталнинг сиртқи қатламида майда нинасимон мартенсит ҳосил қилиш ва қолдиқ аусте-

ғит миқдорини камайтириш учун деталь иккинчи марта тобланади, яъни 760—800°С гача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин тез совитилади. Иккинчи марта тобланган деталь, худди биринчи усулда қилингани каби, паст температурада бўшатилади (202-расм).



202- расм. Цементитланган детални иккинчи усулда термик ишлаш схемаси.

Машиналарнинг ейилишга чидамли бўлиши талаб этиладиган деталлари цементитлангандан кейин иккинчи усулда термик ишланади.

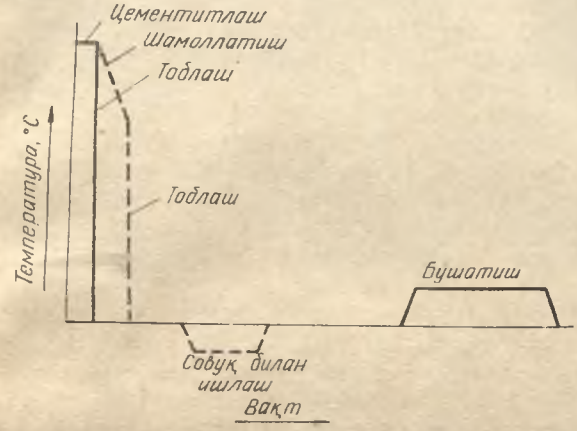
Цементитланган деталларни термик ишлашнинг у ч и н ч и у с у л и. Шундай деталлар борки, уларнинг фақат сиртқи қатламигина қаттиқ бўлиши талаб этилади ва бошқа механик хоссаларининг аҳамияти катта бўлмайди. Бундай деталлар учинчи усулда термик ишланади: цементитлангандан кейиноқ, яъни цементитланиш температурасининг (925—950°С нинг) ўзиданоқ совитилиб (тобланиб), сўнгра паст температурада бўшатилади. Цементитланиш вақтида йириклашган аустенит доналари деталь совитилганда унинг сиртқи қатламида йирик нинасимон мартенсит, ички қатламларида эса дағал йирик донали феррит ҳосил қилади. Бу усулнинг афзал томони шундан иборатки, биринчидан, деталь тобланганда кам деформацияланади ва, иккинчидан, процесс арзонга тушади. Цементитланиш температурасидан бевосита тобланган деталнинг доналари йириклашади ва диффузион қатламда қолдиқ аустенит бўлганлигидан, унинг қаттиқлиги пасаяди, булар эса айни усулнинг камчиликларидир.

Цементитланадиган деталлар асли майда донали пўлатдан ясалса, деталь газ ёки суюқ муҳитда цементитланса, цементитланган деталь тоблаш олдидан шамоллатилса, яъни деталь цементитланиш температурасидан 750—800°С гача шамоллатилиб, сўнгра тобланса ва, ниҳоят, совуқ билан ишлаш усулидан фойдаланилса, юқорида айтиб ўтилган камчиликларга кўп даражада барҳам берилган бўлади. Цементитланган деталларни учинчи усулда термик ишлаш режимининг схемаси 203-расмда тасвирланган.

Деталь газ ёки суюқ муҳитда цементитланганда, процесснинг давом этиш вақти кам бўлганлигидан, пўлат доналари унча йириклаша олмай қолади. Деталь цементитланиш температурасидан 750—800°С гача шамоллатилганда пўлат доналари майдалашмаса ҳам, аммо ички кучланишлар пасаяди. Цементитланган детални совуқ билан ишлаш эса қолдиқ аустенитнинг кўп қисмини мартенситга айлантириб, деталнинг сиртқи қатлами қаттиқлигини оширади.

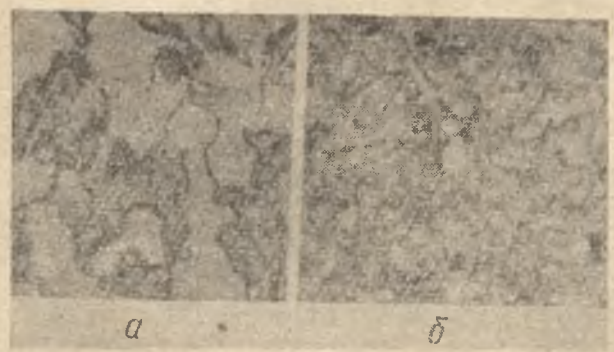
Цементитланиб, сўнгра учинчи усулда тобланган деталлар ҳам паст (150—180°С) температурада бўшатилади.

Цементитланган деталлар тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейин улар сиртининг қаттиқлиги, агар деталь махсус пўлатдан ясалган бўлса, пўлатнинг турига қараб, Роквелл бўйича 58—62, ўзагининг қаттиқлиги эса 25—35, агар деталь углеродли пўлатдан ясалган бўлса, сиртининг қаттиқлиги 56 дан катта, ўзагининг қаттиқлиги эса 25 дан кичик бўлади.



203- расм. Цементитланган детални учинчи усулда термик ишлаш режимининг схемаси.

Углеродли пўлатдан ясалган деталь цементитлангандан кейин термик ишланса, термик ишлаш режимидан қатъи назар, унинг ички қисми перлит билан ферритдан иборат бўлади (204- расм).

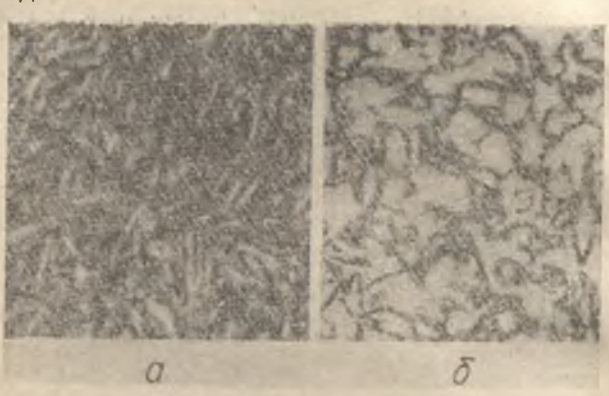


204- расм. Углеродли пўлатдан ясалиб, цементитланган деталь ички қисмининг микроскопик тузилиши (структура перлит билан феррит) × 250:

а — цементитлангандан кейин бир марта тобланган; *б* — цементитлангандан кейин икки марта тобланган.

Махсус (легирланган) пўлатдан ясалган деталь цементитланиб, сўнгра термик ишланса, ўзагининг структураси тамомила бошқача бўлади. Агар деталнинг ўзаги Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланса, унинг структураси мартенсит бўлади (205- расм, *а*). Бу мартенситда углерод кам, шунинг учун у мўрт бўлмайди. Агар деталь иккинчи гал Ac_1 нуқтадан юқори, аммо Ac_3 нуқтадан паст температурагача қиздирилиб, сўнгра совитилса, деталнинг

ўзаги чала тобланади ва унинг структураси феррит билан мартенситдан иборат бўлади (205- раем, *б*). Деталь ички қатламлари ҳажмининг кўп қисмини феррит ташкил этганлиги учун бу қатламлар етарли даражада қовушоқ бўлади.



205- расм. Легирланган (хром-никелли) пўлатдан ясалиб, цементитланган деталь ички қисмининг микроскопик тузилиши × 500:

а — цементитлангандан кейин бир марта тобланган (структура кам углеродли мартенсит); *б* — цементитлангандан кейин иккинчи марта тобланган (структура мартенсит билан феррит).

Шундай қилиб, углеродли пўлатдан ясалиб, цементитланган деталь ўзагининг қаттиқлиги термик ишлангандан кейин ҳам ўзгармай қолади, ҳолбуки, легирланган пўлатдан ясалган деталь ўзагининг структурасида катта ўзгариш бўлади ва, демак, унинг қаттиқлиги ортади.

2- §. АЗОТЛАШ

Пўлатнинг сиртқи қатламини азотга тўйинтириш процесси *азотлаш* деб аталади. Деталнинг азотга тўйинтирилган сиртқи қатлами жуда қаттиқ, ейилишга жуда чидамли ва коррозиябардош бўлиб қолади.

Азотлаш процессини жаҳонда биринчи бўлиб (1913 йилда) рус олими Н. П. Чижевский текширди ва амалда жорий қилди.

Деталнинг азотланган қатлами жуда қаттиқ бўлганлиги ва азотлангандан кейин деталнинг ўлчамлари жуда оз ўзгарганлиги учун (бу ўзгариш азотланган қатламнинг солиштирма ҳажми билан ўзагининг солиштирма ҳажми орасида фарқ ҳосил бўлишидан келиб чиқади, 256-бетга қаранг), деталлар узил-кесил термик ишлангандан ва силлиқланиб, зарур ўлчамга келтирилгандан кейингина азотланади.

Деталларнинг сирти аммиак оқимида 500—600°С температурада азотланади. Бунинг учун, кам углеродли пўлатдан ясалган, оғзи зич беркиладиган муфель печга сиртқи қатлами азотланадиган деталлар жойланади. Муфелга маълум тезликда аммиак (NH_3) юборилади, бу ерда аммиак парчаланади:

$$2NH_3 = 2N + 3H_2.$$

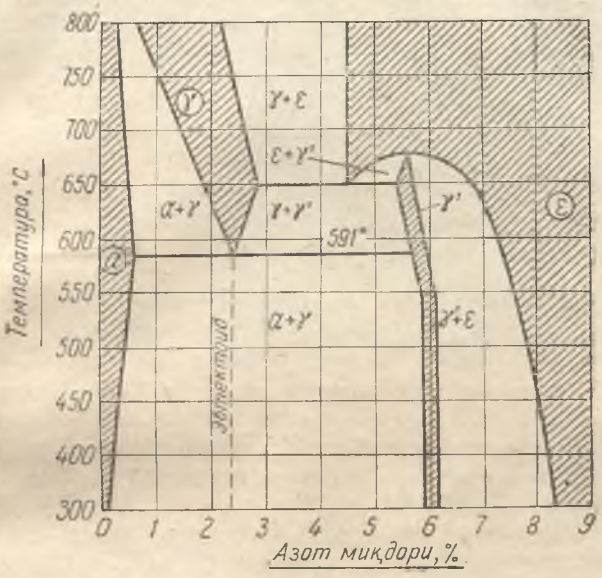
Бу реакция натижасида ажралиб чиққан азот атомлари деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади.

Азотлаш процессини тўғри тасаввур қилиш учун Fe—N системасининг ҳолат диаграммаси билан танишиб чиқайлик. Бундай диаграмма

206- расмда тасвирланган. Бир фазали соҳалар диаграммада штрихлаб қўйилган.

Fe—N системасида қуйидаги фазалар ҳосил бўлиши мумкин:

а) α-фаза, бу фаза азотнинг α-темирдаги қаттиқ эритмаси (азотли феррит). Азотли ферритда 591°С температурада 0,42%, 18°С температурада эса 0,10% чамаси азот бўлади.



206- расм Fe — N системаси ҳолат диаграммасининг бир қисми.

б) γ-фаза, бу фаза азотнинг γ-темирдаги қаттиқ эритмаси (азотли аустенит). Азотли аустенит эвтектоид температураси (591°С) дан юқори температурадагина мавжуд бўла олади. Пўлат секин совитилса, 591°С да азотли аустенит парчаланиб, эвтектоид (α+γ′) ҳосил қилади, эвтектоид таркибида 2,35% азот бўлади. Пўлат тез совитилса, γ-фазадан азотли мартенсит ҳосил бўлади.

в) γ′-фаза, бу фаза темир нитрид бўлиб, унинг химиявий таркиби Fe_4N формула билан ифодаланади; Fe_4N нинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган кубдир; γ′-фазада 5,9% азот бўлади.

г) ε-фаза, бу фаза темирнинг Fe_2N таркибли нитриди бўлиб, унинг кристалл панжараси гексагонал панжарадир.

Азот кўпгина легирловчи элементлар, масалан, хром, марганец, титан ва бошқалар билан бирикиб ҳам шу элементларнинг нитридларини ҳосил қилади (AlN, MoN, CrN, Cr_2N, MnN, TiN, VN ва бошқалар).

Легирланган пўлатдан ясалган деталнинг азотланган қатлами жуда қаттиқ (HV=1200 гача) бўлади. Азотланган қатламнинг жуда қаттиқ бўлиши нитридларнинг ниҳоятда майда (дисперслик даражаси жуда юқори) заррачалар тарзида эканлигидан келиб чиқади; бу заррачалар сирпаниш текисликларини блокировка қилиб (тўсиб) қўяди.

Пўлатнинг диффузион (азотланган) қатламида, Fe—N ҳолат диаграммасига ва процесс температурасига мувофиқ, азотли ҳар хил фазалар бўлади. Азотлаш температураси эвтектоид температурадан (591°С дан) паст бўлса, диффузион қатлам α, γ′ ва ε-фазалардан иборат бў-

лади. Пўлат эвтоктоиддан юқори температураларда, масалан 650°С да азотланса, диффузион қатламда тўртта фаза α, γ, γ′ ва ε-фазалар бўлиши мумкин (206-расмдаги диаграммага қаранг). Темирнинг 591°С дан юқори температурада азотланган қатламининг микроскопик тузилиши 207-расмда тасвирланган.

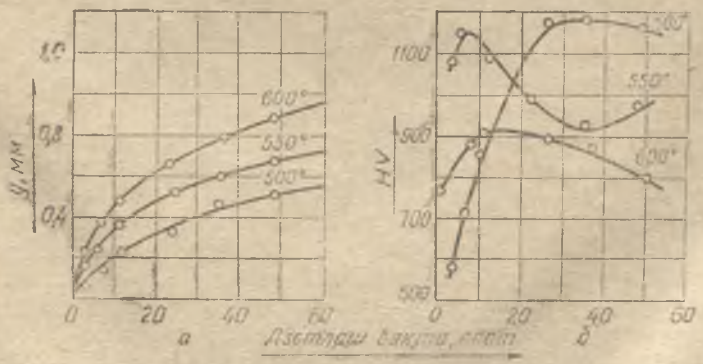


207-расм. Темирнинг азотланган қатлами (Ю. М. Лахтин).

207-расмдан кўриниб турибдики, азотланган деталь сиртида ε+γ′-фазалар, ундан кейин α+γ′-фазалар (эвтектоид), ундан кейин эса α-фаза ҳосил бўлади.

Амалда, легирланган пўлатдан ясалган деталлар азотланади. Пўлатда легирловчи элементларнинг бўлиши азотланган қатлам ҳосил бўлиш кинетикасини унча ўзгартирмайди. Пўлатда легирловчи элементлар бўлса, дастлаб, азотга тўйинган α-эритма қавати, сўнгра γ′+α қавати, шундан кейин эса ε+γ′+α қавати ҳосил бўлади, айни замонда легирловчи элементларнинг нитридлари, масалан, CrN, MoN, AlN ва бошқалар ҳам ҳосил бўлади. Нитридлар деталь азотлаш температурасидан нормал температурагача совитилганда ҳам ҳосил бўлади, чунки совитилганда уларнинг азотли асосий фазаларда эрувчанлиги камаяди.

Диффузион қаватнинг чуқурлиги ва деталь сиртининг қаттиқлиги, асосан, азотлаш температурасига, азотлаш процессининг давом этиш вақтига ва азотланаётган пўлатнинг таркибига боғлиқдир.



208-расм. Азотлаш температурасининг диффузион қатлам чуқурлигига (*а*) ва қаттиқлигига (*б*) таъсири. 38ХМЮА маркали пўлат (Ю. М. Лахтин).

Азотлаш процессининг давом этиш вақти билан деталь сиртининг қаттиқлиги ва диффузион қатламнинг чуқурлиги орасидаги боғланиш 208-расмда тасвирланган.

Диффузион қатлам чуқурлигининг ўсиши температуранинг кўтарилиши билан ортади, аммо детални азотлашда диффузион қатламнинг қаттиқлигини ошириш зарур бўлганлигидан температурани кўтариш мумкин бўлмайди, чунки температура кўтарилганда нитридларнинг дисперслик даражаси пасаяди. Таркибида термик барқарор нитридлар ҳосил қилувчи элементлар (Al, Cr, Mo) бўлган пўлатлар *нитраллойлар* деб аталади. Нитраллойларнинг азотланган қатлами жуда қаттиқ бўлади. Одатдаги конструкцион пўлатдан ясалган деталларнинг азотланган сиртқи қатлами айтарли даражада қаттиқ бўлмайди, углеродли пўлатдан ясалган деталлар азотланган қатламининг қаттиқлиги эса паст бўлади, чунки уларда легирловчи элементлар бўлмаганлигидан уларнинг нитридлари ҳам бўлмайди, темир нитридларига келсак, улар 500°С ва ундан юқори температураларда коагулланиб қолади.

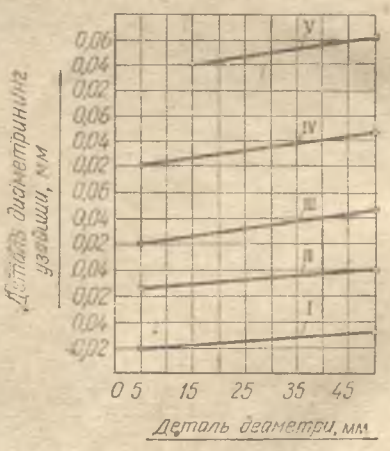
Кам легирланган пўлатлардан ясалган деталларни азотлаш осон, яъни айни температурада талаб этилган қалинликдаги диффузион қатлам ҳосил қилиш учун кам вақт кетади, кўп легирланган пўлатлардан ясалган деталларни эса азотлаш анча қийин бўлади. Масалан, зангламас пўлатдан ясалган деталларни азотлашда қалинлиги 0,2—0,25 *мм* дан ортиқ диффузион қатлам ҳосил қилиб бўлмайди.

Азотланадиган деталлар СССРда 38ХМЮА (0,35—0,42% С, 1,5—1,8% Cr, 0,15—0,25% Mo, 0,7—1,1% Al) ва 35ХМЮА (0,30—0,38% С, 1,35—1,65% Cr, 0,4—0,6% Mo, 0,75—1,1% Al) пўлатларидан тайёрланади.

Азотланган деталларнинг толиқиш чегараси 25—100% ортади.

Деталларни азотлаш процесси 500—520°С температурада, кўпинча, 24—60 соат давом этади. Азотлаш вақтини қисқартириш учун азотлашнинг босқичли усулидан фойдаланилади. Икки босқичли процессдан фойдаланилганда энг яхши натижаларга эришилади. Бунда деталь олдин 500—520°С да азотланиб, сўнгра температура 600—620°С га етказилади. Азотлашнинг биринчи босқичида диффузион қатламнинг қаттиқлиги юқори даражага етади, температуранинг 600—620°С га етказилиши натижасида эса талаб этилган қалинликдаги диффузион қатлам ҳосил қилиш учун кетадиган вақт қисқаради.

Коррозияга қарши (декоратив) азотлаш процесси, одатда, 600—700°С температурада ўтказилади. Бу процесснинг давом этиш вақти 10—15 минутдан 3—6 соатгача боради.



209-расм. 35ХМЮА пўлатидан ясалган цилиндрик деталлар азотлангандан кейин шу деталлар диаметрининг узайишини кўрсатувчи эгри чизиқлар (И. Е. Конторович ва Р. И. Мочалкин):

I —500°С да 48 соат давомида азотланган (азотланган қатлам қалинлиги 0,34 *мм*); *II* — 500°С да 72 соат давомида азотланган (азотланган қатлам қалинлиги 0,49 *мм*); *III* — биринчи босқичда 500°С да 12 соат, иккинчи босқичда эса 600°С да 12 соат давомида азотланган (азотланган қатлам қалинлиги 0,35 *мм*); *IV* — биринчи босқичда 500° С да 18 соат, иккинчи босқичда эса 600°С да 18 соат давомида азотланган (азотланган қатлам қалинлиги 0,57 *мм*); *V* — биринчи босқичда 500°С да 18 соат, иккинчи босқичда 600° С да 18 соат, учинчи босқичда эса 500°С да 6 соат давомида азотланган (азотланган қатлам қалинлиги 0,75 *мм*).

Деталлар азотланган қатламининг солиштирма ҳажми билан ўзагининг (ички қисмининг) солиштирма ҳажми орасида фарқ ҳосил бўлади, бунинг оқибатида эса азотланган деталларда катта ички кучланишлар — диффузион қатламда сиқувчи, ўзакда эса чўзувчи кучланишлар вужудга келади, шу сабабли, азотланган деталлар деформацияланади. Азотланган деталларнинг қанчалик деформацияланишини 35ХМЮА пўлатидан ясалган цилиндрик деталлар мисолида кўриш мумкин (209-расм).

Деталларни азотлаш вақтида улар тоб ташлаши, мўрт бўлиб қолиши, уларнинг қаттиқлиги етарли даражада бўлмаслиги, диффузион қатламда майда ғоваклар ҳосил бўлиши мумкин. Бу нуқсонлар материалнинг сифатига, азотлаш шароитига, деталларни азотлашдан олдин термик ва механик ишлаш режимларига ҳамда уларга азотлангандан кейин ишлов бериш режимига боғлиқдир.

3- §. ЦИАНЛАШ

Пўлатдан ясалган деталнинг сиртқи қатламини бир вақтнинг ўзида ҳам углерод, ҳам азот билан тўйинтириш процесси *цианлаш* деб аталади. Цианлаш процессидан деталнинг сиртқи қатлами қаттиқлигини ошириш ва уни ейилишга чидамли қилиш учун фойдаланилади. Углеродли конструкцион пўлатлардан ясалган деталлар ва тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбоблар цианланади.

Деталларнинг сиртқи қатлами суюқ муҳитда (суюқлантирилган тузли ваннада), газ муҳитда ёки қаттиқ муҳитда цианланиши мумкин. Газ муҳитда цианлаш, баъзан, *нитроцементитлаш* деб ҳам аталади. Сиртқи қатлами цианланган деталлар юқори механик хоссаларга эга бўлиб қолганлигидан, бу процессдан саноатда кўп фойдаланилади.

Суюқ муҳитда цианлаш. Сиртқи қатлами суюқ муҳитда углерод ва азот билан тўйинтириладиган деталлар ёки асбоблар суюқлантирилган тузли ваннада қиздирилади. Бундай тузлар сифатида цианидлардан — натрий цианид NaCN, калий цианид KCN, кальций цианид $Ca(CN)_2$ дан фойдаланилади. Цианидларнинг суюқланиш температураси паст (550—650°С) бўлганлигидан уларга цианидларнинг суюқланиш температурасини ошириб, буғланишини камайтирувчи нейтрал тузлар (натрий хлорид NaCl, барий хлорид $BaCl_2$, натрий карбонат Na_2CO_3 ва бошқалар) қўшилади. Цианлаш учун, масалан, 40% NaCN, 40% NaCl ва 20% Na_2CO_3 ёки 6% NaCN, 80% $BaCl_2$ ва 14% NaCl дан иборат аралашмалар ишлатилади. Аралашмадаги цианидлар билан нейтрал тузларнинг миқдорий нисбатига кўра, аралашмалар юқори процентли (90—95% цианидли), ўртача процентли (40—50% цианидли) ва паст процентли (1—6% цианидли) бўлади.

Цианлаш процессининг моҳияти шундан иборатки, цианидлар қиздирилганда парчаланиб, улардан углерод ва азот атомлари ажралиб чиқади ҳамда деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади. Диффузион қатламнинг таркиби ва хоссалари цианлаш температурасига боғлиқдир. Цианлаш температурасининг кўтарилиши диффузион қатламда углерод миқдорининг ортишига, цианлаш температурасининг пасайиши эса азот миқдорининг ортишига олиб боради. Цианлаш процесси аралаш процесс, яъни бир вақтнинг ўзида ҳам углеродлаш, ҳам азотлаш процесси бўлганлигидан, цианлаш процесси юқори температурада цементитлаш процессига, паст температурада эса азотлаш процессига яқинлашиб боради дейишимиз мумкин. Шу сабабли суюқ муҳитда цианлаш икки турга, юқори температурада цианлаш (деталларни циан-

лаш) ва паст температурада цианлаш (кесувчи асбобларни цианлаш) турларига бўлинади.

Юқори температурада цианлаш. Бу усулдан ўртача ва кам углеродли пўлатлардан, углеродли оддий пўлатлардан ва легирланган пўлатлардан ясалган деталларни цианлашда фойдаланилади. Цианлаш процесси 800—950°С температурада олиб борилади. Цианлашда, масалан, 40% NaCN, 40% NaCl ва 20% Na_2CO_3 дан иборат аралашма (820—850°С температура учун) ёки 6% NaCN, 80% $BaCl_2$ ва 14% NaCl дан иборат аралашма (900—950°С температура учун) ишлатилади.

Натрий цианидли ванна қиздирилганда қуйидаги тенгламалар билан ифодаланадиган реакциялар боради:

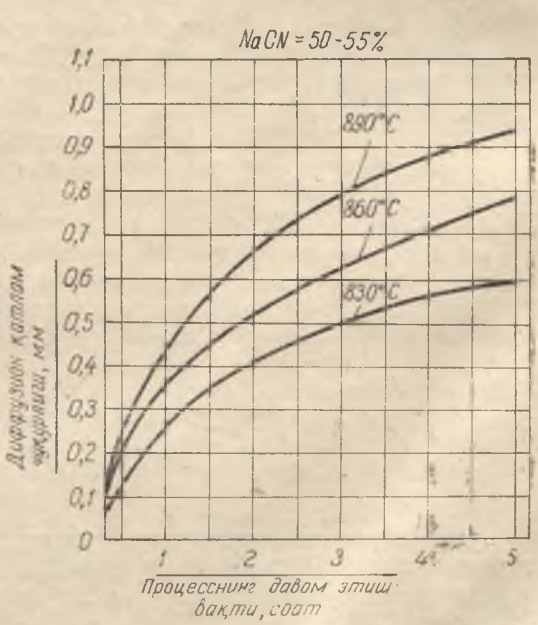
$$\left.\begin{array}{l} 2NaCN + O_2 = 2NaCNO \\ \text{натрий цианат} \\ 2NaCNO + O_2 = Na_2CO_3 + CO + 2N \end{array}\right\} \text{суюқланманинг сиртида}$$

$$\left.\begin{array}{l} 4NaCNO = Na_2CO_3 + 2NaCN + CO + 2N \\ 2CO = CO_2 + C \end{array}\right\} \text{суюқланманинг остки қатламида}$$

Бу реакциялар натижасида ажралиб чиққан актив (атом ҳолидаги) углерод ва азот деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади.

Цианли тузларнинг асосий компоненти циан (CN) группа бўлиб, бу группа миқдори ортган сари деталнинг диффузион қатламидаги углерод миқдори билан азот миқдори ортади. Айни бир таркибли суюқланма ишлатилганда диффузион қатламнинг қалинлиги температурага ва процесснинг давом этиш вақтига боғлиқдир. Бу боғланиш графиги 210-расмда тасвирланган.

Тузлар аралашмасининг таркибига ва цианлаш температурасига қараб, диффузион қатламнинг структураси ва ундаги углерод билан азотнинг концентрацияси турлича бўлади. Цианланган деталнинг сиртқи қатламида азотнинг концентрацияси катта бўлганлигидан сиртқи юпқа қобиқ $Fe_2(C, N)$ ёки $Fe_3(C, N)$ типидаги карбид-нитрид фазадан иборат бўлади. Бу қобиқ ортиқ даражада мўрт бўлганлиги учун у ҳамма вақт ҳам маъқул бўлавермайди. Агар деталь цианлангандан кейин тез совитилса, карбид-нитрид фазадан кейин азотли мартенсит қатлами келади.



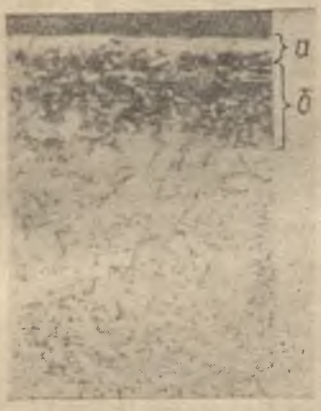
210-расм. Диффузион қатлам қалинлигининг температура ҳамда вақтга қараб ўзгариши (А. П. Гуляев).

Цианлашнинг цементитлашга қараганда бирмунча афзалликлари бор, чунончи, цианланган қатлам цементитланган қатламга қараганда

анча қаттиқ, унинг коррозиябардошлиги бирмунча юқори бўлади. Деталнинг сиртқи қатламини цианлаш унинг толиқиш чегарасини оширади, чунки деталларнинг сиртқи қатламини пухталашнинг бошқа усулларида бўлгани каби, цианлашда ҳам деталь сиртида қолдиқ сиқилиш кучланиши вужудга келади.

Цианлашда температуранинг нисбатан паст бўлиши ва цианлаш процессининг давом этиш вақти узоқ бўлмаганлиги натижасида пўлат доналари йириклашмайди, шунинг учун деталь цианлангандан кейиноқ тобланади. Деталь тобланган сўнг сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 63—65 га етади. Тобланган деталь 150—170°С да бўшатилади.

Цианланиб, сўнгра тобланган деталь диффузион қатламининг микроскопик тузилиши 211-расмда тасвирланган.



211-расм. Деталь диффузион қатламининг тобланган кейинги микроскопик тузилиши× 100:

а — азотли мартенсит зонаси;
б — мартенсит-троостит зонаси.

Деталнинг сиртқи қатлами 900—950°С температурада цианланса, таркибида 1,0—1,2% гача углерод бор 1,5—2,0 *мм* қалинликдаги диффузион қатлам ҳосил бўлади; бу қатламда азотнинг миқдори кўпи билан 0,2% ни ташкил этади. Бинобарин, чуқур цианлаш цементитлаш ўрнини бемалол босади, шунинг учун ҳам бу процесс *суюқ муҳитда цементитлаш* деб ҳам аталади.

Деталларни чуқур цианлаш учун шундай шароит яратилиши керакки, деталнинг сиртқи қатлами камроқ азотланиб, кўпроқ цементитлансин, яъни цементитланиш процесси азотланиш процессидан устун турсин. Бунинг учун, цианлаш ваннасида кўп миқдорда актив углерод атоми ҳосил бўлиши ва цементитланишга тўсқинлик қилувчи натрий карбонат бўлмаслиги керак. Бу шартни қондирувчи аралашма натрий цианид билан барий хлорид ёки кальций хлорид аралашмасидир.

Ваннада натрий цианид билан барий хлорид аралашмаси суюқлантирилганда қуйидаги схемалар билан ифодаланадиган реакциялар боради:

$$2NaCN + BaCl_2 \rightleftarrows Ba(CN)_2 + 2NaCl;$$

$$Ba(CN)_2 \rightarrow BaCN_2 + C.$$

Деталларни цианлашнинг катта камчилиги шундаки, цианидлар заҳарли бўлади. Шунинг учун деталлар махсус ажратилган хоналарда цианланади, бу хоналарда эса хавфсизлик техникасига қатъий риоя қилинади.

Деталлар цианланиб, сўнгра тобланган кейин деталь сиртида қолган цианидлар батамом кетгунча яхшилаб ювилади ва, шундан кейин, бўшатилади.

Паст температурада цианлаш. Цианлашнинг бу тури асбобсозлик пўлатидан (тезкесар пўлат ва хромли пўлатдан) ясалган асбоблар учун қўлланилади. Бунда термик ишланган, яъни тобланиб, сўнгра бўшатилган асбоблар цианли тузлар суюқланмасида 500—600°С температурада цианланади. Цианлаш натижасида асбобларнинг сиртқи

юпқа (0,02—0,04 *мм* қалинликдаги) қатлами азот билан углеродга тўйинади, яъни бу қатламда нитридлар билан карбидлар ҳосил бўлади. Цианланган қатламнинг ранги қорароқ тусга киради, бу қатламнинг сирти, баъзан, оқиш тусли қобиқ билан қопланиб қолади. Проф. Д. А. Прокошкиннинг тадқиқотларига кўра, оқиш тусли сиртқи қобиқ темир карбидидан иборатдир. Бу қобиқ жуда мўрт бўлади, шунинг учун унинг қалинлигини 3—5 микрондан оширмаслик керак. Оқ қобиқ остидаги қорароқ тусли қатлам мартенсит, карбид ва нитридлардан иборат жуда майин аралашмадир. Цианланган қатламнинг қаттиқлиги Виккерс бўйича 900—1200 га, иссиқбардошлиги эса тахминан 650°С га етади.

Асбобларни цианлаш учун 30—50% NaCN ва 70—50% Na_2CO_3 дан ёки 80—90% сариқ қон тузи, яъни $K_4[Fe(CN)_6]$ ва 20—10% КОН дан иборат аралашма ишлатилади. Иккинчи аралашмада ўювчи калий сариқ қон тузининг суюқланиш температурасини пасайтириш учун қўшилади.

Газ муҳитда цианлаш. Бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, деталлар ёки кесувчи асбоблар цементитловчи газ билан азотловчи газ, масалан, ёритиш гази билан аммиак аралашмасида қиздирилади. Бинобарин, газ муҳитда цианлаш процесси икки процессни, яъни газ муҳитда цементитлаш процесси билан газ муҳитда азотлаш процессини ўз ичига олади ва *нитроцементитлаш* деб ҳам аталади. Нитроцементитлаш процессини 1934 йилда проф. Н. А. Минкевич ва проф. В. И. Просвирин текширган эдилар.

Нитроцементитлашда цементитловчи газ сифатида пиролиз ёки генератор газидан, кокс газидан ва бошқа газлардан фойдаланилади.

Газ муҳитда цианлашнинг суюқ муҳитда цианлашга қараганда катта афзалликлари бор, масалан, газ билан цианлаш процесси хавфсиздир, чунки бунда заҳарли цианидлар иштирок этмайди; нитроцементитлашда цементитловчи газ билан азотловчи газ миқдорларини ўзгартириш йўли билан цианлаш процессини тартибга солиш мумкин; бу усулда цианлаш процесси арзонга тушади, чунки цементитловчи газ билан азотловчи газ (аммиак) нархи цианли тузлар (цианидлар) нархидан паст туради.

Газ муҳитда цианлашнинг ҳам икки тури бор: булардан бири юқори температурада цианлаш бўлса, иккинчиси паст температурада цианлашдир.

Юқори температурада цианлаш. Цианлашнинг бу тури конструкцион ва кам легирланган пўлатлардан ясалган деталларни нитроцементитлашда қўлланилади. Бунда деталлар 830—850°С, баъзан эса 930—950°С температурагача қиздирилади, натижада углерод билан азот γ-фазага диффузиланади.

Нитроцементитлаш натижалари цианлаш температурасига, детални зарур температурада тутиб туриш вақтига ва аралашмадаги цементитловчи газ билан азотловчи газнинг нисбатига боғлиқдир. Температура кўтарилган сари диффузион қатламнинг чуқурлиги ошиб, азотга тўйиниш даражаси пасаяди; тутиб туриш вақтининг ортиши билан ҳам цианланиш чуқурлиги ортади. Аралашмадаги газларнинг нисбати деталь сиртқи қатламининг углерод ва азотга тўйиниш даражасига таъсир этади. Мўрт ε-фаза (206-расмга қаранг) ҳосил бўлмаслиги учун аралашмадаги аммиак миқдори 25—30% дан ортмаслиги керак.

Деталнинг сиртқи қатлами қаттиқлигини зарур даражага етказиш учун деталь цианлангандан кейин тобланади. 830—850°С температура

пўлат доналарининг тез йириклашиш зонасидан паст бўлганлиги учун деталь цианлаш печидан олибоқ совитилади (тобланади). Деталь совитилганда унинг ўзаги ҳам тобланади, чунки 830—850°С температурада кўпгина конструкцион пўлатларнинг ўзаги ҳам тоблаш температурасигача қизийди. Ўзаги ҳам тобланган деталларнинг механик хоссалари яхшиланади, чунки цианланган қават учун пухта таянч ҳосил бўлади. Катта солиштирма босим билан ишлайдиган деталлар цианланган қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 56 дан, ўзагининг қаттиқлиги эса 30—40 дан кам бўлмаслиги керак.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, цианланган деталнинг диффузион қатлами тоблангандан кейин бу қатламда анчагина миқдор қолдиқ аустенит бўлади, қолдик аустенитнинг бўлиши эса нитроцементитланган қатламнинг қаттиқлигини пасайтиради. Қолдиқ аустенит миқдорини камайтириш учун деталь совуқ билан ишланади. Цианланиб, сўнгра тобланган деталь суюқ кислородда (—183°С температурада) ишланса, кўп легирланган пўлатдан ясалган деталь диффузион қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 64 га етади.

Деталларни нитроцементитлаш процесси герметик беркиладиган печдан ва печга цементитловчи ҳамда азотловчи газ бериб туриладиган ускуналардан иборат махсус қурилмаларда олиб борилади.

Паст температурада цианлаш. Паст температурада цианлаш усули тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбоблар учун қўлланилади. Бу процесс 500—700°С температурада ўтказилади. Бунда деталнинг сиртқи қатламига асосан азот диффузиланиб, нитридлар ҳосил қилади, натижада тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларнинг кесиш хоссалари яхшиланади ва турғунлиги ортади.

Қаттиқ муҳитда цианлаш. Деталларни қаттиқ муҳитда цианлаш процесси қаттиқ муҳитда цементитлаш процесси кабидир, фарқ фақат шундан иборатки, қаттиқ муҳитда цианлаш учун ишлатиладиган аралашмада қаттиқ карбюризатор билан бир қаторда цианли тузлар (цианидлар) ҳам бўлади. Масалан, қаттиқ муҳитда цианлашда 30—40% сариқ қон тузи (калий ферроцианид), 10% сода (натрий карбонат), қолгани писта кўмирдан иборат аралашма ишлатилади.

Қаттиқ муҳитда цианлаш усули ҳам, худди паст температурада цианлаш усули каби, тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларнинг кесиш хоссаларини яхшилаш ва турғунлигини ошириш учун қўлланилади. Аммо бу усулнинг иш унуми суюқ ва газ муҳитда цианлаш усулиникига қараганда анча паст бўлганлиги учун ундан камдан-кам ҳолларда фойдаланилади.

4- §. ДИФФУЗИОН ЛЕГИРЛАШ*

Пўлат ёки чўяндан ясалган деталларнинг сиртқи қатламини ҳар хил металл ва металлоидларга (металлмасларга), масалан, хром, алюминий, молибден, вольфрам, кремний, олтингугурт ва бошқаларга тўйинтириш процесси *диффузион легирлаш* деб аталади.

Деталнинг сиртқи қатлами хромга тўйинтирилса, бу процесс диффузион хромлаш деб, алюминийга тўйинтирилса, диффузион алюминий-

---

* Кўпгина адабиётда диффузион металлаш дейилади, аммо диффузион металлаш деган ибора унча тўғри эмас, чунки деталларнинг сиртқи қатламини кремнийга, олтингугуртга тўйинтириш ҳам ана шу усулга киради, ҳолбуки кремний ва олтингугурт металл бўлмай, балки металлоидлардир.

лаш деб, бир вақтнинг ўзида ҳам хромга, ҳам вольфрамга тўйинтирилса, диффузион хром-вольфрамлаш деб аталади ва ҳоказо.

Диффузион легирлашнинг тўрт турини, яъни диффузион алюминийлаш, диффузион хромлаш, диффузион кремнийлаш ва диффузион олтингугуртлаш процессларини кўриб чиқиш билан чегараланамиз.

Диффузион алюминийлаш. Диффузион алюминийлашдан кўзда тутиладиган мақсад пўлат ёки чўяндан ясалган деталларнинг оловбардошлик (юқори температурада оксидланмаслик) хоссасини оширишдан иборат. Деталларнинг сиртқи қатлами қаттиқ муҳитда, суюқ муҳитда ва газ муҳитда диффузион алюминийланиши мумкин.

Қаттиқ муҳитда диффузион алюминийлаш. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, диффузион алюминийланадиган деталлар алюминийловчи аралашма солинган яшикларга ёки ретортларга жойланиб, маълум температурагача қиздирилади. Алюминийловчи аралашма сифатида алюминий ёки ферроалюминий* кукуни билан аммоний хлорид (NH_4Cl) аралашмаси ишлатилади. Алюминий ёки ферроалюминий кукуни қиздирилганда қовушиб қолмаслиги учун, баъзан, бу аралашмага алюминий оксид (Al_2O_3) ёки каолин ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) кукуни қўшилади.

Қаттиқ муҳитда диффузион алюминийлаш учун ишлатиладиган аралашмалар таркиби 20-жадвалда кўрсатилган.

20- жадвал

Қаттиқ муҳитда диффузион алюминийлаш учун ишлатиладиган аралашмаларнинг таркиби

Аралашма таркибий қисмларининг номи	Таркибий қисмларнинг миқдори, оғирлик жиҳатидан % ҳисобида
Ферроалюминий	60
Алюминий оксид (Al_2O_3) ёки каолин ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)	39,0—39,5
Аммоний хлорид (NH_4Cl_2)	1,0—0,5
Ферроалюминий	99,0—99,5
Аммоний хлорид (NH_4Cl)	1,0—0,5
Алюминий	50
Алюминий оксид (Al_2O_3) ёки каолин ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)	49,0—49,5
Аммоний хлорид (NH_4Cl)	1,0—0,5

Диффузион алюминийланиши керак бўлган деталлар кам углеродли пўлат ёки нихром яшикларга солинган аралашма ичига жойланади. Деталларни жойлаш тартиби худди қаттиқ муҳитда цементитлашдаги каби бўлади, аммо бунда газларнинг чиқиб кетиши учун яшик қопқоғига кичикроқ бир тешик ўйилган бўлади. Аралашмага жойланган деталлар 950—1050°С гача қиздирилиб, шу температурада 4—12 соат тутиб турилади. Бунда деталнинг 0,1 дан 1,0 *мм* гача қалинликдаги сиртқи қатлами алюминийланиб қолади. Бу усулда диффузион алюминийлаш техникаси худди қаттиқ муҳитда цементитлашдаги кабидир.

* *Ферроалюминий* — темир билан алюминий қотишмаси. Бу қотишмада алюминий процента кўпроқ бўлади.

Алюминийланадиган деталь диффузион қатламининг қалинлигига температуранинг ҳамда вақтнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 212 ва 213-расмларда тасвирланган.

Баъзи деталларни қаттиқ муҳитда диффузион алюминийлаш режимлари 21-жадвалда келтирилган.

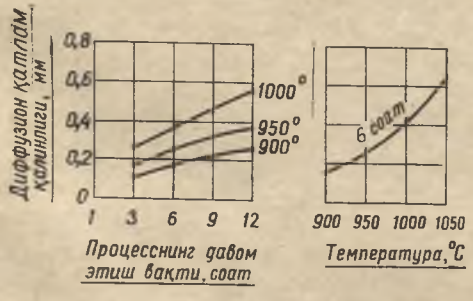
21-жадвал

Баъзи деталларни диффузион алюминийлаш режимлари

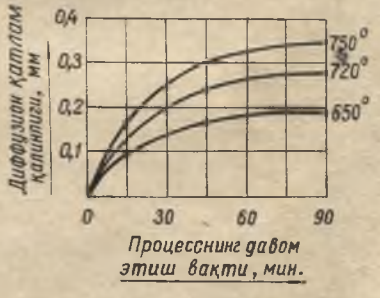
Аралашманинг таркиби	Алюминийланадиган деталларнинг номи	Алюминийлаш температураси, °С	Процесснинг давом этиш вақти, *соат*	Диффузион қатламнинг қалинлиги, *мм*
99,5% ферроалюминий ва 0,5% аммоний хлорид	Газогенераторли трактор ва автомобилларнинг ўтхоналари	1100	12	0,7—1,0
	Буғ қозонларининг трубалари	1050	6	0,5—0,6
	Паровоз деталлари	1050	6—8	0,5—0,7
	Чўяндан қуйилган оловдонлар	975	4	0,25*

* Диффузион юмшатилгандан кейинги чуқурлиги

Деталь диффузион алюминийлангандан кейин унинг сиртқи зонасида алюминий миқдори 40—50% га етади, деталь оловбардош бўлиши учун унинг сиртқи қатламидаги алюминий миқдорининг 10—15% бўлиши кифоя. Алюминий миқдорининг кўп бўлиши эса диффузион қатлам-



212-расм. Диффузион қатлам қалинлигининг процесс вақтига ва температурасига қараб ўзгариши. Пўлат 10; 99,5 % ферроалюминий ва 0,5 % аммоний хлориддан иборат аралашма (Н. А. Минкевич).



213-расм. Диффузион қатлам қалинлигининг процесс вақтига ва температурасига қараб ўзгариши. Пўлат 10; 88 % алюминий ва 12 % темирдан иборат суюқланмали ванна (Ф. Г. Никонов).

ни мўрт қилиб қўяди. Деталнинг сиртқи қатламидаги алюминий миқдорини камайтириш ва мўртликни йўқотиш учун алюминийланган деталь 950°С температурада 5—6 соат давомида ёки 1000°С температурада 3—4 соат давомида диффузион юмшатилади.

Суюқ муҳитда диффузион алюминийлаш. Бу процесс деталларни суюқлантирилган алюминийли ваннада 750—800°С температурагача қиздириб, шу температурада 1 соат тутиб туришдан иборат, бунда деталнинг 0,3 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами алюминийга тў-

йинади. Суюқлантирилган алюминийли ваннага 6—8% темир қириндиси ҳам қўшилади.

Деталь диффузион алюминийлангандан кейин 900—1000°С температурада диффузион юмшатилади.

Суюқ муҳитда алюминийлашнинг камчилиги шундан иборатки, суюқ алюминий тигель материалини емиради.

Газ муҳитда диффузион алюминийлаш. Бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, алюминийланадиган деталлар ретортага жойланиб, ферроалюминий қипиғи билан кўмилади, шундан кейин реторгадан хлор ёки водород хлорид ўтказилади. Деталь 980°С температурада 2 соат тутиб турилса, унинг 0,40—0,45 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами алюминийга тўйинади.

Алюминийланган деталнинг диффузион қатлами α-қаттиқ эритма билан Fe_2Al_5 дан иборат бўлиб, ўзагидан аниқ фарқ қилиб туради (214-расм). Диффузион қатламнинг қаттиқлиги юқори ($HV=400\div500$), ейилишга чидамлилиги ва мўртлиги паст бўлади.

Диффузион алюминийланган деталнинг оловбардош бўлишига сабаб шуки, унинг диффузион қатлами сиртида юқори температурага чидамли Al_2O_3 пардаси ҳосил бўлади.

Сиртқи қатлами диффузион алюминийланган деталларни 900°С дан ошмайдиган температураларда ишлатиш маъқулроқ.

Диффузион алюминийланадиган деталлар жумласига, масалан, цементитлаш яшиклари, суюқлантирилган туз тигеллари, термопара ғилофлари, электр билан қиздириш асбобларининг спираллари, печь арматураси, форсункалар, чўян оловдонлар, буғ қозони трубалари ва бошқалар киради.



214-расм. 10 маркали пўлатдан ясалиб, кукунлар аралашмасида 1000°С да 4 соат давомида алюминийланган деталь диффузион қатламининг микроскопик тузилиши × 50.

Диффузион хромлаш. Диффузион хромлашдан кўзда тутиладиган мақсад пўлат ва чўяндан ясалган деталлар сиртқи қатламининг қаттиқлигини ва ейилишга чидамлилигини, коррозиябардошлик ва юқори температурада оксидланмаслик (оловбардошлик) хоссаларини оширишдан иборат. Деталлар уч хил муҳитда — қаттиқ муҳитда, суюқ муҳитда ва газ муҳитда диффузион хромланиши мумкин. Буларни бирма-бир кўриб чиқайлик.

Қаттиқ муҳитда диффузион хромлаш. Пўлат ёки чўяндан ясалган деталларнинг сиртқи қатламини бу усулда хромлаш учун 60—65% феррохром*, 30—35% гилтупроқ (алюминий оксид) ва 5% хлорид кислота ёки аммоний хлориддан иборат аралашма ишлатилади. Деталларни қаттиқ муҳитда диффузион хромлаш процессининг моҳияти қуйидагича: мой, ифлослик ва зангдан тозаланган деталлар аралашма солинган темир яшикка жойланади. Яшикнинг қопқоғи маҳкам беркитилиб, атрофи сувалгандан кейин температураси 1050—1150°С ли печга қўйилади, бу печда 12—15 соат тутиб турилгандан кейин 700—600°С температурагача печь билан бирга совитилиб, шундан кейин эса ҳавода совитилади.

* *Феррохром* — темир билан хром қотишмаси.

Деталларни диффузион хромлашда ишлатиладиган аралашмалар таркиби ва хромлаш режимлари 22- жадвалда келтирилган.

22- ж а д в а л

Диффузион хромлашда ишлатиладиган аралашмалар ва хромлаш режимлари

Аралашманинг таркиби	Хромлаш температураси, °С	Процесснинг давом этиш вақти, *соат*	Диффузион қатламнинг қалинлиги, *мм*
60% хром ёки феррохром, 39% гилтупроқ ёки каолин, 1% аммоний хлорид	1050	6	Пўлат 08—0,12 Пўлат 45—0,025 Пўлат У8—0,045
60% хром ёки феррохром, 35% гилтупроқ ёки каолин, 5% хлорид кислота	1050	6	Пўлат У10—0,03

Аралашмаларга аммоний хлорид ва хлорид кислота процессни тезлатиш учун қўшилади.

С у ю қ м у ҳ и т д а д и ф ф у з и о н х р о м л а ш. Деталларнинг сиртқи қатламини суюқ муҳитда хромлаш учун 20% хром хлорид $CrCl_2$ ва 80% барий хлорид $BaCl_2$ дан иборат аралашма ишлатилади. Детални суюқлантирилган ана шу аралашмада хромлашда хром хлориднинг парчаланишидан ажралиб чиққан хром 950—1100°С температурада 4 соат давомида деталнинг 0,04—0,10 *мм* қалинликдаги сиртқи қатламига диффузиланади. Деталь хромлангандан кейиноқ температураси 70°С дан паст бўлмаган сувда ёки мойда тобланади. Деталь совуқ сувда тобланса, дарзлар пайдо бўлиши мумкин. Хромланган детални тоблашдан мақсад ички қатламларининг механик хоссаларини яхшилашдан иборат. Тоблаш процесси диффузион қатламга ҳеч қандай таъсир этмайди.

Г а з м у ҳ и т д а д и ф ф у з и о н х р о м л а ш. Бу процесс қуйидагича амалга оширилади: ичига хром ёки феррохром ҳамда хромланувчи деталлар солинган ва 950—1050°С гача қиздирилган ретортадан водород билан водород хлорид аралашмаси ёки хлор ёхуд водород хлорид ўтказилади. Водород хлорид хромга ёки феррохромга таъсир этганда хром хлорид ($CrCl_2$) ҳосил бўлади. Хром хлорид деталнинг сиртига текканда $CrCl_2$ дан атом ҳолидаги хром ажралиб чиқиб, у деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади.

Диффузион хромланадиган деталь таркибидаги углерод миқдорига қараб, диффузион қатламнинг фазавий таркиби ва хоссалари ҳар хил бўлади. Масалан, кам углеродли пўлатдан ясалган деталнинг диффузион қатлами хромнинг α-темирдаги қаттиқ эритмасидан иборат бўлиб, унинг таркибида 40—60% хром бўлади; ўртача ва кўп углеродли пўлатлардан ясалган деталларнинг диффузион қатлами эса, асосан, хром карбидлари $(Cr, Fe)_7C_3$ дан иборат бўлади. Ўртача ва кўп углеродли пўлатдан ясалган деталларнинг диффузион қатламида углерод миқдори 7—8% га, хром миқдори эса 50—60% га етади. Диффузион хромланган қатламдан кейинги зонада углероднинг миқдори ички қатламлардагидан ортиқ бўлади, чунки углероднинг диффузиланиш тезлиги хромнинг диффузиланиш тезлигидан катта бўлганлиги учун углероднинг бир қисми карбид ҳосил бўлиши учун сарф бўлмай қолади.

Кам углеродли пўлатдан ясалган деталлар диффузион қатламининг қаттиқлиги унча юқори бўлмайди ($HV = 200 \div 250$), кўп углеродли пўлатдан ясалган деталлар диффузион қатламиники эса жуда юқори бўлади (Виккерс бўйича 1380 га етади).

Деталь ва асбоблар, масалан, компрессор клапанлари, помпаларнинг валлари ҳамда втулкалари, баъзи станокларнинг шпинделлари, эговлар, пармалар ва бошқа деталь ҳамда асбоблар диффузион хромланади.

Диффузион кремнийлаш (силицийлаш). Кремнийлашдан кўзда тутиладиган мақсад пўлат ва чўяндан ясалган деталлар сиртқи қатламининг коррозиябардошлик ва оловбардошлик, ейилишга қаршилик кўрсатиш хоссаларини оширишдан иборат. Ҳозирча, қаттиқ муҳитда кремнийлаш билан газ муҳитда кремнийлаш усуллари маълум. Ана шу усулларни кўриб чиқайлик.

Қаттиқ муҳитда диффузион кремнийлаш. Кремнийловчи муҳит сифатида 75% ферросилиций* ва 25% шамотдан иборат аралашма ишлатилади. Диффузия процессини тезлатиш учун юқоридаги аралашмага аммоний хлорид қўшилади. Қаттиқ муҳитда кремнийлаш процесси ҳам, худди қаттиқ муҳитда цементитлаш процесси каби, ичига кремнийловчи аралашма солинган яшикларда олиб борилади, яъни аралашмали яшикка деталлар жойланиб, 1100—1200°С температурада узоқ вақт қиздирилади. Деталлар 1100°С температурада 4 соат сақланса, уларнинг атиги 0,1 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами кремнийланади. Қаттиқ муҳитда кремнийлаш процесси узоқ вақт давом этадиган процесс бўлганлиги учун ундан амалда унча фойдаланилмайди.

Газ муҳитда диффузион кремнийлаш. Сиртқи қатлами диффузион кремнийланадиган деталлар герметик беркитиладиган реторталарга жойланиб, ферросилиций ёки карборунд (SiC) кукуни билан ёхуд уларнинг аралашмаси билан кўмилади. Реторта 950—1050°С гача қиздирилгандан кейин, ретортадан хлор ўтказилади, бунда хлор ферросилиций ёки карборунд билан реакцияга киришиб, кремний (IV)-хлорид $SiCl_4$ ҳосил қилади. $SiCl_4$ деталь сиртига текканда кремний (IV)-хлориддан атом ҳолидаги кремний ажралиб чиқиб, деталнинг сиртқи қатламига диффузиланади. Деталларнинг сиртқи қатлами зарур қалинликкача кремнийланиб бўлгандан кейин улар реторта билан биргаликда 500—400°С гача совитилади, сўнгра эса реторта ичидагилар тўрга ағдарилиб, бу ерда деталлар нормал температурагача совитилади.

Деталларнинг сиртқи қатламини газ муҳитда кремнийлаш процесси анча тез боради. Деталлар 1050°С температурада 2 соат тутиб турилса, уларнинг 1 *мм* қалинликдаги сиртқи қатлами кремнийланиб қолади.

Диффузион қатлам кремнийнинг α-темирдаги қаттиқ эритмасидан иборат бўлади. Диффузион қатламнинг юза зонасида кремнийнинг концентрацияси 14% га етади. Деталнинг сиртқи қатламига кремний диффузилана борган сари углерод диффузион қатламдан ичкарига томон сурилади, чунки углерод кремнийли ферритда яхши эримайди.

Деталнинг кремнийланган қатламига хос хусусият унинг ғоваклигидир. Кремнийланган қатламнинг қаттиқлиги унча юқори бўлмайди (Бринель бўйича 250—300 ни ташкил этади), аммо, шунга қарамай, уни кесувчи асбоблар билан ишлаш анча қийин. Кремнийланган қатлам ейилишга жуда чидамли бўлади. Кремнийланган қатламнинг бу хоссаси деталь мойда 150—200°С температурада қайнатиб олингандан ке-

* *Ферросилиций* — темир билан кремний қотишмаси.

йин анча ошади, чунки бунда диффузион қатламнинг ғовакларига мой кириб, бу қатламнинг ейилишга чидамлилигини оширади.

Диффузион олтингугуртлаш (сульфидлаш). Диффузион легирлашнинг нисбатан янги усули диффузион олтингугуртлаш (сульфидлаш), бошқача қилиб айтганда, сульфинизациялашдир. Сульфидлаш процессининг моҳияти машина деталлари ва кесувчи асбоблар ишқаланувчи қисмларининг сиртқи қатламини олтингугуртга тўйинтиришдан иборат. Деталь ва кесувчи асбобларга бундай ишлов бериш натижасида улар ишқаланувчи юзаларининг ишқаланиш коэффициенти камайиб, ейилишга чидамлилиги ошади.

Деталларнинг олтингугуртга тўйинтирилган сиртқи қатламининг қаттиқлиги ортмайди, аммо, шунга қарамай, сульфидланган юзаларнинг ейилишга чидамлилиги цементитланиб, сўнгра тобланган юзаларникидан юқори бўлади.

Диффузион олтингугуртлаш усулининг ижобий томонларидан яна бири шуки, бу усулни пўлат деталларга ҳам, чўян деталларга ҳам ва, умуман, таркибида темир бўлган ҳар қандай қотишмаларга ҳам татбиқ этиш мумкин.

Диффузион олтингугуртлаш процесси оддий процесс бўлиб, уч босқичдан: деталларни сульфидлаш процессига тайёрлаш, сульфидлаш процессини ўтказиш ва деталларга узил-кесил ишлов бериш босқичларидан иборатдир. Деталларнинг сиртқи қатламини диффузион олтингугуртлаш операцияларининг тартиби қуйидагича: сиртқи қатлами сульфидланадиган деталлар металл кесиш асбобларида ишлангандан кейин 450°С гача қиздирилади; қиздирилган деталлар суюқлантирилган ва температураси 550—580°С га етказилган тузли ваннага солинади; деталлар ваннада зарур температурада, диффузион қатламининг қалинлиги қанча бўлиши кераклигига қараб, 3 соатгача тутиб турилади; деталларнинг сиртқи қатлами тегишли қалинликкача сульфидланиб бўлгандан кейин улар ваннадан олиниб, қуруқ қумда совитилади; совиган деталлар температураси 80°С чамаси бўлган сувда яхшилаб ювилади; деталларнинг сирти юмшоқ металл симдан ясалган чўтка билан тозаланади ва, ниҳоят, механик тарзда ишланади: жилвирланади, хонингланади, притирка қилинади, кесувчи асбоблар эса чархланади ва ҳоказо.

Сульфидлаш процесси вақтида ваннадаги тузлар таркибини лабораторияда ҳар гал анализ қилиб кўриш, ванна температурасини талаб этилган даражада тутиб туриш учун уни яхши контрол қилиб бориш, ваннадаги тузлар камая борган сари уларнинг камини тўлдириб туриш ва суюқлантирилган тузлар оксидланиб қолмаслиги учун, процесс вақтида ваннанинг берк бўлишига эътибор бериш зарур.

Ваннага солинадиган аралашманинг асосий массасини паст температурада суюқланадиган тузлар ташкил этади. Аралашманинг актив қисми, яъни эркин олтингугурт ажратиб чиқарадиган қисми таркибидаги олтингугуртда қайтариш хоссалари бўладиган сульфатлар (масалан, натрий сульфат) дир. Ваннага катализатор вазифасини бажарадиган, яъни сульфат кислота тузининг қайтариш хоссаларини узлуксиз равишда тиклаб борадиган туз ҳам солинади.

Ваннага 95% натрий цианид (NaCN) ва 5% натрий сульфит (Na_2SO_3) дан иборат аралашма солиниб, у суюқлантирилади. Аралашма суюқлантирилгандан кейин, тегишли химиявий реакциялар содир бўлганлиги натижасида, унинг таркиби 89,2% натрий цианид, 7,7% натрий цианат (NaCNO) ва 3,1% натрий сульфид ($NaS \cdot 9H_2O$) дан иборат бўлиб қолади. Цианли компонентлар катализатор сифатида қў-

шилади, улар кислородни бириктириб олади, натижада сульфидлар оксидланмайди. Нейтрал аралашмага 0,002 дан 0,004% гача олтингугурт қўшилса, сульфидланиш процесси бошланиб кетади.

Тадқиқотларнинг кўрсатишича, диффузион олтингугуртлаш натижасида деталнинг сиртқи қатламида темир сульфидлари ҳосил бўлади. Темир сульфидларининг ўзига хос хусусиятларидан бири яхши пайвандланмаслик хусусиятидир, шунинг учун ҳам деталларнинг сульфидланган юзаларида тирналган жойлар бўлмайди, яъни улар силлиқ бўлади.

Деталларнинг сиртқи қатламини сульфидлаш учун қуйидаги таркибли икки хил аралашма:

а) 73% $K_4[Fe(CN)_6]$, 17% NaOH ва 10% $Na_2S_2O_3$ дан иборат кўп цианли аралашма;

б) 28% Na_2CO_3, 18% $BaCl_2$, 34% $KHSO_4$, 10% $N_2S_2O_3$ ва 10% $K_4[Fe(CN)_6]$ дан иборат кам цианли аралашма ишлатилади.

Сульфидлаш процесси 2—3 соат давомида 550—570°С температурада олиб борилади. Бунда деталнинг сиртқи қатламига азот ҳам диффузиланган учун сульфидланган қатламнинг қаттиқлиги ортади.

Сульфидлаш процесси вақтида деталда вужудга келадиган деформациялар унча катта бўлмай, унинг қиймати деталлар азотланганда вужудга келадиган деформациялар қийматидан кам фарқ қилади (209-расмга қаранг).

Энди суюқлантирилган тузлар аралашмаси деталга қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Аралашма диффузион олтингугуртланадиган деталга икки хил таъсир этади. Булардан бири деталнинг сиртқи қатламига кўрсатиладиган химиявий таъсир, яъни сульфидланиш процесси бўлса, иккинчиси деталнинг ўзагига кўрсатиладиган таъсир, яъни термик таъсирдир.

Суюқлантирилган аралашманинг химиявий таъсири. Ваннага туширилган деталнинг сиртига суюқлантирилган аралашма ҳаддан ташқари узоқ вақт таъсир этса, деталнинг сиртқи қатлами миллиметрнинг юздан бир неча улушлари қадар чуқурликкача коррозиланиши мумкин. Бу ҳодиса номақбул ҳодиса бўлганлиги учун деталлар ваннада 3 соатдан ортиқ вақт тутиб турилмаслиги керак. Аммо деталь жуда оз коррозиланишининг фойдаси ҳам бор, унинг фойдаси шундан иборатки, коррозиланган юзани силлиқлаш ёки притирка қилиш осон бўлади.

Деталь 3 соат давомида сульфидланганда унинг диффузион қатлами қалинлиги 0,3 *мм* га етади. Деталь ваннада қанча кам вақт тутиб турилса, диффузион қатлам шунча юпқа бўлади.

Суюқлантирилган аралашманинг термик таъсири. Пўлатдан ясалган деталларни 560—580°С температурада сульфидлаш вақтида улар қизиб, натижада қўшимча равишда бўшайди. Суюқлантирилган аралашманинг термик таъсири сульфидланадиган деталларнинг структурасига боғлиқдир, сульфидланадиган деталларнинг структураси эса турлича бўлиши мумкин. Агар деталь юмшатилган ҳолатда ёки сульфидлаш температурасидан юқори температурада бўшатилган бўлса, деталнинг сульфидлаш процессида қизиши унинг шаклига ҳам, ўлчамларига ҳам таъсир этмайди. Агар деталнинг структураси мартенсит, яъни у тобланган, аммо бўшатилмаган, ё троостит ёки сорбит бўлса, бундай деталь сульфидлаш ваннасида қиздирилганда бўшайди, натижада металлнинг структураси ўзгариб, деталь тоб ташлаши ва унинг ўлчамлари ўзгариши мумкин. Кўпгина ҳолларда ҳам механик, ҳам термик ишланган деталлар сульфидланади, шунинг учун, суюқлантирилган аралашманинг юқорида айтиб ўтилган термик таъсири ҳисобга олиниши керак.

Тескесар ва зангламас пўлатлардан ясалган буюмларни сульфидлашда температура 560°С дан ошмайдиган даражада аниқ тутиб турилса, бундай буюмларнинг сифати яхшиланади.

Термик ишланадиган чўян деталлар, одатда, сульфидлаш температурасидан паст температурада тобланиб, сўнгра бўшатилади. Бинобарин, бундай деталларни сульфидлаш вақтида уларнинг структураси ўзгаради.

Чўяндан ясалган мураккаб шаклли деталларнинг термик ишлаш вақтида деформацияланиши ички кучланишларнинг йўқолишидан келиб чиқиши ҳам мумкин. Бундай деталлар сульфидлаш ваннасида 560—570°С температурада 3 соат тутиб турилса, яъни уларнинг структураси барқарор ҳолатга келтириб олинса, юқорида айтилган нуқсонга барҳам берилган бўлади.

Деталларнинг термик ишлангандан кейин сульфидланиши юқорида айтиб ўтилган эди. Аммо деталлар термик ишланишдан олдин сульфидлаб ҳам кўрилди. Чунончи, деталлар сульфидлангандан кейин юқори частотали ток билан қиздирилиб тобланди. Сульфидланган детални 600°С дан юқори бўлмаган температурагача қиздириб, сўнгра тоблаш сульфидланган қатламнинг ейилишга чидамлилигини оширади.

Деталларни юқори частотали ток билан қиздиришда жуда кам — бир неча секундгина вақт кетади. Деталлар бундай қисқа вақт қиздирилганда сульфидланган қатламнинг хоссалари деярли ўзгармайди, шунинг учун деталларнинг ишқаланувчи юзаларига ишлов беришнинг «сульфидлаш ва юқори частотали ток билан қиздириш» деб аталадиган усули таклиф қилинди. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, деталнинг ишқаланувчи юзаси олдин сульфидланади, сўнгра юқори частотали ток билан қиздириб тобланади. Сульфидлаш натижасида деталь ишқаланувчи юзасининг ейилишга чидамлилиги ортиб, ишқаланиш коэффициенти камайса, юқори частотали ток билан қиздириб тобланган кейин деталь сиртқи қатламининг қаттиқлиги ошади.

Бинобарин, баъзи ҳолларда сульфидлаш процесси охирги процесс бўлмай, балки охиргидан олдинги процесс бўлиши ҳам мумкин экан.

Диффузион олтингугуртлаш деталларнинг қуруқлайин ишқаланадиган ёки етарли даражада мойланмаган шароитда ишлайдиган юзаларининг ғажилишига барҳам беради. Сульфидланган юзаларнинг ишқаланиш коэффициенти тахминан 0,3 дан 0,2 га тушади.

Қуруқлайин ёки етарли даражада мойланмайдиган, ўлчамлари кичикроқ деталларни, масалан, поршень ҳалқалари, цилиндр гильзалари, кулачоклар ва шу каби деталларни сульфидлаш тавсия этилади.

Деталларни сульфидлаш учун ишлатиладиган ускуналар мураккаб бўлмайди. Улар детални олдиндан қиздириб олиш учун хизмат қиладиган печдан, температураси автоматик тартибга солиб турилади ган ваннадан (тигелдан), температураси 80°С бўлган сувли ваннадан ва намуналар синаб кўриладиган ишқалаш машинасидан иборат бўлади.

В. ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИРТҚИ ҚАТЛАМИНИ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯ ВОСИТАСИДА ПУХТАЛАШ

Деталларнинг сиртқи қатламини юза тоблаш, химиявий-термик ишлаш ёки диффузион легирлаш воситасида пухталашдан ташқари, пластик деформация воситасида пухталаш усули ҳам бор. Бу усул юза пухталашнинг нисбатан янги, прогрессив усули бўлиб, унинг моҳияти қуйидагилардан иборат.

Деталь пластик деформацияланганда унинг зичлиги камайиб, ҳажми ошади, қаттиқлиги ва мустаҳкамлик чегараси ортиб, пластиклиги ҳамда қовушоқлиги пасаяди. Қотишмаларнинг хоссаларида содир бўладиган бу ўзгаришлардан деталларнинг сиртқи қатламини пластик деформациялаб, унинг пухталигини ошириш учун фойдаланилади.

Деталларнинг сиртқи қатлами турли усуллар билан деформацияланиши (пухталаниши) мумкин. Бу усуллар жумласига питра ёғдириш (пуркаш) ва ролик бостириш усуллари киради.

Питра ёғдириш усули. Машинасозликда питра ёғдириш усулидан энг кўп фойдаланилади. Деталларга питра ёғдирилганда деталнинг сиртқи қатлами пухталанади, яъни унда наклёп ҳосил бўлади, бунинг натижасида эса сиртқи қатламнинг қаттиқлиги ва мустаҳкамлиги ошади. Маълумки, термик ишланган деталларда қолдиқ аустенит бўлади, бундай деталларга питра ёғдирилганда ана шу қолдиқ аустенит мартенситга айланади, бу эса деталь сиртқи қатлами қаттиқлигини янада оширади. Бундан ташқари, деталга питра ёғдирилганда унинг сиртқи қатламида қолдиқ сиқилиш кучланиши ҳосил бўлади, бунинг натижасида эса толиқиш чегараси ва, демак, деталнинг хизмат қилиш муддати ортади. Питра ёғдириш усули деталларнинг коррозиябардошлик хоссасини ҳам оширади.

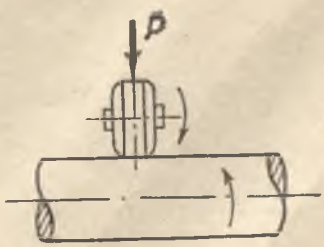
Деталлар кесиб ва термик ишлангандан кейингина (зарур бўлган ҳолларда) уларга питра ёғдириш усули билан ишлов берилади.

Питра ёғдириш процессининг технологияси шундан иборатки, ишлов бериладиган деталларнинг сиртига пўлатдан ёки оқ чўяндан диаметри 0,5—1,5 *мм* қилиб ясалган питралар (шарчалар) катта (секундига 70 *м*) тезлик билан ёғдирилади. Бунда питралар деталь сиртига кучли зарб билан урилиб, деталнинг сиртқи қатламини пластик деформациялайди.

Пўлат питралар пўлат симдан, чўян питралар эса суюқ чўяндан сачратиш йўли билан тайёрланади. Деталь сиртқи қатламининг пухталаниш (наклёпланиш) даражаси питранинг ўлчамига, келиб урилиш тезлигига, процесснинг давом этиш вақтига ва бошқа факторларга боғлиқдир.

Сиртқи қатлами пластик деформацияланган деталларнинг ейилишга чидамлилиги деформация натижасида деталь сиртининг қанчалик тоза (силлиқ) чиқишига боғлиқдир. Питра ёғдириш усулидан фойдаланилганда деталнинг сирти ғадир-будурроқ чиқади ва, шунинг учун, ейилишга чидамлилигини ошириш лозим бўлган деталларга бу усулда ишлов бериш тавсия этилмайди.

Ролик бостириш усули. Ролик бостириш усулидан цилиндр шаклидаги деталларнинг сиртқи қатламини пухталашда фойдаланилади. Бу усулнинг моҳияти шундан иборатки, У10А ёки У12А маркали пўлатдан ясалиб, термик ишлаш йўли билан жуда қаттиқ қилинган (қаттиқлиги Роквелл бўйича 60—65 га етказилган) ва иш юзаси яхшилаб силлиқланган ролик ёки роликлар ишлов бериладиган деталнинг, масалан, ўқнинг сиртига $P=2—4$ *т* куч билан сиқилади (215-расм). Сиқиш кучи роликларнинг ўлчами ва шаклига боғлиқ бўлади.



215-расм.

Бостириладиган роликлар сони биттадан тўрттагача бўлиши мумкин. Ишлов бериладиган деталь бир томонга айланади, роликлар

эса қарама-қарши томонга айланиш билан бир вақтда деталь бўйлаб сурилиб ҳам туради. Пухталаниш (наклёпланиш) даражаси босим кучига, роликнинг катта-кичиклигига, унинг энига, ролик бостириладиган деталь сиртининг тозалик (силлиқлик) даражасига, роликнинг деталь бўйлаб неча марта ўтишига ва бошқа факторларга боғлиқдир.

Деталлар сиртини пластик деформация воситасида пухталаш усулининг бошқа усулларга қараганда афзаллиги процесс унумининг юқорилигидан, ишлатиладиган ускуналарнинг оддийлиги ва унча қиммат турмаслигидан иборат. Шу сабабли бу усулдан машинасозликнинг кўпгина тармоқларида, айниқса эса автомобилсозлик, тракторсозлик, локомотивсозлик ҳамда вагонсозликда кенг кўламда фойдаланилади.

VIII боб

●

ЛЕГИРЛАНГАН ҚОТИШМАЛАР

А. ЛЕГИРЛАНГАН ПЎЛАТЛАР

Таркибида атайлаб қўшилган элементлар, масалан, хром, никель, молибден, вольфрам, ванадий ва бошқалар ёки ортиқчароқ миқдорда доимий (нормал) қўшимчалар, масалан, кремний, марганец, фосфор ёки олтингугурт бўладиган пўлат *легирланган* ёки *махсус пўлат* деб аталади. Пўлат таркибида қайси легирловчи элемент бўлса, легирланган пўлатнинг номи шунга қараб айтилади, масалан, пўлат таркибида марганец бўлса, легирланган пўлат *марганецли* деб, хром бўлса — *хромли,* кремний бўлса — *кремнийли,* кремний билан марганец бўлса *кремний-марганецли,* хром, никель ва молибден бўлса — *хром-никель-молибденли* пўлат деб аталади ва ҳоказо.

Пўлатни легирлашдан, яъни унга легирловчи элементлар қўшишдан кўзда тутиладиган мақсад пўлатнинг хоссаларини зарур томонга қараб ўзгартиришдан иборатдир. Легирловчи элементларнинг пўлат хоссаларига таъсири уларнинг темир ва углерод билан ўзаро таъсир этиш характерига ҳамда легирловчи элементлар миқдорига боғлиқ бўлади. Легирловчи элементлар пўлатнинг пухталигини, қовушоқлигини, ейилишга чидамлилигини ва бошқа механик хоссаларини, шунингдек, йўниб ишланувчанлик хоссасини, тобланиш чуқурлигини ва бошқа технологик хоссаларини оширади, физик (магнит ва электр) хоссаларини ўзгартиради, юқори температураларда ва одатдаги шароитда коррозиябардошлик хусусиятларини яхшилайди. Бинобарин, легирланган пўлатлар машина ва конструкцияларнинг сифатини яхшилаш, узоқ муддат пухта ишлашини таъминлаш билан бирга, улар массасини камайтиришда ғоят катта аҳамиятга эгадир.

Энди легирловчи элементларнинг пўлат хоссаларига қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

1-§. ЛЕГИРЛОВЧИ ЭЛЕМЕНТЛАРНИНГ ПЎЛАТ ХОССАЛАРИГА ТАЪСИРИ

Легирловчи элементларнинг темир аллотропик шакл ўзгаришларига таъсири. Темирда эрийдиган барча элементлар темирнинг аллотропик шакл ўзгаришларига таъсир этади. Баъзи элементлар, масалан, марганец, никель ва бошқалар A_4 нуқтани кўтариб, A_3 нуқтани пасайтиради (216-расм, *а*). Баъзи элементлар эса A_4 нуқтани пасайтириб, A_3 нуқтани кўтаради (216-расм, *б*).

Биринчи группа элементлари (Mn, Ni ва бошқалар) γ-темирнинг мавжуд бўлиш температуралари оралиғини кенгайтирса, иккинчи группа элементлари (Ti, V, Sb, Al, Si ва бошқалар) γ-темирнинг мавжуд бўлиш темпе-

ратуралари оралигини торайтириб, α-темирнинг мавжуд бўлиш оралиғини кенгайтиради; бу ҳол 216-расмдаги схемалардан яққол кўриниб турибди.

Пўлат таркибида биринчи группа элементларидан бирортасининг миқдори маълум даражадан ортиқ бўлса (216-расм, *а*), γ-темир нормал температурадан то суюқланиш температурасигача барқарор ҳолатда мавжуд бўла олади. Темирнинг бундай қотишмалари компонентлар-



216-расм. Темир—легирловчи элемент диаграммаларининг турлари (схема).

нинг γ-темирдаги қаттиқ эритмалари бўлиб, *аустенит синфидаги қотишмалар* деб аталади. Пўлат таркибида иккинчи группа элементларидан бирортасининг миқдори маълум даражадан ортиқ бўлса (216-расм, *б*), нормал температурадан то суюқланиш температурасигача α-темир барқарор ҳолатда мавжуд бўлади. Темирнинг бундай қотишмалари компонентларнинг α-темирдаги қаттиқ эритмалари бўлиб, *феррит синфидаги қотишмалар* деб аталади. Аустенит ва феррит синфидаги қотишмалар қиздирилганда ҳам, совитилганда ҳам ўзгармайди, темирнинг бошқа қотишмалари эса бундай шароитда ўзгаради.

Пўлатда легирловчи элементларнинг қандай ҳолатда бўлиши. Легирланган пўлатлар кўп компонентли системалардир. Легирланган пўлатларда легирловчи элементлар эркин ҳолатда, темир билан ёки ўзаро бириккан ҳолатда, яъни интерметалл бирикмалар тарзида, оксидлар, сульфидлар ва бошқа металлмас қўшимчалар тарзида, цементитда эриган ёки углерод билан бириккан ҳолатда — махсус карбидлар* тарзида ва темирда эриган ҳолатда бўлиши мумкин**.

Пўлатда эркин ҳолатда бўладиган элементлар қўрғошин, кумуш ва мисдир, чунки улар темир билан бирикмайди: қўрғошин билан кумуш темирда мутлақо эримайди, мис эса атиги 1% гача эрийди, бинобарин, миснинг 1% дан ортиқчаси пўлатда эркин ҳолатда бўлади.

Пўлатни легирлаш учун ишлатиладиган элементларнинг кўпчилиги интерметалл бирикмалар, яъни FeCr, Fe_3Ti каби таркибли бирикмалар ҳосил қилади, аммо интерметалл бирикмалар легирловчи элементларнинг миқдори катта бўлгандагина ҳосил бўлади, одатдаги пўлатларда эса легирловчи элементлар миқдори бу даражага етмайди, бинобарин, бундай пўлатларда интерметалл бирикмалар бўлмайди .

Кислородга яқиндошлиги темирникидан устун турадиган кўпгина

---

* Формуласи цементит формуласидан бошқача бўлган карбидлар *махсус карбидлар* деб аталади.

** Элементар катакчаси ҳажми марказлашган куб панжарали элементлар α-темирда, элементар катакчаси ёқлари марказлашган куб панжарали элементлар эса γ-темирда эрийди.

элементлар оксид ва металлмас бирикмалар ҳосил қила олади. Пўлат ишлаб чиқаришда бу элементларнинг оксидлар ҳосил қилиш хоссасидан фойдаланилади, яъни пўлат суюқлантириб олиш процессининг охирида пўлатга шу элементлардан бири қўшилади, қўшилган элемент эса темир (II)-оксид таркибидаги кислород ҳисобига оксидланиб, темирни қайтаради:

$$mFeO + nЭ = Э_nO_m + mFe,$$

бу тенглама схемасидаги Э — оксид ҳосил қилувчи элемент. Ti, V, Al ва бошқалар ана шундай элементлар жумласига киради.

Углерод билан яқиндош бўлган кўпгина элементлар цементитда эрийди ёки алоҳида карбид фазалар ҳосил қилади. Карбид фазалар ҳосил қилувчи элементлар жумласига Д. И. Менделеевнинг даврий системасида темирдан чапроқда турган элементлар, масалан, Ti, V, Cr, Mn, Zr, Nb, Mo, Tc, Hf, Ta, W, Re элементлари киради. Бу элементлар карбид ҳосил қилибгина қолмай, балки темирда эрийди ҳам. Демак, кўрсатиб ўтилган элементлар маълум нисбатда ҳам карбидлар, ҳам қаттиқ эритмалар ҳосил қилади. Бу нисбат пўлатдаги шу элементлар билан углерод миқдорига боғлиқ бўлади.

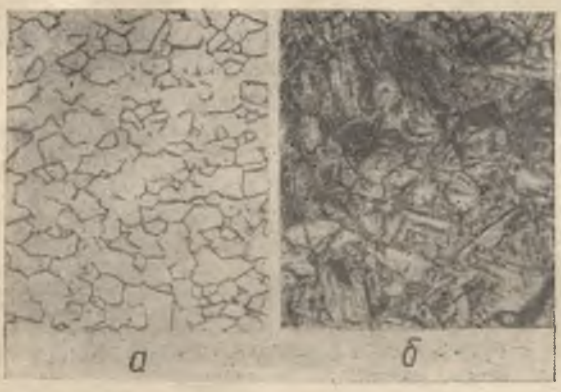
Легирловчи элементларнинг углерод, азот, кислород ва бордан бошқа, шунингдек, Менделеев даврий системасида темирдан анча узоқ турган металлоидлардан бошқа кўпчилиги темирда анчагина миқдорда эрийди. Менделеев даврий системасида темирдан ўнгроқда турган элементлар, масалан, кобальт, никель, мис ва бошқалар темирда эрийди, аммо карбидлар ҳосил қилмайди.

Юқорида айтилганлардан легирловчи элементларнинг жуда кўпчилиги феррит, аустенит ва цементитда эрийди ёки махсус карбидлар ҳосил қилади деган хулосага келамиз.

Легирловчи элементларнинг ферритга таъсири. Легирловчи элементларнинг α-темирда эриши темирнинг кристалл панжарасидаги темир атомлари ўрнини легирловчи элемент атомлари олишидан иборат, демак, бунда ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлади. Легирловчи элементлар атомларининг ўлчамлари темир атомларининг ўлчамларидан фарқ қилганлиги учун легирловчи элемент атомлари темирнинг кристалл панжарасидаги темир атомлари ўрнини олганда панжарада кучланишлар ҳосил бўлиб, бунинг оқибатида панжаранинг параметри (даври) ўзгаради: легирловчи элемент атомининг ўлчами темир атоминикидан кичик бўлса, панжаранинг параметри кичраяди, легирловчи элемент атомининг ўлчами темир атомникидан катта бўлган тақдирда эса панжара параметри катталашади. α-панжара параметрининг ўзгариши натижасида ферритнинг хоссалари ҳам ўзгаради.

Кристалл панжараси, худди α-темирники каби, яъни ҳажми марказлашган куб бўлган Cr, W ва Mo элементлари ферритнинг пухталигини бошқа тип панжарали элементлардан (Mn, Si ва Ni дан) кўра камроқ оширади. 1% дан ортиқ марганец ва 1% дан ортиқ кремний, шунингдек, вольфрам ва молибден ферритнинг зарбий қовушоқлигини пасайтиради. 1% дан ортиқ хром ферритнинг қовушоқлигини нисбатан кам пасайтиради, никель эса мутлақо пасайтирмайди, балки сал оширади. Демак, юқорида кўрсатиб ўтилган элементлар ичида энг қимматлиси никелдир, чунки никель ферритни етарли даражада пухта қилиш билан бирга, унинг қовушоқлигини пасайтирмайди, бошқа элементлар эса ферритнинг қовушоқлигини унча пасайтирмаса ҳам, аммо ферритни етарли даражада пухта қилмайди (масалан, Cr) ёки ферритни жуда пухта қилгани билан унинг қовушоқлигини пасайтириб юборади (масалан, Mn ва Si).

Вольфрам, молибден ёки кремнийни эритган ферритнинг хоссалари қотишманинг тез ёки секин совитилишига боғлиқ бўлмайди, марганецни ёки никелни эритган ферритнинг хоссалари эса қотишманинг совитилиш тезлигига боғлиқдир, яъни тез совитилган ферритнинг қаттиқлиги секин совитилгандагига қараганда анча юқори бўлади.



217- расм. Ферритнинг структураси:
а — полиэдрик феррит × 100; *б* — нинасимон феррит × 600.

А. П. Гуляевнинг тадқиқотларига кўра, марганец ёки никель билан легирланган феррит тез совитилганда қаттиқлигининг ортишига сабаб шуки, бунда мартенсит типидаги структура (нинасимон феррит), секин совитилганда эса одатдаги (полиэдрик*) феррит ҳосил бўлади (217- расм). Полиэдрик ферритнинг қаттиқлиги нинасимон ферритнинг қаттиқлигидан Бринель бўйича 100—150 бирлик пастдир.

Легирловчи элементларнинг критик нуқталар вазиятига таъсири. Пўлатга легирловчи элементлар қўшилганда Ac_1 ва Ac_3 критик нуқталарнинг вазияти ўзгаради. Темир-легирловчи элемент ҳолат диаграммасида γ-темир соҳасини торайтирувчи элементлар Ac_1 ва Ac_3 критик нуқталарни юқорига томон силжитади, яъни критик температураларни кўтаради, α-темир соҳасини кенгайтирувчи элементлар эса бу нуқталарни пасайтиради. Легирловчи элементларнинг Ac_1 критик нуқта вазиятига таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 218- расмда тасвирланган.

Легирловчи элементларнинг Ac_1 нуқта вазиятига таъсири легирланган пўлатни термик ишлаш учун уни қиздириш температурасини танлашда албатта ҳисобга олиниши керак.

Легирловчи элементлар эвтектоид таркибидаги углероднинг концентрациясига ҳам таъсир этади. Легирловчи элементларнинг бундай таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 219- расмда тасвирланган. Легирловчи элементларнинг кўпчилиги эвтектоид таркибидаги углерод миқдорини камайтиради ва, демак, темир — цементит ҳолат диаграммасидаги S нуқтани чап томонга силжитади.

Баъзи элементлар, масалан, титан ҳамда ванадий эвтектоид таркибидаги углерод концентрациясини бир қадар оширади, бу элементлар 219- расмда кўрсатилган эмас.

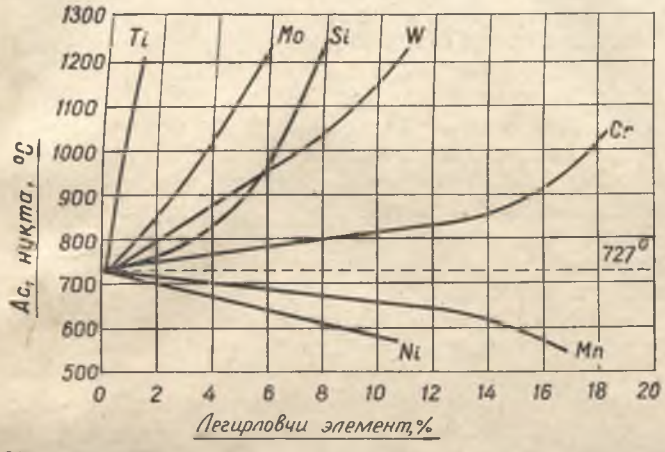
Легирловчи элементларнинг кўпчилиги углероднинг γ-темирда эрувчанлигини пасайтиради ва, демак, темир — цементит ҳолат диаграммасидаги *E* нуқтани чапга томон силжитади.

Легирланган пўлатларда карбид фазалар. Д. И. Менделеев даврий системасида темирдан чапроқда турган, яъни атомининг *d* орбитасидаги электронлар сони темир атомининг *d* орбитасидагидан кам бўлган металларгина пўлат углероди билан бирикиб, карбидлар ҳосил қилади.

---

* *Полиэдрик структура* — ҳамма йўналишларда ўлчамлари тахминан бир хил бўлган доналардан иборат структура.

Бу металлар атомларининг ҳам, темир атомининг ҳам d орбитасида электронлар тўлмаган бўлади. Карбид ҳосил қилувчи металл даврий системада қанча чапроқда турса, унинг d орбитасидаги электронлар сони шунча кам бўлади. Металл атомининг d орбитасида электронлар сони қанчалик кам бўлса, бу элемент шунчалик барқарор карбид ҳосил қилади.



218- расм. Легирловчи элементларнинг Ac_1 критик нуқта вазиятига таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар.



219- расм. Легирловчи элементларнинг эвтектоиддаги углерод концентрациясига таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

Қуйида даврий системанинг темирни ва карбид ҳосил қилувчи металларни ўз ичига олувчи қисми келтирилган. Бу металлар химиявий белгисининг ўнг томонида атомининг d орбитасидаги электронлар сони кўрсатилган.

Даврлар														
IV	Ti	2	V	3	Cr	4	Mn	5	Fe	6	Co	7	Ni	8
V	Zr	2	Nb	3	Mo	4								
VI	Hf	2	Ta	3	W	4								

Бинобарин, пўлатларда қуйидаги элементлар (металлар): титан, ванадий, хром, марганец, цирконий, ниобий, молибден, гафний, тантал ҳамда вольфрам элементлари углерод билан бирикиб, карбидлар ҳосил қилади.

Табиатда кобальт ва никелнинг ҳам карбидлари маълум, аммо пўлатларда бу металлар карбид ҳосил қилмайди, чунки улар атомининг *d* орбитасидаги электронлар сони темир атомининг *d* орбитасидаги электронлар сонидан ортиқ бўлганлиги учун углерод ўз электронларини бу металларга эмас, балки темирга бериб, темир билан бирикади.

Карбид ҳосил бўлишида углерод ўзининг валент электронларини карбид ҳосил қилувчи металл атомининг *d* орбитасини тўлдиришга беради, металлнинг валент электронлари эса металл боғланиш ҳосил қилади, шунинг учун ҳам карбидларда металл хоссалари бўлади.

Агар пўлатда легирловчи элементлар сони бирдан ортиқ бўлса, карбид фазани, биринчи навбатда, атомининг *d* орбитасида электронлар сони кам бўлган металл ҳосил қилади. Масалан, пўлатда ҳам хром, ҳам ванадий бўлса, углерод билан биринчи навбатда ванадий бирикади, демак, биринчи навбатда ванадий карбиди ҳосил бўлади, чунки ванадий атомининг *d* орбитасидаги электронлар сони хром атомининг *d* орбитасидаги электронлар сонидан кам.

87- бетда айтиб ўтилганидек, агар металлоид атоми радиусининг металл атоми радиусига нисбати 0,59 га тенг ёки ундан кичик бўлса, *сингиш фазалари* ҳосил бўлади. Бундай ҳолда металл атомлари, одатда, К8, К12 ва Г12 панжаралар ҳосил қилади, металлоид атомлари эса металл панжараси ғовакларига маълум тартибда сингади.

Карбид ҳосил қилувчи металлардан кўпчилиги атомининг радиуси ($r_м$) углерод атомининг радиуси ($r_с$) дан етарли даражада катта, яъни $\frac{r_с}{r_м} < 0{,}59$ бўлганлиги учун бу металлар билан углерод орасида сингиш фазалари ҳосил бўлиши мумкин.

Легирловчи элементларни углеродга муносабати жиҳатидан икки группага: карбид ҳосил қилмайдиган элементлар группаси билан карбид ҳосил қиладиган элементлар группасига бўлиш мумкин.

Биринчи группа элементлари пўлатдаги углерод билан ўзаро химиявий таъсир этмайди ва, шунинг учун, карбидлар ҳосил қилмайди. Улар *графит ҳосил қилувчи элементлар* деб аталади. Бундай элементлар жумласига Ni, Co, Al ва Si киради.

Иккинчи группа элементлари пўлатдаги углерод билан ўзаро химиявий таъсир этиб, карбидлар ҳосил қилади. Бу карбидлар *легирланган карбидлар* деб аталади. Карбид ҳосил қилувчи элементлар жумласига Cr, V, W, Nb, Mo, Mn, Ti, Ta ва Zr киради. Карбид ҳосил қилувчи элементлар цементитда эриб, легирланган цементит ҳосил қилиши ҳам мумкин.

Легирланган карбидлар икки типга: кристалл панжараси оддий карбидлар типи билан кристалл панжараси мураккаб карбидлар типига бўлинади. Агар $\frac{r_с}{r_м} < 0{,}59$ бўлса, биринчи тип карбидлар, агар $\frac{r_с}{r_м} > 0{,}59$ бўлса, иккинчи тип карбидлар ҳосил бўлади. Биринчи тип карбидларга W_2C, WC, VC, Mo_2C, TiC, NbC, Ta_2C, TaC, ZrC, иккинчи тип карбидларга эса Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$, Mn_3C, Fe_3C, Fe_3Mo_3C, Fe_3W_3C киради.

Химиявий формулалари ўхшаш бўлган карбидлар бир-бирида эрий олади. Шунинг учун, масалан, пўлатда ҳам ванадий, ҳам цирконий бўлса, икки хил карбид эмас, балки битта карбид ҳосил бўлиб, бу карбид таркибига ҳам ванадий, ҳам цирконий киради. Бинобарин, пўлатда ҳосил бўладиган карбидлар сони юқорида кўрсатиб ўтилганидан кам

бўлади. Агар биз карбид ҳосил қилувчи металлар мажмуини М билан белгиласак, пўлатларда биринчи тип карбидлардан МС ва M_2C карбидлари (сингиш фазалари), иккинчи тип карбидлардан эса M_3C, $M_{23}C_6$, M_7C_3 ва M_6C карбидлари бўлади.

Биринчи тип карбидлар (сингиш фазалари) аустенитда қийин эрийди, бинобарин, улар ҳатто юқори температурагача қиздирилганда ҳам қаттиқ эритма ҳосил қилмаслиги мумкин. Иккинчи тип карбидлар эса қиздирилганда аустенитда осон эрийди. Ҳамма карбид фазаларнинг, айниқса, сингиш фазаларининг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги юқори бўлади.

Пўлатда фазалар ўзгаришига легирловчи элементларнинг таъсири. Легирловчи элементлар пўлат аустенитининг парчаланиш кинетикасига жуда катта таъсир этади. Ферритда ёки цементитда эрийдиган, яъни махсус карбидлар ҳосил қилмайдиган элементлар аустенитнинг ўзгариш процесси тезлигигагина таъсир этади. Улар аустенитнинг парчаланиш процессини тезлатади ёки секинлаштиради. Кобальт аустенитнинг парчаланиш процессини тезлатади, легирловчи элементларнинг кўпчилиги эса аустенитнинг парчаланишини секинлаштиради, булар жумласига мис, никель, марганец ва бошқалар киради. Бу элементларнинг процессни секинлаштирувига сабаб шуки, улар углеродга қараганда секин диффузиланади, қаттиқ эритмада легирловчи элементлар билан бирга бўлган углерод ҳам секин диффузиланади, γ-фазанинг α-фазага айланиш процессининг ўзи ҳам секин боради ва ҳоказо.

Карбид ҳосил қилувчи элементлар аустенитнинг изотермик парчаланиш процессига сифат жиҳатидан ҳам таъсир этади. Масалан, иккинчи тип карбидлар ҳосил қилувчи элементлар аустенитнинг изотермик парчаланиш процессига ҳар хил температураларда турлича таъсир кўрсатади, яъни 700—500°С температурада аустенитнинг парчаланишини секинлаштиради, 500—400°С температурада жуда секинлаштиради, 400—300°С температурада (бейнит ҳосил бўлиш соҳасида) эса аустенитнинг парчаланиш процессини тезлатади. Демак, таркибида карбид ҳосил қилувчи элементлар, масалан, титан, ванадий, хром, вольфрам, молибден бўлган пўлатларда аустенитнинг изотермик парчаланиш тезлигида иккита максимум бўлади, бу максимумлар орасида ўта совиган аустенитнинг нисбий барқарорлик соҳаси ётади. Карбид ҳосил қилувчи элементлар билан легирланган пўлатларда аустенитнинг изотермик парчаланишида иккига ўзгариш интервали — перлитга (пластинкасимон структурага) ва бейнитга (нинасимон структурага) айланиш интерваллари очиқ ифодаланиб туради.

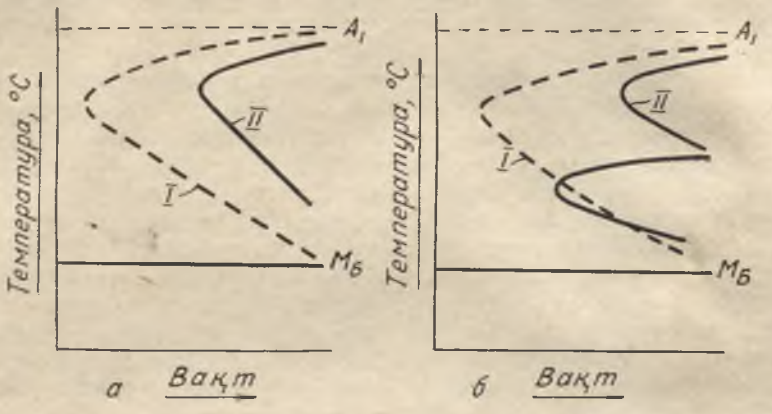
Углеродли пўлатда ва карбид ҳосил қилувчи элементлар билан легирланган пўлатда аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаларининг схемаси 220-расмда тасвирланган (схемада аустенитнинг парчалана бошлаш эгри чизиқларигина кўрсатилган).

Легирловчи элементларнинг 700—500°С да аустенитнинг парчаланиш (перлитга айланиш) процессини секинлаштируви, яъни аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидаги чизиқларни ўнг томонга силжитуви амалий жиҳатдан олганда катта аҳамиятга эга, чунки бу ҳол тоблаш температурасигача қиздирилган пўлат анча секин, масалан, мой ёки ҳавода совитилганда унинг тобланиш чуқурлигини оширади ва аустенитнинг мартенситга айланиш соҳасигача ўта совишини таъминлайди.

Хром, никель, молибден ва марганец пўлатнинг тобланиш чуқурлигини энг кўп оширади, кўпчилик конструкцион пўлатлар ана шу элементлар билан легирланади. Агар пўлат бир неча элемент билан, ма-

салан, ҳам никель, ҳам хром билан легирланса, унинг тобланиш чуқурлиги айниқса ортади. Хром-никелли пўлатга молибден қўшилса, пўлатнинг тобланиш чуқурлиги ундан ҳам ошади.

Аустенитнинг парчаланиш кинетикасига карбид ҳосил қилувчи элементлардан титан, ниобий ҳамда ванадий ўзига хос тарзда таъсир этади. Бу элементлар қийин эрийдиган карбидлар ҳосил қилганлигидан, 800—900°С температураларда улар химиявий бирикмалар (карбидлар)



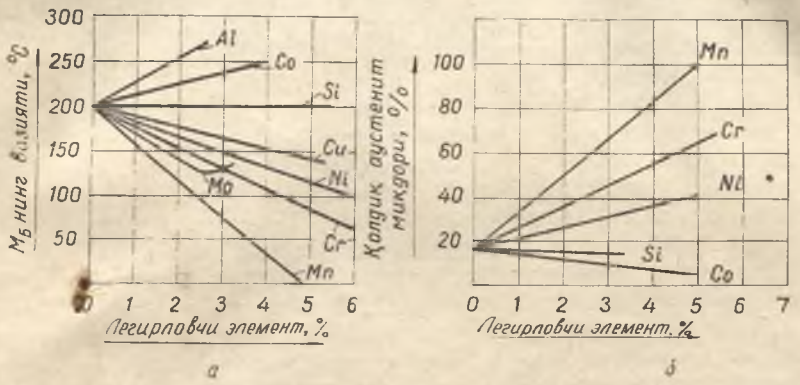
220- расм. Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаларининг схемаси:

а — углеродли пўлат (*I*) ва карбид ҳосил қилмайдиган элементлар билан легирланган пўлат (*II*); *б* — углеродли пўлат (*I*) ва карбид ҳосил қилувчи элемен тлар билан легирланган пўлат (*II*).

таркибидалигича қолиб, аустенитга ўтмайди. Бунинг натижасида пўлатнинг тобланиш чуқурлиги камаяди, чунки карбидлар перлитнинг кристалланиш марказлари вазифасини ўтайди. Тоблашнинг юқори температураларида бу карбидлар эрий бошлаб, юқорида айтилган элементлар аустенитга ўтади, натижада пўлатнинг тобланиш чуқурлиги ортади. Пўлатга жуда оз (процентнинг мингдан бир улушлари қадар) миқдорда В элементи қўшилса, пўлатнинг тобланиш чуқурлиги ошади, чунки бу элемент эритма таркибида бўлиб, аустенит доналарининг чегара қатламларида тўпланади ва перлитнинг кристалланиш марказлари ҳосил бўлиш тезлигини пасайтиради. Пўлатда атиги 0,003% В бўлса, бу пўлатнинг тобланиш чуқурлиги энг катта даражага етади. Борнинг миқдори бундан ортиб кетса, аустенит доналари чегарасида В нинг концентрацияси тўйиниш чегарасидан ортиб кетиб, ортиқча боридлар (борли фазалар) ҳосил бўлади-да, перлитнинг кристалланиш марказлари вазифасини ўтайди, оқибатда пўлатнинг тобланиш чуқурлиги пасаяди.

Аустенитнинг мартенситга айланиш кинетикасига легирловчи элементлар таъсир этмай, аустенитнинг мартенситга айланиш температуралари оралиғи вазиятигагина таъсир этади, бу эса қолдиқ аустенитнинг миқдорида акс этади. Легирловчи элементларнинг баъзилари (Al, Co) аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш нуқтасини ($M_Б$ни) кўтариб, қолдиқ аустенит миқдорини камайтиради, баъзилари (Si) эса бу нуқтага таъсир этмайди, аммо легирловчи элементларнинг кўпчилиги аустенитнинг мартенситга айланиш нуқтасини пасайтириб, қолдиқ аустенитнинг миқдорини оширади (221-расм).

Диаграммадан (221-расм, *а*) яққол кўриниб турибдики, пўлат таркибида 5% марганец бўлса, $M_Б$ нуқта 0°С га тушиб қолади. бинобарин, таркибида 5% ёки ундан ортиқ марганец бўлган пўлат 0°С гача совитилганда унда аустенит сақланиб қолади, яъни мартенситга айланмайди.



221-расм. Легирловчи элементларнинг $M_Б$ температурага (*а*) ва қолдиқ аустенит миқдорига (*б*) таъсирини кўрсатувчи диаграммалар. Пўлатлар таркибида 1 % дан углерод бор (В. Д. Садовский).

Энди легирловчи элементларнинг аустенит доналарининг йириклашувига таъсирини кўриб чиқайлик.

Легирловчи элементларнинг марганец билан бордан бошқа ҳаммаси аустенит доналарининг йириклашувга мойиллигини пасайтиради. Mn билан B аустенит доналарининг йириклашувга мойиллигини оширади. Карбид ҳосил қилмайдиган элементлар (Nb, Co. Si, Cu) аустенит доналарининг йириклашувига кучсиз таъсир этади, Cr, Mo, V, W, Ti аустенит доналарини кучли даражада майдалаштиради; бу элементларнинг таъсири хромдан титанга томон кучайиб боради. Бу ҳол шу элементлар карбидлари (ва нитридлари) барқарорлигининг ҳар хиллигидан келиб чиқади. Аустенитда эримай қолган карбидлар аустенит доналарининг йириклашувига тўсқинлик қилади. Шу сабабли, таркибида эримайдиган карбидлар ҳатто оз миқдорда бўлган пўлат юқори температурагача қиздирилганда ҳам майда донали тузилишини сақлаб қолади.

Ниҳоят, пўлатни бўшатишда содир бўладиган ўзгаришларга легирловчи элементларнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқишга ўтайлик.

Легирловчи элементлар мартенситнинг парчаланишини секинлаштиради. Легирловчи элементларнинг кўпчилиги, масалан, хром, молибден, кремний ва бошқалар мартенситнинг парчаланиш процессини жуда секинлаштиради, баъзи элементлар, чунончи, никель ва марганец эса процесс тезлигига жуда кам таъсир этади. Бинобарин, таркибида мартенситнинг парчаланиш процессини секинлаштирувчи элементлар бўлган пўлатни бўшатишда уни углеродли пўлатдан кўра юқорироқ температурагача қиздириш ёки бўшатиш вақтини узайтириш керак. Шундагина углеродли пўлатни бўшатиш натижалари билан легирланган пўлатни бўшатиш натижалари бир хил чиқади.

Тобланган пўлатларни бўшатиш температураси кўтарилган сари пўлатнинг қаттиқлиги, мустаҳкамлик чегараси, оқувчанлик чегараси пасайиб, пластиклик хоссалари ошади. Аммо легирланган баъзи пўлат-

ларни бўшатишда хоссаларининг ўзгаришидаги бу тартиб бузилади, чунки бунда иккиламчи тобланиш ҳодисаси рўй беради ва легирланган жуда майда карбидлар ажралиб чиқади. Иккиламчи тобланиш ҳодисаси шундан иборатки, тобланган махсус (легирланган) пўлатдаги қолдиқ аустенит пўлатни бўшатиш учун совитиш вақтида мартенситга айланади; бунинг натижасида пўлатнинг қаттиқлиги ортади. Таркибида карбид ҳосил қилувчи элементлар бўлган пўлатни бўшатиш учун қиздириш вақтида мартенсит билан аустенитдан легирланган карбидларнинг ниҳоятда майда заррачалари ажралиб чиқади, бунинг натижасида ҳам пўлатнинг қаттиқлиги ошади.

Тобланган махсус пўлатларни бўшатишда зарбий қовушоқлигининг ўзгариш эгри чизиғида бўшатиш температураларининг шу қовушоқликни пасайтирувчи битта (тез совитилганда), баъзан эса иккита (секин совитилганда) интервали бўлади (234-расмга қаранг). Бу ҳодиса *бўшатишда вужудга келадиган мўртлик* деб аталади. Бўшатиш температураларининг 300°С чамаси интервалида (оралиғида) пўлат қовушоқлигининг пасайиши иккиламчи тобланиш ҳодисасидан келиб чиқади, бўшатиш температураси 500°С чамасида, баъзан эса ундан бир оз юқорида бўлганда қовушоқликнинг пасайишига (мўртлашувга) сабаб эса дисперслик даражаси юқори бўлган легирланган карбидлар ажралиб чиқишидир. Легирланган баъзи пўлатларнинг 500—650°С температуралар оралиғида бўшатиш натижасида ҳосил бўладиган мўртлигини бўшатиш температурасида маълум вақт тутиб турилгандан кейин тез совитиш йўли билан йўқотиш мумкин. Ана шу температуралар оралиғида бўшатиш вақтида келиб чиқадиган мўртлик *қайтар мўртлик* деб аталади. Баъзи пўлатларнинг (300°С чамаси температурада бўшатилган пўлатларнинг) мўртлигини йўқотиб бўлмайди, яъни уларнинг мўртлиги қайтмас бўлади, бундай пўлатларни мўртликка олиб борадиган температуралар оралиғида бўшатиш ярамайди, бу тўғрида кейинроқ (305-бетда) мукаммалроқ сўзланади.

2-§. ЛЕГИРЛАНГАН ПЎЛАТЛАРНИНГ КЛАССИФИКАЦИЯСИ ВА МАРКАЛАНИШИ

Легирланган пўлатлариинг классификацияси. Легирланган пўлатлар ҳавода совитилган (нормалланган) ҳолатдаги структурасига кўра, юмшатилган ҳолатдаги структурасига кўра, химиявий таркибига (легирловчи элементлар сонига) кўра ҳамда вазифасига кўра классификацияланади (синфларга бўлинади).

Легирланган пўлатларнинг ҳавода совитилган ҳолатдаги структурасига кўра классификацияси (Гийе классификацияси*). Легирланган пўлатлар тинч ҳавода совитилгандан кейин уларда ҳосил бўладиган структурасига кўра учта асосий синфга: перлит, мартенсит ва аустенит синфларига бўлинади. Перлит синфидаги пўлатларда легирловчи элементлар миқдори нисбатан кам, мартенсит синфидаги пўлатларда анча кўп, аустенит синфидаги пўлатларда эса ундан ҳам кўп бўлади.

Легирланган пўлатнинг қайси синфга оидлигини аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси** чизиқлари билан пўлатни совитиш

---

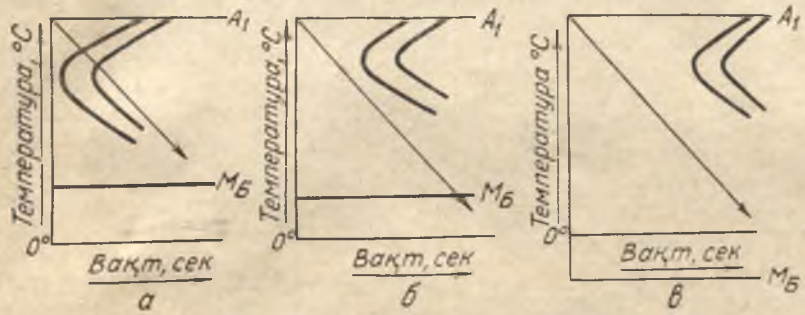
* Бу классификацияни француз олими Л. Гийе таклиф қилганлигидан у Гийе классификацияси деб ҳам аталади

** Пўлатда легирловчи элементлар миқдорининг ортиб бориши билан бу диаграмма унгга томон силжийди.

эгри чизиғининг бир-бирига нисбатан қандай вазиятда жойлашганлигига қараб аниқлаш мумкин (222-расм).

Пўлат таркибида легирловчи элементлар миқдори ортган сари перлит соҳасида аустенитнинг барқарорлиги ортиб, мартенситга айланиш соҳасининг температураси пасаяди, буни 222-расмдаги схемалардан яққол кўриш мумкин.

Агар совитиш эгри чизиғи аустенитнинг парчалана бошлаш ва тамом парчаланиб бўлиш чизикларини кесиб ўтса, легирланган пўлатнинг



222-расм. Ҳар хил синфларга оид пўлатлардаги аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммалари билан совитиш эгри чизиқларининг бир-бирига нисбатан вазияти (схема)

структураси перлит, сорбит ёки троостит бўлади, пўлатнинг ўзи эса перлит синфига киради (222-расм, *а*). Агар аустенитнинг парчалана бошлаш ва тамом парчаланиб бўлиш чизиқлари ўнг томонга силжиса, яъни пўлатда легирловчи элементлар миқдори биринчи ҳолдагидан ошиқ бўлса, совитиш эгри чизиғи $M_Б$ чизиғини кесиб ўтади, демак, пўлат ҳавода совитилганда аустенит перлит соҳасида парчаланмай, мартенситга айланиш температурасигача ўта совиб, мартенситга айлана бошлайди (222-расм, *б*); бинобарин, бу пўлат мартенсит синфига киради. Агар пўлатдаги легирловчи элементлар миқдори янада ошиқ бўлса, перлит соҳасида аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси ўнг томонга янада силжиш билан бирга, $M_Б$ чизиғи манфий температуралар соҳасигача пасаяди. $M_Б$ чизиғи манфий температуралар соҳасида бўлганда эса пўлат нормал температурагача совитилганда ҳам аустенит парчаланмай қолади, демак, бу пўлат аустенит синфига оид пўлатдир (222-расм, *в*).

Легирланган пўлатларнинг юмшатилган ҳолатдаги структурасига кўра классификацияси. Легирланган пўлатлар юмшатилган ҳолатдаги структурасига кўра, худди углеродли пўлатлар каби, эвтектоидгача бўлган, эвтектоид ва эвтектоиддан кейинги пўлат синфларига бўлинади. Бундан ташқари, аустенитнинг углеродга тўйиниш чегараси торайганда ($Fe\text{-}Fe_3C$ диаграммасидаги E нуқта чапга силжиганда) пўлат структурасида бирламчи карбидлар ҳам бўлиши мумкин. Бундай карбидлар аустенит билан аралашиб, эвтектика — ледебурит ҳосил қилади. Бинобарин, юқорида айтиб ўтилган учта синф пўлатларига яна бир синф пўлатлар, яъни ледебурит ёки карбид синфидаги пўлатлар ҳам қўшилади.

Юқорида айтиб ўтилганидек, агар пўлатда γ-соҳани торайтирувчи элементлар концентрацияси катта бўлса, α-темир нормал температурагача сақланиб қолади. Худди шунингдек, пўлатда γ-соҳани кенгайтирувчи элементлар концентрацияси катта бўлса, нормал температурагача γ-темир сақланиб қолади. Биринчи ҳолда феррит синфидаги қо-

тишма (пўлат), иккинчи ҳолда эса аустенит синфидаги қотишма (пўлат) бўлади.

Бинобарин, эвтектоидгача бўлган, эвтектоид, эвтектоиддан кейинги ва ледебурит синфларига оид легирланган пўлатлардан ташқари, феррит синфидаги легирланган пўлатлар билан аустенит синфидаги легирланган пўлатлар ҳам бўлиши мумкин.

Легирланган пўлатларнинг химиявий таркибига (легирловчи элементлар сонига) кўра классификацияси. Пўлатларда қайси легирловчи элемент ёки элементлар борлигига қараб, улар хромли, молибденли, кремнийли, хром-никелли, хром-никель-молибденли ва ҳоказо пўлатларга бўлинади. Демак, легирланган пўлатлар ўз таркибидаги легирловчи элементлар номига қараб классификацияланади. Легирловчи элементларнинг миқдорига қараб эса пўлатлар кам легирланган, ўртача легирланган ва кўп легирланган пўлатлар деб аталади. Кам легирланган пўлатларда легирловчи барча элементларнинг умумий миқдори 2,5% дан ортмайди, ўртача легирланган пўлатларда бу миқдор 2,5 дан 10% гача, кўп легирланган пўлатларда эса 10% дан ортиқ бўлади.

Легирланган пўлатларнинг вазифасига кўра классификацияси. Легирланган пўлатлар қандай мақсадларда ишлатилишига қараб, қуйидаги синфларга бўлинади: конструкцион пўлатлар (машинасозлик пўлатлари), асбобсозлик пўлатлари ва алоҳида хоссали пўлатлар.

Конструкцион пўлатлар машина деталлари тайёрлаш учун, асбобсозлик пўлатлари кесувчи асбоблар, ўлчов асбоблари, штамп асбоблари ва бошқа асбоблар тайёрлаш учун, алоҳида хоссали пўлатлар эса хилма-хил мақсадларда ишлатилади, бу ҳақда шу пўлатларга бағишланган темаларда батафсил сўзланади.

Легирланган пўлатларнинг маркаланиши. Легирланган пўлатлар тегишли ҳарфлар ва рақамлар билан маркаланади. Легирланган пўлат маркасидаги ҳарфлар легирловчи элементларни, рақамлар эса уларнинг миқдорини кўрсатади. ГОСТ га кўра, ҳар қайси легирловчи элемент маълум бир ҳарф билан, масалан, никель Н билан, хром — Х, кобальт — К, молибден — М, вольфрам — В, ванадий — Ф, марганец — Г, мис — Д, бор (В) — Р, ниобий — Б, цирконий — Ц, кремний — С, титан — Т, алюминий — Ю, фосфор — П, азот — А, сийрак-ер металлари эса — Ч билан белгиланади.

Легирланган пўлат маркасида рақамлар ва ҳарфлар муайян тартибда қўйилади. Пўлат маркасида энг олдин турган рақамлар шу пўлат таркибидаги углерод миқдорини процентнинг юздан бир улушлари ҳисобида ифодалайди, ҳарфлардан кейин турган рақамлар эса шу ҳарфлар билан кўрсатилган элементларнинг процент ҳисобидаги ўртача миқдорини кўрсатади. Легирловчи элементнинг миқдори 1% дан кам ёки 1% дан сал ошиқроқ бўлса, рақам ёзилмайди. Масалан, таркибида 0,17—0,23% углерод, 0,45—0,75% хром ва 1,0—1,4% никель бўлган пўлат 20ХН билан, таркибида 0,14—0,20% углерод, 1,35—1,65% хром, 4,0—4,4% никель ва 0,8—1,2% вольфрам бўлган пўлат 18Х2Н4В билан маркаланади ва ҳоказо.

Пўлат таркибида фосфор миқдори 0,03% дан, олтингугурт миқдори ҳам 0,03% дан камлигини, шунингдек, пўлатнинг юқори сифатли эканлигини кўрсатиш учун шу пўлат маркасининг охирига А ҳарфи қўйилади (А ҳарфи пўлат маркасининг ўртасида келса, махсус қўшилган азотни билдиради).

Баъзи ҳолларда маркадаги белгилар сонини камайтириш учун ГОСТ системасидан бир қадар четга чиқилади. Масалан, таркибида 1% дан ортиқ углерод бўлган пўлатларнинг маркасида шу углерод миқдорини кўрсатувчи рақамлар ёзилмайди. Масалан, таркибида 1,45—1,70% углерод, 11,0—12,5% хром ва 0,5—0,8% молибден бўлган асбобсозлик пўлати Х12М билан белгиланади. Пўлат маркаларидаги олдинги рақамлар, баъзан углероднинг миқдорини процентнинг юздан бир улушларида эмас, балки ўндан бир улушларида ифодалайди. Масалан, 9ХС ва 7ХС маркали пўлатларда 0,09 ва 0,07% эмас, балки 0,9 ва 0,7% углерод бўлади. Баъзи легирловчи элементларнинг миқдори пўлат маркасида кўрсатилмайди, масалан, 35ХМ ва 30ХФ маркали пўлатларда молибден ёки ванадий миқдори 1% атрофида эмас, балки 0,15—0,25% бўлади; бундай қилинишининг сабаби шуки, шу типдаги пўлатларда молибден билан ванадий миқдори 0,25% дан ортиқ бўлмайди. Баъзан, мураккаб таркибли пўлатлар шартли индекслар билан белгиланади, масалан, кўп легирланган асбобсозлик тезкесар пўлатлари Р9 ва Р18 маркалар билан белгиланади (бундай пўлатларда кўп миқдорда хром, вольфрам ҳамда ванадий бўлади).

Стандарт бўлмаган пўлатлар хилма-хил тарзда белгиланади. Масалан, «Электросталь» заводида тайёрланадиган тажрибавий пўлат маркалари И ёки П ҳарфи ва ундан кейин қўйиладиган тартиб рақами билан белгиланади. Масалан, ЭИ154, ЭИ179, ЭИ276, ЭП398 ва ҳоказо (бу ерда Э ҳарфи завод номини, И ҳарфи пўлатнинг тажрибавий*, П ҳарфи эса пўлатнинг намунавий** эканлигини ва рақамлар тартиб номерини билдиради).

3-§. КОНСТРУКЦИОН ПЎЛАТЛАР

Конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари. Конструкцион пўлатлардан саноатнинг турли соҳаларида ишлатиладиган машиналарнинг хилма-хил деталлари тайёрланади, бундай деталларнинг ишлаш шароити эса турлича бўлади, шунинг учун конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари юқори бўлиши керак. Углеродли оддий пўлат бу талабларни тўла қондира олмайди. Шу сабабли машиналарнинг муҳим деталлари легирланган пўлатлардан ясалади, чунки легирловчи элементлар пўлатнинг тобланиш чуқурлигини оширади ва, бинобарин, деталнинг бутун кесими бўйича механик хоссаларини яхшилайди.

Пўлатнинг механик хоссаларига легирловчи элементларнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Турлича легирланган пўлатлардан олинган намуналарни ҳар қайси пўлат учун оптимал бўлган температурагача қиздириб, сўнгра тоблагандан кейин, бир хил температурада бўшатиб, уларнинг механик хоссаларини бир-бирига солиштириб кўрсак, легирловчи элементларнинг турлича таъсир этганлигини кўрамиз. Бўшатиш вақтида мартенситнинг парчаланиш процессини қийинлаштирувчи элементлар, масалан, молибден, вольфрам, ванадий, кремний ва бошқалар билан легирланган пўлат намуналарининг пухталиги таркибида бундай элементлар кам ёки бутунлай бўлмаган намуналарникига қараганда юқори, пластиклиги ва қовушоқлиги эса паст бўлади. Молибден, вольфрам, ванадий, титан, цирконий, алюминий ва бошқалар билан легирланган пўлатларнинг намуналари тоблангандан кейин уларнинг доналари анча майда бўлади, чунки бу элементлар аустенит доналарининг йириклашувини қийинлаштиради, майда донали пўлатнинг қовушоқлиги эса юқори бўлади. Агар

* И — исследовательская сталь.
** П — пробная сталь.

эвтектоидгача бўлган махсус пўлатни таркибида худди шунча миқдор перлит бўлган оддий (углеродли) пўлат билан солиштириб кўрсак, махсус пўлатнинг пухталиги углеродли пўлатникидан анча юқори эканлигини кўрамиз. Бунинг сабаби шуки, махсус пўлатдаги феррит тоза феррит бўлмай, балки легирланган ферритдир.

Бинобарин, легирловчи элементлар пўлатнинг механик хоссаларини оширади. Пўлат қанчалик кўп легирланган бўлса, унинг пухталиги шунча юқори, қовушоқлиги билан пластиклиги эса шунча паст бўлади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, пўлатнинг механик хоссалари бўшатиш температурасига ҳам боғлиқдир: бўшатиш температурасининг пасайиши пўлатнинг механик хоссаларига легирловчи элементларнинг ортишидаги каби таъсир этади.

Пўлатни тоблаш ва, шундан кейин, етарли даражада юқори (500—650°С) температурада бўшатиб, сорбит структура ҳосил қилиш процесси *пўлатни яхшилаш* деб, бундай термик ишланган пўлат эса *яхшиланган пўлат* деб аталади. Легирланганлик даражаси турлича бўлган пўлатларнинг бўшатилиш температурасини ўзгартириш йўли билан уларнинг пухталигини бир хил қилиш мумкин. Демак, ҳар хил пўлатдан олинган намуналар тобланиб, уларнинг бутун кесими бўйича мартенсит структура ҳосил қилингандан кейин, бўшатиш температуралари шу намуналарнинг пухталиги бир хил бўладиган қилиб танланса, майда донали бўшатилган мартенситнинг механик хоссалари, пўлатнинг таркибидан қатъи назар, бир хил бўлади.

Энди конструкцион пўлатларнинг қандай синфларга бўлиниши билан танишиб чиқайлик.

Конструкцион пўлатлар таркибидаги углерод миқдорига кўра, икки синфга: кам (0,1—0,25%) углеродли, яъни цементитланадиган пўлатларга ва ўртача (0,3—0,45%) углеродли—яхшиланадиган пўлатларга бўлинади.

Цементитланадиган конструкцион пўлатлар. Деталлар цементитлангандан ва тобланиб, паст температурада бўшатилгандан кейин деталнинг сиртқи қатлами қаттиқ, ички қатлами (ўзаги) эса қовушоқ бўлиши учун бундай деталлар, юқорида айтиб ўтилганидек, кам углеродли пўлатлардан тайёрланади.

Углеродли пўлатларнинг тобланувчанлиги кучсиз бўлганлиги учун, бундай пўлатлардан ясалган деталлар цементитланиб, сўнгра тобланганда уларнинг цементитланган сиртқи қатламларигина етарли даражада қаттиқ бўлади. Легирланган пўлатлардан ясалган деталлар тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейинги улар ички қатламининг пухталиги пўлат таркибидаги легирловчи элементлар миқдорига боғлиқ, яъни легирловчи элементлар миқдори қанча кўп бўлса, ички қатламнинг пухталиги шунча юқори бўлади. Айтилганларга мувофиқ, цементитланадиган конструкцион пўлатларни уч группага: углеродли пўлатлар, кам легирланган пўлатлар ва нисбатан кўпроқ легирланган пўлатларга бўлиш мумкин. Углеродли пўлатлар цементитланиб, сўнгра тобланганда уларнинг ўзаги пухталанмайди, кам легирланган пўлатларнинг ўзаги сал пухталанади, нисбатан кўпроқ легирланган пўлатларнинг ўзаги эса анча пухталанади. Учинчи группа пўлатлари жумласига таркибидаги легирловчи элементлар миқдори нисбатан кам, аммо углерод миқдори кўпроқ бўлган пўлатлар ҳам киради.

23-жадвалда баъзи конструкцион пўлатларнинг, шу жумладан пухталиги юқори конструкцион пўлатлар: 20ХГР, 18ХГТ, 30ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 18Х2Н4ВА ва 20Х2Н4ВА пўлатларининг ҳам химиявий таркиби, 24-жадвалда эса механик хоссалари кўрсатилган.

Цементитланадиган конструкцион пўлатларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 1050-57 ва ГОСТ 4543-57)

23- жадвал.

Пўлатнинг маркаси	Элементларнинг миқдори, % ҳисобида									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Ti	W	Mo	B
08	0,05—0,1	0,17—0,37	0,35—0,65	—	—	—	—	—	—	—
10	0,07—0,13	0,17—0,37	0,35—0,64	—	—	—	—	—	—	—
15	0,12—0,18	0,17—0,37	0,35—0,65	—	—	—	—	—	—	—
20	0,17—0,24	0,17—0,37	0,35—0,65	—	—	—	—	—	—	—
15Г	0,12—0,18	0,17—0,37	0,7—1,0	—	—	—	—	—	—	—
20Г	0,17—0,24	0,17—0,37	0,7—1,0	—	—	—	—	—	—	—
15Х	0,12—0,18	0,17—0,37	0,4—0,7	0,7 —1,0	<0,25	—	—	—	—	—
20Х	0,17—0,23	0,17—0,37	0,5—0,8	0,7 —1,0	<0,25	—	—	—	—	—
15ХР	0,12—0,18	0,17—0,37	0,4—0,7	0,7 —1,0	<0,25	—	—	—	—	—
20ХН	0,17—0,23	0,17—0,37	0,4—0,7	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—	—	—	—
20ХГР	0,18—0,24	0,17—1,0	0,7—1,0	0,8 —1,1	<0,25	—	—	—	—	—
18ХГТ	0,17—0,23	0,17—0,37	0,8—1,1	1,0 —1,3	<0,25	—	0,06—0,12	—	—	0,002—0,005
30ХГТ	0,24—0,32	0,17—0,37	0,8 —1,1	1,0 —1,3	<0,25	—	0,06—0,12	—	—	—
12ХН3А	<0,15	0,17—0,37	0,3 --0,6	0,6 —0,9	2,8—3,2	—	—	—	—	—
12Х2Н4А	<0,15	0,17—0,37	0,3 —0,6	1,25—1,65	3,3—3,7	—	—	—	—	—
20Х2Н4А	0,17—0,22	0,17—0,37	0,3 —0,6	1,25—1,65	3,3—3,7	—	—	—	—	—
18Х2Н4ВА	0,15 —0,20	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5	—	—	0,8—1,2	—	—
15ХФ	0,12—0,18	0,17—0,37	0,4 —0,7	0,8 —1,1	<0,25	0,1—0,2	—	—	—	—
18Х2Н4МА	0,15—0,20	0,17—0,37	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,5	—	—	—	0,8—1,2	—

Эслатма. Легирланган сифатли пўлатларда фосфор миқдори ҳам, олтингугурт миқдори ҳам 0,035% дан, қолдиқ мис миқдори 0,2% дан, юқори сифатли пўлатларда эса фосфор миқдори ҳам, олтингугурт миқдори ҳам 0,025% дан, қолдиқ мис миқдори 0,2% дан ошмаслиги керак.

24- жадвал

Цементитланадиган конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари
(ГОСТ 1050-57 ва ГОСТ 4543-57)

Пўлатнинг маркаси	Термик ишлашнинг тавсия этиладиган режими	Механик хоссалари					
		$\sigma_в$, кГ/мм²	$\sigma_{оқ}$, кГ/мм²	δ_5, %	ψ, %	$a_н$, кГм/см²	НВ
		камида					
08	Нормалланган	34—42	21	34	60	—	131
10	»	36—45	22	32	55	—	137
15	»	40—49	24	29	55	—	143
20	»	44—54	26	26	55	—	156
15Г	»	44—54	25	27	55	—	163
20Г	»	48—58	28	25	50	—	197
15Х	I. 890° да мойда, II. 770—820° да мойда тобланиб, 190° да бўшатилади	75	60	14	45	8	179
20Х	Бу ҳам	80	65	12	45	6	179
15ХР	I 860° да мойда, II. 770—810° да мойда тобланиб, 180° да бўшатилади	80	60	12	45	8	187
20ХН	I 860° да мойда, II. 760 — 810° да мойда тобланиб, 180° да бўшатилади	80	65	14	5	10	197
20ХГР	I 910° да мойда, II. 870° да мойда тобланиб, 200° да бўшатилади	100	80	9	50	8	197
18ХГТ	I. 880° да мойда, II. 870° да мойда тобланиб, 200° да бўшатилади	115	95	10	50	8	217
30ХГТ	I. 880° да мойда, II. 870° да мойда тобланиб, 200° да бўшатилади	150	130	9	45	6	229
12ХН3А	I. 860° да мойда, II. 760 — 810° да мойда тобланиб, 180° да бўшатилади	100	85	12	50	9	217
12Х2Н4А	I. 860° да мойда, II. 780 — 800° да мойда тобланиб, 180° да бўшатилади	120	100	10	50	9	255
20Х2Н4А	Бу ҳам	140	120	9	45	8	269
18Х2Н4ВА	I. 950° да ҳавода, II. 850° да ҳавода тобланиб, 180° да бўшатилади	120	105	12	55	11	269
15ХФ	I. 880° да мойда, II. 770—820° да мойда тобланиб, 180° да бўшатилади	80	65	14	50	8	187
18Х2Н4МА	I. 950° да ҳавода, II. 850° ҳавода тобланиб, 180° да бўшатилади	120	105	12	55	11	269

Эслатма. Механик хоссалар пўлатларнинг термик ишланган ҳолатдагисига оиддир.

Энди, цементитланадиган пўлатлардан энг муҳимларини кўриб чиқишга ўтайлик.

Углеродли пўлатлар (08, 10, 15, 20). Бундай пўлатлар фақат ейилишга ишлайдиган, ўзагининг пухта бўлиши унча аҳамиятга эга бўлмаган майда деталлар тайёрлаш учун ишлатилади. Бундай пўлатдан ясалган деталлар цементитланиб, тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин уларнинг сиртқи қатлами жуда қаттиқ бўлиб қолади — қаттиқлиги Роквелл бўйича 60—65 га етади.

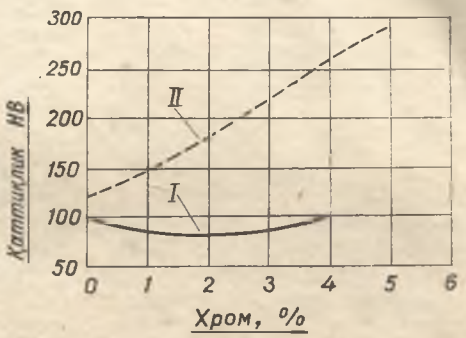
08, 10, 15, 20 маркали пўлатлар цементитлаш вақтида ўта қизишга мойил бўлганлиги учун, бу пўлатлардан ясалган деталлар цементитлангандан кейин уларни икки марта тоблаш: биринчи гал 870—900°С гача, иккинчи гал эса 770—790°С гача қиздириб, сувда тоблаш керак, шундай қилинганда деталлар ўзагининг тузилиши анча яхшиланади.

Марганецли пўлатлар. Марганец феррит таркибига кириб, пўлатнинг қаттиқлигини оширади; углерод ва темир билан ўзаро таъсир этиб, $(Fe, Mn_3)C$ таркибли мураккаб карбид ҳосил қилади. Марганец пўлатнинг тобланиш чуқурлигини анча оширади, чунки пўлатга марганец қўшилганда аустенитнинг перлитга (феррит билан цементит аралашма-



223- расм. Марганецнинг феррит қаттиқлигига таъсири (А. П. Гуляев ва В. П. Емелина):

I — юмшатилган пўлат: *II* — тобланган пўлат.



224- расм. Хромнинг феррит қаттиқлигига таъсири (А. П. Гуляев ва В. П. Емелина)

I — юмшатилган пўлат; *II* — тобланган пўлат.

сига) парчалана бошлаш ва тамом парчаланиб бўлиш чизиқлари ўнг томонга силжийди.

Марганец ферритнинг тоблангандан кейинги пухталигини (қаттиқлигини) оширади (223- расм), шунинг учун марганецли пўлатдан ясалган деталлар тоблангандан кейин уларнинг ўзаги углеродли пўлатлардан ясалган деталларникига қараганда пухта бўлади.

15Г ва 20Г маркали пўлатлардан ясалган деталлар цементитланиб, сўнгра тоблангандан кейин уларнинг сиртқи қатлами анча қаттиқ, ўзаги эса қовушоқ, аммо углеродли пўлатлардан ясалган деталларникига қараганда пухтароқ бўлади.

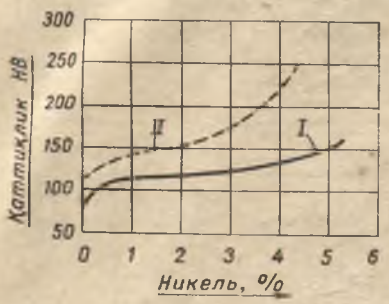
15Г ва 20Г пўлатлари яхши пайвандланади ва металл кесиш станокларида углеродли пўлатларга қараганда яхши ишланади. Марганецли пўлатлар қиздирилганда улардаги аустенит доналари йириклашади, бу эса марганецли пўлатларнинг камчилигидир.

Хромли пўлатлар. Хромли пўлатларнинг 15Х ва 20Х маркалари ишқаланишга ишлайдиган ва ўзагининг пухталиги юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар тайёрлашда кенг кўламда ишлатилади. Хромли пўлатлардан ясалган деталлар тобланганда уларнинг ўзаги углеродли пўлатдан ясалган деталларникига қараганда анча пухта бўлади, бунинг сабаби шуки, деталь тобланганда хромли феррит пухталанади (224- расм).

Хром пўлатнинг тобланиш критик нуқтасини пасайтиради, шунинг учун хромли пўлатлардан ясалган деталлар цементитлангандан кейин мойда тобланади, натижада деталлар кам деформацияланади.

Хромли пўлатлардан ясалган деталларни интенсив цементитлаш цементит тури ва кўп миқдорда карбидлар ҳосил бўлишига олиб боради, деталлар цементитлаш температурасида узоқ вақт тутиб турилганда эса пўлат доналари анча йириклашади. Хромли пўлатлардан ясалган деталлар 900°С гача қиздирилиб цементитланади, сўнгра 820°С гача қиздириб тоблангандан кейин, 180°С да бўшатилади.

15Х пўлатидан автомобиль двигателларининг клапан турткичлари, поршень бармоғи, паразит шестерня ўқи ва бошқалар, 20Х пўлатидан эса станокларнинг шестернялари, кулачокли муфталари, втулкалари, сирпаниш подшипникларида ишлайдиган шпинделлари, червяклари, оправкалари, шлицали валиклари ва бошқа деталлари, автомобилларнинг эса узатмалар қутисининг шестернялари, бирламчи вали ва бошқа деталлари тайёрланади.



225- расм. Никелнинг феррит қаттиқлигига таъсири (А. П. Гуляев ва В. П. Емелина):

I — юмшатилган пўлат; *II* — тобланган пўлат.

Никелли пўлатлар. Никелли пўлатлар унча кўп тарқалган эмас, чунки никель қиммат туради. Никель пўлатнинг барча механик хоссаларини, яъни пўлат таркибидаги ферритнинг қаттиқлигини ҳам (225- расм), қовушоқлигини ҳам оширади.

Никелли пўлатлардан ясалган деталлар билан бошқа пўлатлардан ясалган деталлар бир хил шароитда цементитланса, никелли пўлатлардан ясалган деталларда диффузион қатламнинг чуқурлиги ва бу қатламдаги углероднинг миқдори бошқа деталларникига қараганда камроқ бўлади, аммо цементитланган қатлам цементитланмаган қатламга бирмунча текис ўтади, яъни цементит бир текис тарқалган бўлади.

Хром-никеллипўлатлар. 12ХН3А, 12Х2Н4А ва 20Х2Н4А маркали пўлатлар хром-никелли конструкцион пўлатларнинг ичида энг яхшиси бўлиб, кўп нагрузка тушадиган, цементитланадиган деталлар тайёрлаш учун ишлатилади, чунки бундай пўлатларнинг бутун кесими бўйлаб механик хоссалари юқоридир. Хром-никелли пўлатларнинг пухталиги ҳам, қовушоқлиги ҳам юқори бўлади. Хром-никелли пўлатларда асли доналари ўлчами кичик (стандарт шкала бўйича 6- номердан юқори) бўлганлиги учун улар ўта қизишга унча сезгир эмас, шу сабабли хром-никелли пўлатлардан ясалган деталларни 860°С гача қиздириб, фақат бир марта тоблаш ёки цементитлаш печидан олинган заҳотиёқ 860°С гача шамоллатиб, сўнгра тоблаш мумкин. Бундай пўлатларда аустенитнинг барқарорлиги ва совитиш критик тезлиги паст бўлганлиги учун хром-никелли пўлатлар мойда тоблангандан кейин ҳам уларда мартенсит структура ҳосил бўлади. Хром-никелли пўлатлардан ясалган деталларнинг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг қандай таъсир этиши 226- расмда тасвирланган.

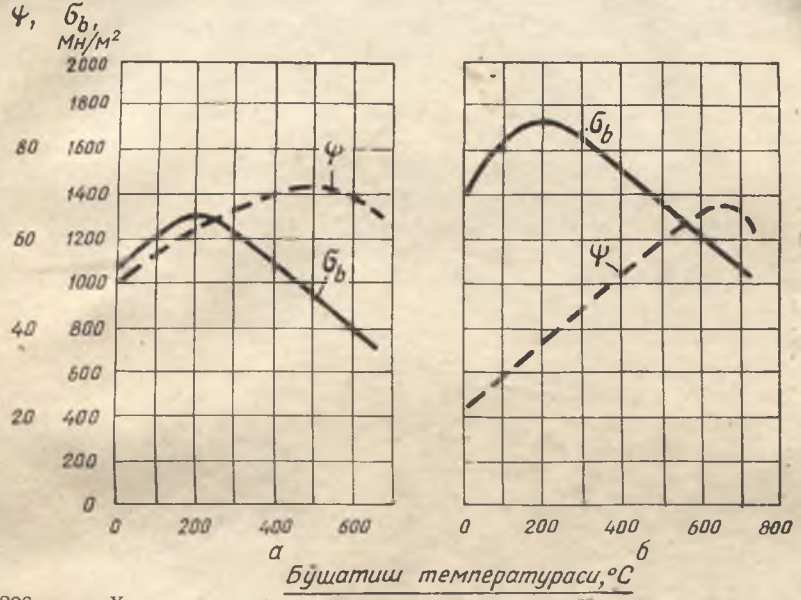
12ХН3А пўлатидан автомобилларнинг кетинга юриш дифференциалининг сателлити ва бошқа деталлари, 12Х2Н4А пўлатидан эса етакчи шестернялари, тирсакли вал шестерняси, бирламчи вали ва бошқа деталлари тайёрланади.

Хром-марганецли пўлатлар. Хром-марганецли пўлатлардан 20ХГ* маркали пўлатни кўриб чиқамиз. 20ХГ маркали пўлат хром-никелли пўлатлар ўрнига ишлатилади. Цементитланадиган деталларни хром-никелли пўлатлардан эмас, балки хром-марганецли пўлатлардан тайёрлаш маъқулроқ, чунки 20ХГ пўлати кам углеродли пўлат бўлганлиги учун унда марганец карбидлари ҳосил бўлмайди ва, шунинг учун,

* 20ХГ пўлатининг химиявий таркиби ва механик хоссалари: 0,15—0,25% С, 0,17—0,37% Si, 0,9—1,2% Mn, 0,9—1,2% Cr, кўпи билан 0,4% Ni, кўпи билан 0,04% S, кўпи билан 0,04%P; $\sigma_в = 80$, $\delta_к = 60$, $\sigma_т = 12\%$, $\psi = 50\%$, $HB = 230$.

бу пўлатдан ясалган деталлар цементитланиб, сўнгра тобланган-дан кейин уларнинг пухталиги ҳам, қовушоқлиги ҳам ошади. 20ХГ пўлатидан ясалган деталлар термик ишлангандан кейин уларнинг механик хоссалари 20Х пўлатидан ясалган деталларникига қараганда юқори бўлади. 20ХГ пўлати тобланганда кам деформацияланади.

20ХГ пўлатидан станокларнинг шестернялари, кулачокли муфталари, червяклари ва бошқа деталлари, автомобилларнинг эса узатмалар



226- расм. Хром-никелли пўлатнинг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг таъсири (А. П. Гуляев):

а — кам углеродли пўлат; *б* — ўртача углеродли пўлат.

қутиси шестернялари, бирламчи вали ва бошқа деталлари ясалади.

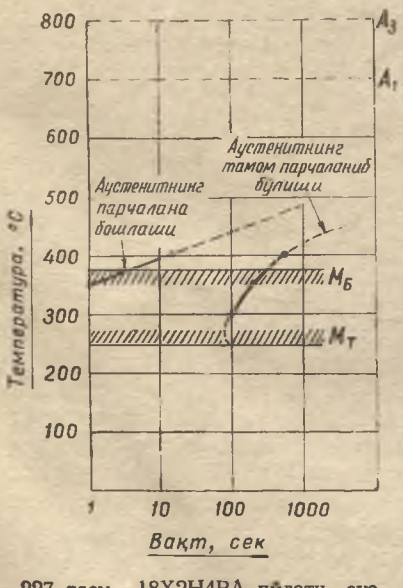
Хром-ванадийли пўлатлар. Хром-ванадийли пўлатлардан 15ХФ маркали пўлатда озроқ миқдор ванадий бўлганлигидан у ўта қизишга унча сезгир эмас, шунинг учун бундай пўлатдан ясалган деталлар цементитлангандан кейин майда донали структурасини сақлаб қолади. 15ХФ пўлатининг яхши хусусиятларидан яна бири шуки, ундан ясалган деталлар сувда тобланганда дарзлар ҳосил бўлмайди.

Хром-марганец-титанли пўлатлар. Бундай пўлатлар ичида 18ХГТ маркали пўлатнинг яхши хусусиятларидан бири шуки, ундан ясалган деталлар цементитланиб, сўнгра тобланган-дан кейин уларнинг механик хоссалари юқори бўлади, металл кесиш станокларида осон ишланади ва, шунинг учун, цементитланадиган мураккаб шаклли муҳим деталлар тайёрлаш учун ишлатилади. 18ХГТ маркали пўлат асли майда донали бўлганлиги учун ўта қизишга унча сезгир эмас. 18ХГТ маркали пўлатдан ясалган деталларни термик ишлаш цикли анча қисқадир, яъни улар цементитланади, камида 825°С температурагача шамоллатилади ва шундан кейин мойда бевосита тобланиб, паст (180—200°С) температурада бўшатилади. Цементитланиш температурасидан 825°С гача шамоллатилганда деталнинг ўзагида троостит-сорбит структура ҳосил бўлади. Агар деталь 825°С дан паст температурагача шамоллатилса, феррит ҳам ҳосил бўлиб, ўзагининг механик хоссаларини пасайтиради. 18ХГТ пўлатидан ясалган деталларни цементитлаш температурасидан 825°С гача шамоллатиб, бевосита тоблаш мукминлигига

яна бир сабаб шуки, бунда пўлатнинг майда донали структураси сақланиб қолиш билан бирга, оз (масалан, 12Х2Н4А маркали пўлатдагидан анча кам) миқдорда қолдиқ аустенит ҳосил бўлади, шунинг учун ҳам деталь сиртининг қаттиқлиги анча юқори, Роквелл бўйича 58—64 бўлади, 18ХГТ пўлатидан тайёрланган деталлар бевосита тобланганда улар унча тоб ташламайди, 18ХГТ маркали пўлатнинг яхши томонларидан бири ана шундадир. 18ХГТ пўлатининг сиртқи қатлами углеродга хромникелли пўлатлардан кўра интенсивроқ тўйинади. Бу маркали пўлатнинг тобланиш чуқурлиги хромли пўлатларнинг тобланиш чуқурлиги билан хром-никелли пўлатларнинг тобланиш чуқурлиги орасида туради, 18ХГТ пўлатидан деталлар тайёрлашда унинг ана шу хусусиятини ҳисобга олиш керак.

18ХГТ пўлатидан металл кесиш станокларининг шестернялари, кулачокли муфталари, втулкалари, сирпаниш подшипнигида ишлайдиган шпинделлари, червяклари, оправкалари ва бошқа деталлари, автомобилларнинг эса узатмалар кутиси шестернялари, бирламчи вали ва бошқа деталлари тайёрланади. 18ХГТ пўлатининг шестернялар тайёрлашда кенг кўламда ишлатилишига сабаб шуки, шестерня тиши кесимининг қаттиқлик нормаси Роквелл бўйича 30—45 га тенг, бу нормани эса 18ХГТ пўлатининг тобланиш чуқурлиги бемалол таъминлай олади. Бундан ташқари, 18ХГТ пўлатини металл кесиш станокларида ишлаш осон бўлиб, ишланган юзаси жуда тоза чиқади.

Хром-никель-вольфрамли ва хром-никель-молибденли пўлатлар. Бу пўлатлардан 18Х2Н4ВА билан 18Х2Н4МА ни кўриб чиқамиз. 18Х2Н4ВА ва 18Х2Н4МА пўлатлари кўп легирланган пўлатлар бўлиб, уларнинг пухталиги, қовушоқлиги ва толиқиш (чарчаш) чегараси юқоридир, шунинг учун улардан катта нагрузка ва зарб остида ишлайдиган муҳим деталлар тайёрланади. 18Х2Н4ВА ва 18Х2Н4МА пўлатлари ўз табиати ва хоссалари жиҳатидан бир-бирига ўхшаш бўлганлиги учун 18Х2Н4ВА пўлати тўғрисида бундан буён айтилганларнинг ҳаммаси 18Х2Н4МА пўлатига ҳам тааллуқлидир.



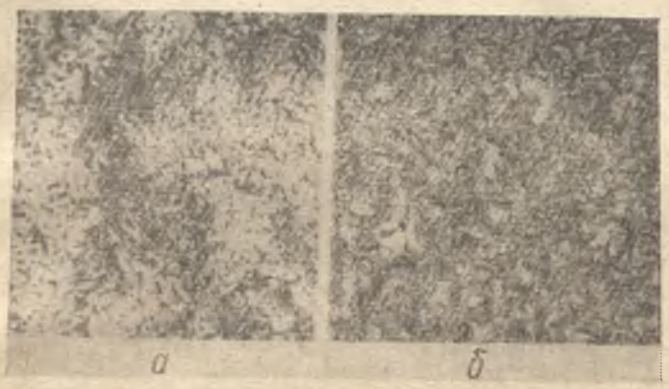
227-расм. 18Х2Н4ВА пўлати аустенитининг изотермик парчаланиш диаграммаси (А. П. Гуляев).

18Х2Н4ВА пўлати тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин унинг механик хоссалари жуда юқори бўлиб қолади: мустаҳкамлик чегараси $\sigma_в = 1300—1400$ *Мн/м²* (130—140 *кГ/мм²*) бўлади.

18Х2Н4ВА пўлати аустенитининг изотермик парчаланиш диаграммаси шу пўлат учун ниҳоятда хосдир. Бундай диаграмма 227-расмда тасвирланган.

Диаграммадан кўриниб турибдики, A_1 критик нуқта 700°С да, A_3 критик нуқта эса 800°С да ётибди, критик нуқталарнинг пасайиши пўлатда никель миқдорининг кўплигидан келиб чиқади. 18Х2Н4ВА пўлатида 700—500°С температуралар оралиғида аустенит перлит-троститга айланмай, фақат 400—450°С да парчалана бошлаб, бу парчаланиш натижасида бейнит ҳосил бўлади ёки, пўлат тез совитилса, 370 ва 250°С температуралар оралиғида нина-

симон мартенсит ҳосил бўлади. $M_т$ нуқта одатдагидан юқорида бўлганлиги учун бу пўлат тобланганда озроқ миқдор (4% чамаси) аустенитгина парчаланмай қолади (қолдиқ аустенит). 18Х2Н4ВА пўлати аустенитининг изотермик парчаланиш диаграммасидан кўринишича, бу пўлатни одатдаги усул билан юмшатиб бўлмайди, чунки унинг аустенити перлит-троостит структурага айланмайди. Шунинг учун уни



228- расм. 18Х2Н4ВА пўлатининг микроскопик тузилиши:
а — юқори температурада бўшатилгандан кейин; *б* — тобланиб; сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин. × 500.

юмшатишнинг бирдан-бир усули юқори температурада (650—670°С да) бўшатиш усулидир. 18Х2Н4ВА пўлати ана шундай термик ишлангандан кейин унинг структураси углероди нотекис тақсимланган сорбитдан иборат бўлади (228- расм, *а*). Бу пўлат аустенитининг перлит-трооститга парчаланмаслиги ва мартенситга айланиш нуқтасининг юқори бўлиши шуни кўрсатадики, у ҳатто жуда секин совитилганда ҳам аустенит пўлат кесимининг исталган жойида бейнит ёки мартенсит ҳосил бўлиш температурасигача ўта совийди, натижада пўлат кесимининг ҳамма жойи тобланади, шунинг учун уни мартенсит синфидаги пўлатлар жумласига киритса бўлади. Шу сабабли 18Х2Н4ВА пўлати мойда эмас, балки ҳавода тобланади.

18Х2Н4ВА пўлатининг тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейинги микроскопик тузилиши 228- расм *б* да тасвирланган.

18Х2Н4ВА пўлатининг металл кесиш станокларида ишланишини осонлаштириш учун у 950—960°С да нормалланиб, сўнгра 650—670°С температурада бўшатилади, бунда, юқорида айтиб ўтилганидек, сорбит структура ҳосил бўлади. Цементитланган 18Х2Н4ВА пўлати тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин унинг цементитланган (диффузион) қатламида қолдиқ аустенит ҳосил бўлади, бу эса 18Х2Н4ВА пўлатининг камчилигидир, чунки қолдиқ аустенит пўлатнинг қаттиқлигини пасайтиради. Диффузион қатламдаги қолдиқ аустенит миқдорини камайтириш учун деталга нолдан паст температурада ишлов бериш керак.

18Х2Н4ВА пўлатида хром карбиди Cr_4C бўлганлиги учун бу пўлат 550°С гача қиздириб бўшатилганда унинг пухталиги салгина пасаяди, қовушоқлиги эса ўзгармай қолади, шунинг учун бу пўлатдан цементитланадиган, яъни ейилишга ишлайдиган деталлар ҳам, цементитланмайдиган (ейилишга ишламайдиган) деталлар ҳам тайёрлаш мумкин.

Яхшиланадиган конструкцион пўлатлар. 25- жадвалда яхшиланадиган баъзи конструкцион пўлатларнинг химиявий таркиби, 26- жадвалда эса механик хоссалари кўрсатилган.

25- жадвал

Яхшиланадиган конструкцион пўлатларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 1050-57 ва ГОСТ 4543-57)

Пўлатнинг маркаси	Элементларнинг миқдори, % ҳисобида									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Ti	B	V
35	0,32—0,39	0,17—0,37	0,5—0,8	—	—	—	—	—	—	—
40	0,37—0,44	0,17—0,37	0,5—0,8	—	—	—	—	—	—	—
45	0,42—0,49	0,17—0,37	0,5—0,8	—	—	—	—	—	—	—
30Х	0,25—0,33	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	—	—	—	—	—	—
35Х	0,31—0,39	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	≤0,25	—	—	—	—	—
40Х	0,37—0,45	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	0,25	—	—	—	—	—
38ХА	0,35—0,42	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	≤0,25	—	—	—	—	—
35ХРА	0,33—0,40	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	≤0,25	—	—	—	0,002—0,005	—
40ХР	0,37—0,45	0,17—0,37	0,5—0,8	0,8—1,1	≤0,25	—	—	—	0,002—0,005	—
30ХМ	0,26—0,34	0,17—0,37	0,4—0,7	0,8—1,1	≤0,25	0,15—0,25	—	—	—	—
40ХГ	0,37—0,45	0,17—0,37	0,9—0,2	0,9—1,2	≤0,25	—	—	—	—	—
40ХГР	0,37—0,45	0,17—0,37	0,7—1,0	0,8—1,1	≤0,25	—	—	—	0,002—0,005	—
30ХГТ	0,24—0,32	0,17—0,37	0,8—1,1	1,0 —1,3	≤0,25	—	—	0,6—0,12	—	—
30ХГС	0,28—0,35	0,90—1,20	0,8—1,1	0,8 —1,1	≤0,25	—	—	—	—	—
40ХН	0,37—0,45	0,17—0,37	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4	—	—	—	—	—
40ХНМА	0,37—0,44	0,17—0,37	0,5—0,8	0,6 —0,9	1,25—1,65	0,15—0,25	—	—	—	—
30ХН3А	0,27—0,34	0,17—0,37	0,3—0,6	0,6 —0,9	2,8—3,2	—	—	—	—	—
30ХН2ВФА	0,27—0,34	0,17—0,37	0,3—0,6	0,6 —0,9	2,0—2,5	—	0,4—0,7	—	—	0,15—0,3

Эслатма. Легирланган сифатли пўлатларда фосфор миқдори ҳам, олтингугурт миқдори ҳам 0,035% дан, қолдиқ мис миқдори 0,2% дан, юқори сифатли пўлатларда эса фосфор миқдори ҳам, олтингугурт миқдори ҳам 0,025% дан, қолдиқ мис миқдори 0,2% дан ошмаслиги керак.

26- жадвал

Яхшиланадиган конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари
(ГОСТ 1050-57 ва ГОСТ 4543-57)

Пўлатнинг маркаси	Термик ишлашнинг тавсия этиладиган режими	Механик хоссалари					
		σ_b, кГ/мм²	$\sigma_{оқ}$, кГ/мм²	δ_5, %	ψ, %	$a_п$, кГ/см²	НВ
		ҳамида					
35	Нормаллашган	56—66	32	21	45	9	187
40	»	60—72	34	19	45	9	217
45	»	64—76	36	17	40	8	229
30Х	860° да мойда тобланиб, 500° да бўшатилади	90	75	13	45	7	187
35Х	Бу ҳам	95	80	11	50	7	197
40Х	850° да мойда тобланиб, 550° да бўшатилади	100	85	10	45	6	207
38ХА	860° да мойда тобланиб, 550° да бўшатилади	100	83	12	50	9	207
35ХРА	860° да мойда тобланиб, 540° да бўшатилади	95	80	12	50	9	217
40ХР	860° да мойда тобланиб, 540° ла бўшатилади	100	80	12	50	9	229
30ХМ	880° да мойда тобланиб, 540° да бўшатилади	100	85	12	45	8	229
40ХГ	840° да мойда тобланиб, 520° да бўшатилади	100	85	9	45	6	209
40ХГР	850° да мойда тобланиб, 550—600° да бўшатилади	100	80	11	45	8	241
30ХГТ	I. 880° да мойда, II. 850° да мойда тобланиб, 200° да бўшатилади	150	130	9	45	6	229
30ХГС	880° да мойда тобланиб, 480° да бўшатилади	110	95	10	49	5	217
40ХН	820° да мойда тобланиб, 500° да бўшатилади	100	85	11	45	7	207
40ХНМА	850° да мойда тобланиб, 620° да бўшатилади	100	85	12	55	10	269
30ХН3А	820° да мойда тобланиб, 530° да бўшатилади	110	90	10	50	8	241
30ХН2ВФА	860° да мойда тобланиб, 680° да бўшатилади	90	80	10	45	9	269

Эслатма. Механик хоссалар пўлатларнинг термик ишланган ҳолатдагисига оиддир.

Яхшиланадиган конструкцион пўлатларни шартли равишда беш группага бўламиз. Биринчи группани углеродли пўлатлар (35, 40, 45), иккинчи группани 30Х, 35Х, 40Х, 38ХА, 35ХРА ва 40ХР пўлатлари, учинчи группани 30ХМ, 40ХГ, 40ХГР, 30ХГТ ва 30ХГС пўлатлари, тўртинчи группани 4ХН, 40ХНМА пўлатлари, бешинчи группани эса 30ХН3А ва 30ХН2ВФА пўлатлари ташкил этади. Ана шу группалар билан танишиб чиқамиз.

Углеродли пўлатлар (35, 40, 45). Бу пўлатлар машиналарнинг кичикроқ нагрузкалар таъсир этадиган деталлари, 35 маркали пўлат подшипникларнинг стопор болтлари, втулкалар, валиклар, болтлар, гайкалар ва бошқалар, 40 ва 45 маркали пўлат эса тирсакли валлар, бармоқлар, ўқлар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади. Угле-

родли пўлатлардан, одатда, нормалланган ёки бошқа термик ишланган ҳолатда фойдаланилади. Бу группа пўлатлари таркибидаги углерод миқдорининг ортиши билан уларнинг пухталиги ортиб, пластиклиги пасаяди. Углеродли пўлатларнинг диаметри ёки қалинлиги кичик намуналари тобланганда мустаҳкамлиги ортиб, пластиклиги пасаяди, тобланган пўлат бўшатилгандан кейин эса мустаҳкамлиги бир оз пасайиб, пластиклиги ортади. Масалан, 40 маркали пўлатнинг диаметри 5 *мм* бўлган намунаси тоблангандан кейин унинг механик хоссалари қуйидагича бўлади $\sigma_в = 1500$ *Мн/м²* (150 *кГ/мм²*), $\varphi = 30\%$ ва $a_н = 100—200$ *кж/м²* (1—2 *кГм/см²*), худди шу намуна 500°С да бўшатилгандан кейин эса унинг механик хоссалари мана бундай бўлиб қолади: $\sigma_в = 1000$ *Мн/м²* (100 *кГ/мм²*), $\varphi = 55\%$ ва $a_н = 1000—1200$ *кж/м²* (10—12 *кГ/см²*).

Углеродли пўлатларнинг асосий камчилиги шундан иборатки, уларнинг тобланиш чуқурлиги кичик бўлади ва, шунинг учун, термик ишлаб, кесими кичик деталларнинггина механик хоссаларини юқори қилиш мумкин.

40 ва 45 маркали пўлатлардан ясалган деталлар, кўпинча, цианланади ва юқори частотали ток билан тобланади.

Хромли ва хром-борли пўлатлар (30Х, 35Х, 40Х, 38ХА, 35ХРА ва 40ХР). Бу пўлатлар кичикроқ ўлчамли ҳар хил валиклар, ўқлар, бармоқлар, шестернялар, втулкалар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади. 1% хром билан легирланган пўлатлар зарур температурагача қиздирилиб мойда совитилса, 20 *мм* қалинликкача батамом тобланади. Шунинг учун кичикроқ кесимли деталлар 40Х типидаги пўлатлардан ясалади. Агар хромли бундай пўлатга тахминан 0,003 гача бор (В) қўшилса, тобланиш чуқурлиги ортади.

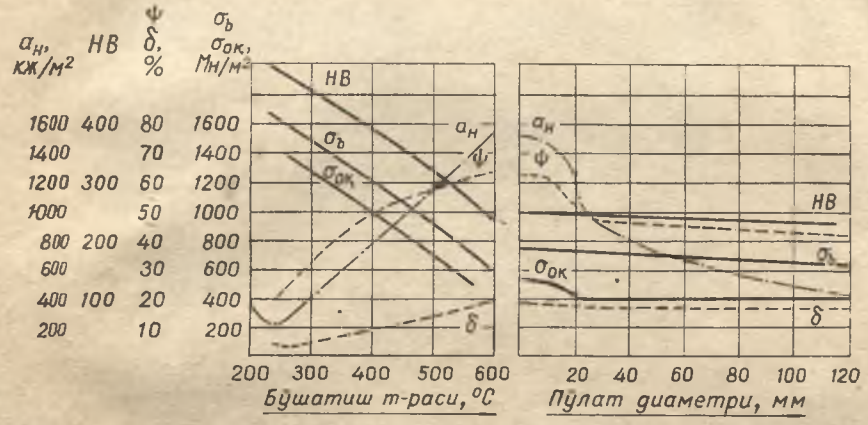
Катта кесимли деталларни бутун кесими бўйлаб тоблаш ва уларнинг пухталигини ошириш учун бундай деталлар сувда тобланади. Хромли пўлатлардан ясалган деталларни тоблангандан кейин бўшатиш вақтида улар тез совитилиши керак, акс ҳолда мўрт бўлиб қолиши мумкин (бўшатиш вақтида келиб чиқадиган мўртлик).

Хром-молибденли, хром-марганецли, хром-марганец-борли, хром-марганец-титанли ва хром-марганец-кремнийли пўлатлар (30ХМ, 40ХГ, 40ХГР, 30ХГТ ва 30ХГС). Хромли пўлатларнинг бор (В) дан бошқа элементлар билан легирланиши ҳам пўлатнинг тобланиш чуқурлигини оширади. Диаметри ёки қалинлиги 20 дан 40 *мм* гача бўлган деталлар, 40ХР пўлатидан ташқари, учинчи группадаги бошқа марка пўлатлардан ҳам тайёрланиши мумкин. Учинчи группа пўлатлари марганец, молибден, кремний ва титан билан қўшимча легирланган. Бу элементларнинг ҳаммаси пўлатларнинг тобланиш чуқурлигини оширади ва, молибдендан бошқалари, қовушоқлик запасини камайтиради.

Хром-никелли, хром-никель-молибденли пўлатлар (40ХН, 40ХНМА) Бунга таркибида 0,4 дан 1,6% гача никель бўлган пўлатлар киради. Никель, бошқа элементлардан фарқли ўлароқ, ҳам пўлатнинг тобланиш чуқурлигини, ҳам қовушоқлик запасини оширади. Диаметри ёки қалинлиги 40—70 *мм* гача бўлган деталлар тўртинчи группа пўлатларидан тайёрлангани маъқул. Агар бу группа пўлатларига бор (В) ва марганец қўшилса, пўлатнинг тобланиш чуқурлиги ортади-ю, аммо қовушоқлик запаси пасаяди. Тобланиш чуқурлиги ва қовушоқлик запаси жиҳатидан олганда бу группадаги пўлатларнинг энг яхшиси 40ХНМА пўлатидир. Яхшиланган 40ХНМА пўлатининг пухталиги ва толиқиш чегараси юқори, қовушоқлиги эса яхши бўлиб, анча чуқур тобланади, шу-

нинг учун у ишораси ўзгариб турадиган катта нагрузкалар остида ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун ишлатилади. 40ХНМА пўлати қуйидагича яхшиланади: 850°С гача қиздирилиб, мойда тобланади, сўнгра 620°С гача қиздирилиб, сувда ёки мойда бўшатилади.

Хром-никелли (30ХН3А) ва хром-никель-вольфрам-ванадийли (30ХН2ВФА) пўлатлар. Диаметри ёки қалинлиги 70 *мм* дан ортиқ деталлар тайёрлаш учун 2—3% никелли ле-



229- расм. 40 маркали пўлатнинг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг ва пўлат массасининг таъсири (А. П. Гуляев).

гирланган пўлатлар ишлатилади. Бу мақсадда соф хром-никелли пўлатлардан, масалан, 30ХН3 маркали пўлатдан фойдаланиш маъқулроқ. Аммо бундай пўлатлар юқори температурада бўшатиш вақтида келиб чиқадиган мўртликка анча мойил, шу сабабли, динамик нагрузка остида ишлайдиган йирик деталлар хром-никель-молибденли, хром-никель-молибден-ванадийли ёки хром-никель-вольфрам-ванадийли пўлатлардан тайёрлангани маъқулроқ.

Юқорида баён этилганлардан мана бундай хулосага келамиз: легирловчи элементларнинг никелдан бошқа ҳаммаси пўлатнинг қовушоқлик запасини пасайтиргани учун, яхшиланадиган пўлатларни камроқ легирлашга ҳаракат қилиш керак.

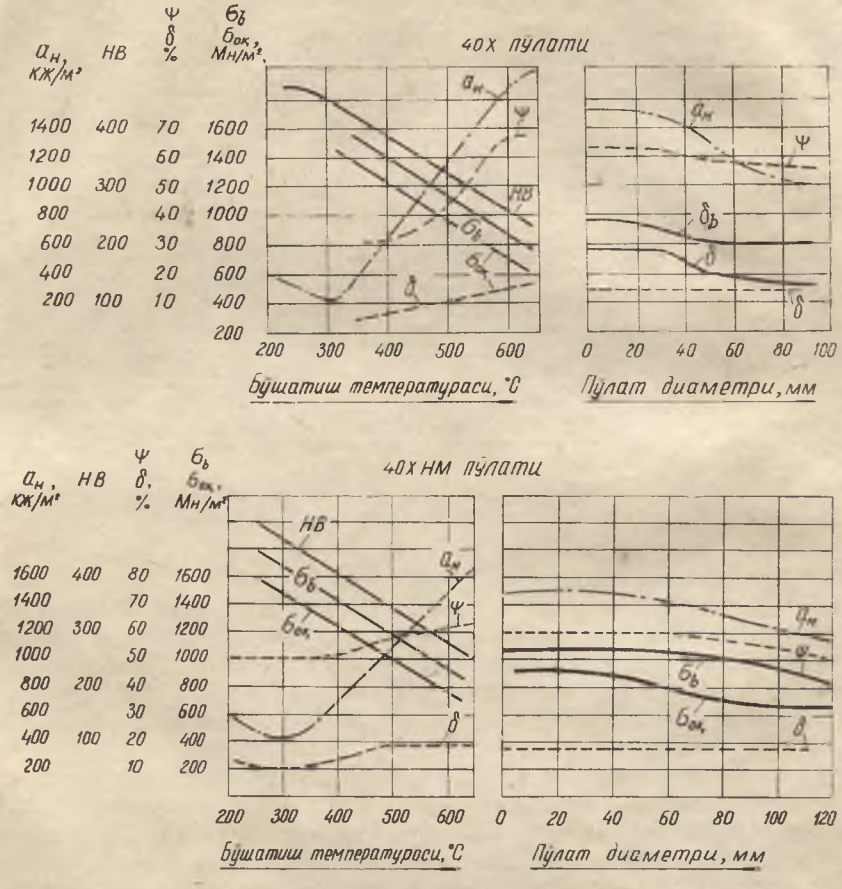
Деталлар механик хоссаларининг даражаси, асосан, бўшатиш температурасига боғлиқ бўлади.

229- расмда 40 маркали пўлатнинг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг ва пўлат массасининг қандай таъсир этиши график тарзда тасвирланган. Чап томондаги эгри чизиқлар диаметри 3— 5 *мм* бўлган намуналарнинг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг таъсирини (бўшатиш вақти 1 соат), ўнг томондаги эгри чизиқлар эса пўлатнинг марказидаги механик хоссаларига пўлат массасининг таъсирини кўрсатади (бўшатиш температураси 580°С).

Чап томондаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, бўшатиш температураси кўтарилган сари пўлатнинг пухталиги пасайиб, пластиклиги билан қовушоқлиги кўтарилади. Зарбий қовушоқликнинг энг кичик қиймати 250°С га тўғри келади, бўшатишнинг бу температурасида эса пўлатда биринчи тур мўртлик пайдо бўлади. Пўлатни 200—600°С температуралар оралиғида бўшатиб, унинг механик хоссаларини кенг

чегарада ўзгартириш мумкин (229-расмнинг чап томонига қаранг). Бу хоссаларни диаметри ёки қалинлиги 10—15 *мм* гача бўлган деталлардагина ҳосил қилиш мумкин (229-расмнинг ўнг томонига қаранг).

Агар кесими катта деталларда юқори пухталик ҳамда юқори пластиклик ва қовушоқлик ҳосил қилиш керак бўлса, бундай деталларни анча чуқур тобланадиган махсус пўлатлардан, масалан, 40Х ва 40ХНМ пўлатларидан тайёрлаш керак. Бундай пўлатлар механик хоссалари-



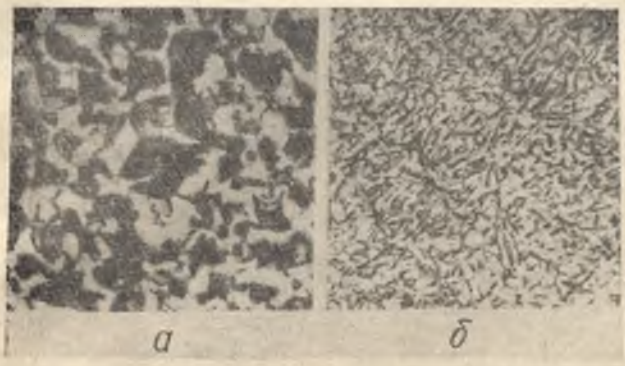
230-расм. 40Х ва 40ХНМ пўлатларининг механик хоссаларига бўшатиш температурасининг ва пўлат массасининг таъсири (А. П. Гуляев).

нинг бўшатиш температурасига ва пўлат массасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 230-расмда тасвирланган (иккала ҳолда ҳам пўлатлар мойда тобланган).

229 ва 230-расмлардан яққол кўриниб турибдики, механик хоссаларнинг бўшатиш температурасига қараб ўзгариш характери учала пўлатда (40, 40Х ва 40ХНМ пўлатларида) бир хил бўлиб, пухталик даражалари бир хил бўлганда бошқа хоссалари бир-бирига жуда яқиндир. Аммо бу пўлатларнинг тобланиш чуқурликлари ҳар хил бўлганлигидан, пўлатларнинг механик хоссалари билан ўлчамлари орасидаги боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар ҳар хилдир.

40, 40Х ва 40ХНМ маркали пўлатлар мисолида юқорида келтирилган маълумотларга асосланиб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: пў-

латнинг маркаси (легирланганлик даражаси) термик ишланадиган деталь ўлчамига (кесимнинг катта-кичиклигига) қараб танланади, деталнинг пухталик даражаси бўшатиш температурасига боғлиқ бўлади, кучланиш концентраторлари ва динамик нагрузкалар мавжуд бўлган тақдирда бундай шароитда ишлайдиган деталлар мўрт ҳолатга ўтиш температурасини пасайтирувчи элементлар, масалан, никель билан легирланган пўлатлардан тайёрланади.



231- расм. 30ХГСА пўлатининг микроскопик тузилиши ×500:
а — юмшатилган ҳолатда; *б* —яхшиланган ҳолатда.

Ўртача углеродли легирланган конструкцион пўлатларнинг юмшатилгандан кейинги микроскопик тузилиши тахминан бир хил — феррит билан перлитдан иборат бўлади. 30ХГСА пўлатининг микроскопик тузилиши 231- расмда тасвирланган.

Конструкцион пўлатларни термик ишлаш. Легирланган конструкцион пўлатлар термик ишланса, уларнинг механик хоссалари янада яхшиланади. Конструкцион пўлатларни термик ишлаш режими, асосан, пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлади.

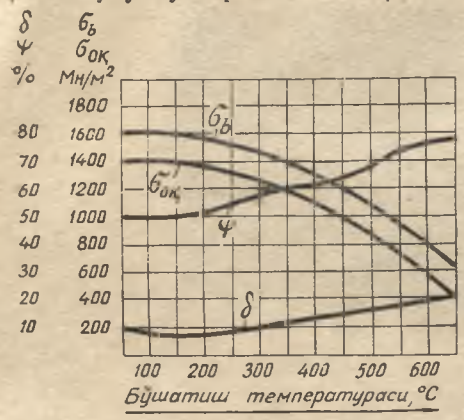
Конструкцион пўлатлар икки марта термик ишланади, яъни тобланиб, сўнгра бўшатилади.

Конструкцион пўлатларни тоблаш режими критик нуқталарнинг вазиятига ва аустенитнинг ўта совишга қанчалик мойиллигига боғлиқдир. Умуман олганда, конструкцион пўлатлар Ac_3 критик нуқтадан 30—50°С юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра маълум тезлик билан тобланади: кам углеродли конструкцион пўлатлардан ясалган кичик ўлчамдаги деталлар мойда, катта ўлчамли деталлар эса сувда тобланади. Сўнгра ўртача углеродли пўлатлар юқори температурада бўшатилади, яъни яхшиланади, кам углеродли пўлатлар эса паст температурада бўшатилади.

Маълумки, пўлат таркибида легирловчи элементлар бўлса, улар ўта совитилган аустенитнинг перлитга айланиш соҳасидаги барқарорлигини оширади, шунинг учун одатдаги таркибли бундай конструкцион пўлатлардан ясалган деталлар мойда тобланса ҳам бўлади. Конструкцион пўлатларнинг бир неча элемент билан легирланган баъзи маркаларида, масалан, хром-никель-вольфрамли ёки хром-никель-молибденли пўлатларда аустенитнинг перлитга айланиш соҳасидаги барқарорлиги шу даражада бўладики, бундай пўлатлардан ясалган ҳатто катта ўлчамли деталлар ҳам тинч ҳавода совитилганда улардаги аустенит мартенситга айланиш температурасигача ўта совийди.

Таркибида карбид ҳосил қилувчи элементлар бўлган кам углеродли конструкцион пўлатларда аустенитнинг бейнитга айланиш тезлиги перлитга айланиш тезлигидан анча катта бўлади (220- расм, *б* га қаранг). Шу сабабли бундай пўлатлардан ясалган деталларни тоблашда аустенитнинг бейнитга айланиш соҳасида (400—300°С температуралар оралиғида) совитишни анча тезлатиш зарур.

Юқорида баён этилганлардан тоблашда мартенсит структура ҳосил қилиш учун углеродли конструкцион пўлатлардан ясалган деталларни тез, легирланган конструкцион пўлатлардан ясалган деталларни эса анча секин совитиш керак деган хулоса келиб чиқади. Деталлар қанчалик секин совитилса, уларда шунчалик кам ички кучланишлар ҳосил бўлади ва, демак, уларнинг пухталиги шунчалик ошади. Бу жиҳатдан олганда легирланган пўлатлар углеродли пўлатлардан афзал туради.



232- расм. Хром-молибденли конструкцион пўлат механик хоссаларининг бўшатиш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

Конструкцион пўлатлардан ясалган деталлар тобланганда уларнинг қаттиқлиги ортиб, пластиклиги пасаяди, уларда каттагина ички кучланишлар ҳосил бўлади, шунинг учун бундай деталлар тобланган кейин албатта бўшатилиши керак. Бўшатилганда эса деталларнинг пластиклиги ва қовушоқлиги ортиб, ички кучланишлари камаяди.

Механик хоссаларнинг бўшатиш температурасига қараб ўзгаришини хром-молибденли пўлат мисолида кўриб чиқайлик.

Таркибида 0,2% углерод, 1,25% хром ва 0,24% молибден бўлган хром-молибденли конструкцион пўлат механик хоссаларининг бўшатиш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 232-расмда тасвирланган.

Бўшатиш вақтида мартенситнинг шиддатли равишда парчаланиш температурасидан (200°С чамаси температурадан) бошлаб, пўлатнинг мустаҳкамлик чегараси ($\sigma_в$) ва оқувчанлик чегараси ($\sigma_{ок}$) секин-аста пасайиб нисбий узайиши (δ) ва нисбий торайиши (ψ) эса кўтарилиб боради.

Пружина ва рессора пўлатлари. Маълумки, пружина ва рессоралар транспорт воситалари, конструкция ҳамда машиналарнинг ишлаш шароитида таъсир этадиган туртки ва зарбларни юмшатиш учун ишлатилади. Шу сабабли пружина ва рессоралар тайёрланадиган пўлатларнинг эластиклик ва толиқиш чегараси юқори бўлиши керак. Бундай пўлатлар жумласига таркибидаги углерод миқдори тахминан 0,6 дан 0,9% гача бўлган конструкцион пўлатлар ва эластиклик чегарасини ошириб, $\frac{\sigma_т}{\sigma_в}$ нисбатни бирга яқинлаштирувчи элементлар, масалан, кремний, марганец, хром, ванадий билан легирланган конструкцион пўлатлар киради. Айниқса муҳим пружина ва рессоралар 50ХФА маркали пўлатдан ясалади, чунки бу пўлатнинг эластиклик хоссалари айниқса юқори бўлади. Пружина ва рессоралар тайёрланадиган пўлатларнинг химиявий таркиби 27- жадвалда, уларнинг механик хоссалари эса 28- жадвалда келтирилган.

Пружина ва рессора пўлатларининг химиявий таркиби
(ГОСТ 2052-53, ГОСТ 1050-57 ва ГОСТ 4543-57)

Пўлатнинг маркаси	Элементларнинг миқдори, % ҳисобида								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	W	S	P
								кўпи билан	
65	0,62—0,70	0,17—0,37	0,5—0,8	≤0,25	≤0,25	—	—	0,040	0,040
70	0,67—0,75	0,17—0,37	0,5—0,8	≤0,25	≤0,25	—	—	0,040	0,040
75	0,72—0,80	0,17—0,37	0,5—0,8	≤0,25	≤0,25	—	—	0,040	0,040
85	0,82—0,90	0,17—0,37	0,5—0,8	≤0,25	≤0,25	—	—	0,040	0,040
55ГС	0,52—0,60	0,50—0,80	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,045	0,040
65Г	0,62—0,70	0,17—0,37	0,9—1,2	≤0,25	≤0,25	—	—	0,040	0,040
50С2	0,47—0,55	1,50—2,00	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,040	0,040
55С2	0,52—0,60	1,50—2,00	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,040	0,040
60С2	0,57—0,65	1,50—2,00	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,040	0,040
60С2А	0,56—0,64	1,60—2,00	0,6—0,9	≤0,30	≥0,40	—	—	0,030	0,030
70С3А	0,66—0,74	2,40—2,80	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,030	0,035
63С2А	0,60—0,65	1,80—2,20	0,6—0,9	≤0,30	≤0,40	—	—	0,030	0,035
50ХГ	0,46—0,54	0,17—0,37	0,7—1,0	0,9—1,20	≤0,40	—	—	0,040	0,040
50ХГА	0,46—0,54	0,17—0,37	0,8—1,0	0,95—1,20	≤0,40	—	—	0,030	0,030
50ХФА	0,47—0,54	0,17—0,37	0,5—0,8	0,80—1,10	≤0,20	0,10—0,20	—	0,025	0,025
50ХГФА	0,48—0,55	0,17—0,37	0,8—1,0	0,95—1,20	≤0,40	0,15—0,25	—	0,030	0,030
60С2ХФА	0,56—0,64	1,40—1,80	0,4—0,7	0,90—1,20	≤0,40	0,10—0,20	—	0,030	0,035
60С2ХА	0,56—0,64	1,40—1,80	0,4—0,7	0,70—1,00	≤0,40	—	—	0,030	0,035
65С2ВА	0,61—0,69	1,50—2,00	0,7—1,0	≤0,30	≤0,40	—	0,8—1,2	0,030	0,035
60С2Н2А	0,56—0,64	1,40—1,80	0,4—0,7	≤0,30	1,40—1,70	—	—	0,030	0,035
55СГ	0,50—0,60	1,30—1,80	0,8—1,0	≤0,30	≤0,40	—	—	0,040	0,040
60СГ	0,55—0,65	1,30—1,80	0,8—1,0	≤0,30	≤0,40	—	—	0,040	0,040
60СГА	0,56—0,64	1,30—1,80	0,8—1,0	≤0,30	≤0,40	—	—	0,030	0,030

Легирланган конструкцион пўлатдан ясалган пружина ва рессораларни термик ишлаш уларни зарур температурагача қиздиргандан кейин мойда ёки сувда тоблашдан, сўнгра эса бўшатишдан иборатдир. Пружина ва рессораларни термик ишлаш режими улар ясалган пўлатларнинг маркасига боғлиқдир (28-жадвалга қаранг).

28-жадвал

Пружина ва рессора пўлатларини термик ишлаш режими ва уларнинг механик хоссалари (ГОСТ 2052-53)

Пўлатнинг маркаси	Термик ишлашнинг тавсия этиладиган режими		Механик хоссалари				
	тоблаш температураси, °С ва совитувчи муҳит с.—сув, м.—(кой)	бўшатиш температураси, °С	қаттиқлиги *НВ* кўпи билан	$\sigma_в$, кГ/мм²	$\sigma_{оқ}$, кГ/мм²	δ, %	ψ, %
			камида				
65	840, м.	480	255	100	80	9	35
70	830, м.	480	269	105	85	8	30
75	820, м.	480	285	110	90	7	30
85	820, м.	480	302	115	100	6	30
55ГС	820, м.	480	285	100	80	8	30
65Г	830, м.	480	269	100	80	8	30
50С2	870, м. ёки	460	285	120	110	6	30
55С2	870, с.	460	285	130	120	6	30
60С2	870, м.	460	302	130	120	5	25
60С2А	870, м.	460	302	160	140	5	20
70С3А	860, м.	460	302	180	160	5	25
63С2А	860, м.	460	302	160	140	5	20
50ХГ	840, м.	490	302	130	110	5	35
50ХГА	840, м.	490	302	130	120	6	35
50ХФА	850, м.	520	321	130	120	6	35
50ХГФА	850, м.	520	302	130	110	10	45
60С2ХФА	870, м.	420	321	180	160	5	20
60С2ХА	850, м.	410	302	190	170	5	20
65С2ВА	850, м.	420	302	190	170	5	20
60С2Н2А	850, м.	420	302	175	160	5	20
55СГ	880, м.	460	285	130	120	6	30
60СГ	860, м.	460	285	130	120	5	25
60СГА	860, м.	460	285	160	140	5	25

Эслатма. Механик хоссалар пўлатларнинг термик ишланмаган ҳолатдагисига оиддир.

29-жадвал

Пўлатнинг маркаси	Қаттиқлиги *НВ*	
	термик ишланмаган ҳолатдагиси	термик ишланган ҳолатдагиси
50С2	285	365—410
60С2	302	390—480
50ХФА	302	390—480
60С2ХА	302	420—475

Пружина ва рессора пўлатлари тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейин $\frac{\sigma_т}{\sigma_в}$ нисбат тахминан 0,8 га тенг бўлиб қолади. Бунда пўлатнинг зарбий қовушоқлиги бир оз пасаяди, аммо бу ҳол пружина ва рессораларнинг иш сифатига таъсир этмайди.

27-жадвалда келтирилган пўлатлар термик ишлангандан кейин уларнинг қаттиқлиги ҳам анча ошади. Баъзи пўлатларнинг термик ишланишдан олдинги ва тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейинги қаттиқлигини кўрсатиб ўтамиз (29-жадвал).

Урами кесимининг диаметри ёки қалинлиги 15 *мм* гача бўлган хилма-хил пружиналар углеродли пўлатдан ясалади. Кремнийли пўлат рессоралар тайёрлашда кўп ишлатилади. Кремнийли пўлатнинг пухталиги, тобланиш чуқурлиги, оксидланишга чидамлилиги ва бошқа хоссалари углеродли пўлатникидан юқоридир. Бу пўлатнинг камчилиги шундан иборатки, унинг сирти графитланишга ва углеродсизланишга мойилроқ бўлади, рессоранинг сиртқи қавати углеродсизланганда эса унинг узоқ вақт давомида таъсир этадиган нагрузкага бардош бериш хоссаси пасаяди.

Марганецли пўлатнинг тобланиш чуқурлиги кремнийли пўлатникига қараганда каттароқ, углеродсизланишга мойиллиги камроқ бўлади, аммо у бўшатиш вақтида вужудга келадиган мўртликка* кўпроқ мойил бўлиб, тоблаш вақтида дарз кетади.

Урам кесимининг диаметри ёки қалинлиги 25—30 *мм* бўлган пружиналар кремний-марганецли ва хром-марганецли пўлатлардан ясалади, чунки улар анча чуқур тобланади. Аммо бу пўлатларда ҳам бўшатиш вақтида мўртлашувга мойиллик бўлади, шунинг учун улар бўшатиш температурасигача қиздирилгандан кейин тез совитилиши керак.

Муҳим пружиналар, масалан, клапан пружиналари хром-ванадийли пўлатдан тайёрланади, чунки у пружиналар тайёрлаш учун ишлатиладиган энг яхши пўлат бўлиб, унинг тобланиш чуқурлиги, толиқиш чегараси, ўта қизишга бардош бериш хоссалари юқоридир.

Шарикли ва роликли подшипник пўлатлари. Шарикли ва роликли подшипниклар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлатлар жуда қаттиқ бўлиши керак. Бу талабни асбобсозлик пўлатлари типидаги кўп углеродли пўлатлар, баъзан эса кам углеродли, аммо цементитланадиган пўлатларгина қондира олади. Шарикли ва роликли подшипник пўлатларининг тобланиш критик тезлиги паст бўлиши ва тоблаш муҳити (совитувчи восита) сифатида мойдан фойдаланиш имконияти туғилиши учун бундай пўлатлар легирланади. Легирловчи элемент сифатида асосан хром, баъзи ҳолларда эса кремний билан марганец ҳам ишлатилади. ГОСТ да шарикли ва роликли подшипниклар тайёрлаш учун тўрт хил маркали пўлат тавсия этилади. 30- жадвалда ана шу пўлатларнинг химиявий таркиби ва қаттиқлиги кўрсатилган.

Юқорида айтиб ўтилганидек, пўлатга хром тобланиш чуқурлигини ошириш учун қўшилади, демак, шарикли ва роликли подшипникнинг тобланадиган деталлари ўлчами қанча катта бўлса, шу деталлар тайёрланадиган пўлатда шунча кўп миқдорда хром бўлиши керак.

Диаметри 13,5 *мм* гача бўлган шарикларни ва диаметри 10 *мм* гача бўлган роликларни ШХ6 маркали пўлатдан, диаметри 13,5 дан 22,5 *мм* гача бўлган шарикларни ва диаметри 10 дан 15 *мм* гача бўлган роликларни ШХ9 маркали пўлатдан, диаметри 22,5 *мм* дан ортиқ шарикларни ва диаметри 15 дан 30 *мм* гача бўлган роликларни ШХ15 маркали пўлатдан, диаметри 30 *мм* дан ортиқ роликларни ва ўлчамлари жуда катта бўлмаган барча ҳалқаларни эса ШХ15СГ маркали пўлатдан тайёрлаш тавсия этилади.

Роликли жуда йирик (диаметри 0,5 дан 2 *м* гача бўлган) подшипникларнинг роликлари ҳам, ҳалқалари ҳам 20Х2Н4А маркали пўлатдан ясалади ва 5—6 *мм* қалинликкача цементитланиб, сўнгра термик ишланади.

Химиявий актив муҳитда ишлайдиган подшипниклар учун таркибида 0,9—1,0% углерод, 17—19% хром, $\leq$0,8% кремний, $\leq$0,7% марга-

* Бўшатиш вақтида вужудга келадиган мўртлик тўғрисида 305- бетга қаранг.

30- жадвал

Шарикли ва роликли подшипник пўлатларнинг химиявий таркиби ва қаттиқлиги
(ГОСТ 801-60 ва ГОСТ 801-47)

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, %								Пўлатнинг қаттиқлиги		
					Ni	Cu	P	S	юмшатилган пўлатники *HB*	тобланган пўлатники *HRC*	
	C	Mn	Si	Cr	кўпи билан					силлиқланган	силлиқланмаган
										камида	
ШХ6	1,05—1,15	0,20—0,40	0,15—0,35	0,40—0,70	0,30	0,25	0,027	0,020	170—207	62	59
ШХ9	1,05—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	0,90—1,20	0,30	0,25	0,027	0,020	170—207	62	59
ШХ15	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,30—1,65	0,30	0,25	0,027	0,020	170—207	62	60
ШХ15СГ	0,95—1,10	0,90—1,20	0,40—0,65	1,30—1,65	0,30	0,25	0,027	0,020	170—207	62	—

Эслатма. Пўлат маркасидаги Ш ҳарфи шарикли подшипник пўлати эканлигини, Х ҳарфи хромли пўлат эканлигини, Х ҳарфидан кейинги рақам эса хромнинг тахминий (ўртача) миқдорини (10 га тақсим қилинганда) билдиради.

нец, 0,6% никель, 0,03% олтингугурт ва 0,03% фосфор бўлган Х18 (ЭИ-229) маркали пўлат (ГОСТ 5632-51) ишлатилади. Подшипникнинг бу пўлатдан ясалган деталлари 1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади,—70°С да совуқ билан ишланади ва 150—160°С да бўшатилади, натижада уларнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 60—61 га етади.

Ишлаш процессида 400—500°С гача қизийдиган подшипниклар, одатда, Р19 маркали, аммо таркибидаги углерод билан ванадий миқдори камроқ бўлган пўлатдан тайёрланади. Подшипникнинг бундай пўлатдан ясалган деталларини термик ишлаш режими тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни термик ишлаш режими кабидир, бу ҳақда кейинроқ сўзланади.



233-расм. ШХ15 маркали пўлатнинг тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейинги микроскопик тузилиши (ортиқча карбидла: бир. текис тақсимланган) × 500.

Шарикли ва роликли подшипник пўлатларига нисбатан жуда юқори талаблар қўйилади, яъни бу пўлатларга металлмас қўшимчалар аралашмаган бўлиши, уларда карбид ликвацияси бўлмаслиги керак, чунки пўлатда бегона қўшимчалар бўлса, подшипникнинг шариги ёки ролиги билан ҳалқасининг бир-бирига уринган нуқтаси нагрузка таъсирида уваланади, бунинг оқибатида эса подшипник узоққа чидамайди. Шу сабабли, ГОСТ 801-60 га биноан, суюқлантириб олинган пўлат ҳар сафар текшириб турилади.

Подшипникларнинг ШХ6, ШХ9, ШХ15 ва ШХ15СГ пўлатларидан ясалган деталларини (шарик, ролик ва ҳалқаларини) термик ишлаш уларни 830—840°С гача қиздириб, мойда тоблаш, сўнгра 150—160° С да 1—2 соат давомида бўшатишдан иборатдир. Подшипник деталлари бундай термик ишлангандан кейин уларнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 62 га етади, структураси эса бўшатилган, жуда майда нинасимон мартенситдан иборат бўлади (233-расм).

Подшипник деталларини термик ишлаш режимига қатъий риоя қилиш зарур, акс ҳолда подшипникнинг сифати ёмонлашади. Масалан, подшипник шариклари (роликлари) ёки ҳалқаларини тоблашда улар сал ортиқча қиздириб юборилса ҳам мартенсит ниналари йириклашиб, пўлат мўрт бўлиб қолади, подшипникнинг тобланган деталлари 150—160°С дан анча юқори температурада бўшатилганда эса уларнинг қаттиқлиги пасайиб, ейилишга чидамлилик хоссаси ёмонлашади.

ШХ15 пўлати тобланганда унда ортиқроқ миқдорда (10—15%) қолдиқ аустенит бўлади, бу аустенит миқдорини камайтириш учун подшипникларнинг прецизион* деталларига —10 дан —20°С гача бўлган температурада (совуқда) ишлов берилади.

Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатлар. Легирланган пўлатлардан ясалган деталларнинг албатта термик ишланиши (тобланиб, сўнгра бўшатилиши) кераклиги юқорида айтиб ўтилди. Термик ишланган пўлат эса термик ишланмаган пўлатдан қиммат туради. Аммо саноатнинг пўлат ишлатадиган шундай тармоқлари ҳам борки, уларда термик ишланган, яъни қиммат турадиган пўлатга эҳтиёж бўлмайди. Саноатнинг бундай тармоқлари жумласига, масалан, қурилиш

* Жуда аниқ қилиб гайёрланган.

нец, 0,6% никель, 0,03% олтингугурт ва 0,03% фосфор бўлган Х18 (ЭИ-229) маркали пўлат (ГОСТ 5632-51) ишлатилади. Подшипникнинг бу пўлатдан ясалган деталлари 1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади,—70°С да совуқ билан ишланади ва 150—160°С да бўшатилади, натижада уларнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 60—61 га етади.

Ишлаш процессида 400—500°С гача қизийдиган подшипниклар, одатда, Р19 маркали, аммо таркибидаги углерод билан ванадий миқдори камроқ бўлган пўлатдан тайёрланади. Подшипникнинг бундай пўлатдан ясалган деталларини термик ишлаш режими тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни термик ишлаш режими кабидир, бу ҳақда кейинроқ сўзланади.



233- расм. ШХ15 маркали пўлатнинг тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейинги микроскопик тузилиши (ортиқча карбидлар бир текис тақсимланган) × 500.

Шарикли ва роликли подшипник пўлатларига нисбатан жуда юқори талаблар қўйилади, яъни бу пўлатларга металлмас қўшимчалар аралашмаган бўлиши, уларда карбид ликвацияси бўлмаслиги керак, чунки пўлатда бегона қўшимчалар бўлса, подшипникнинг шариги ёки ролиги билан ҳалқасининг бир-бирига уринган нуқтаси нагрузка таъсирида уваланади, бунинг оқибатида эса подшипник узоққа чидамайди. Шу сабабли, ГОСТ 801-60 га биноан, суюқлантириб олинган пўлат ҳар сафар текшириб турилади.

Подшипникларнинг ШХ6, ШХ9, ШХ15 ва ШХ15СГ пўлатларидан ясалган деталларини (шарик, ролик ва ҳалқаларини) термик ишлаш уларни 830—840°С гача қиздириб, мойда тоблаш, сўнгра 150—160° С да 1—2 соат давомида бўшатишдан иборатдир. Подшипник деталлари бундай термик ишлангандан кейин уларнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 62 га етади, структураси эса бўшатилган, жуда майда нинасимон мартенситдан иборат бўлади (233- расм).

Подшипник деталларини термик ишлаш режимига қатъий риоя қилиш зарур, акс ҳолда подшипникнинг сифати ёмонлашади. Масалан, подшипник шариклари (роликлари) ёки ҳалқаларини тоблашда улар сал ортиқча қиздириб юборилса ҳам мартенсит ниналари йириклашиб, пўлат мўрт бўлиб қолади, подшипникнинг тобланган деталлари 150—160°С дан анча юқори температурада бўшатилганда эса уларнинг қаттиқлиги пасайиб, ейилишга чидамлилик хоссаси ёмонлашади.

ШХ15 пўлати тобланганда унда ортиқроқ миқдорда (10—15%) қолдиқ аустенит бўлади, бу аустенит миқдорини камайтириш учун подшипникларнинг прецизион* деталларига —10 дан —20°С гача бўлган температурада (совуқда) ишлов берилади.

Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатлар. Легирланган пўлатлардан ясалган деталларнинг албатта термик ишланиши (тобланиб, сўнгра бўшатилиши) кераклиги юқорида айтиб ўтилди. Термик ишланган пўлат эса термик ишланмаган пўлатдан қиммат туради. Аммо саноатнинг пўлат ишлатадиган шундай тармоқлари ҳам борки, уларда термик ишланган, яъни қиммат турадиган пўлатга эҳтиёж бўлмайди. Саноатнинг бундай тармоқлари жумласига, масалан, қурилиш

* Жуда аниқ қилиб гайёрланган.

саноати, кемасозлик саноатининг баъзи тармоқлари, транспорт машинасозлиги ва бошқалар киради.

Бу саноат тармоқларининг талабларини қиммат турмайдиган, кам легирланган, пухталиги юқорироқ пўлатлар қондиради. Металлургия саноатида бу пўлатлар лист ва ҳар хил профилда қилиб тайёрланади.

Кам легирланган пўлатнинг структураси ферритдан ва озроқ миқдор сорбитсимон перлитдан иборат бўлади. Пўлатда оз миқдорда (1,5—2,5%) легирловчи элементлар бўлиши, бу элементларнинг ферритда эриганлиги ва перлит доналарининг майдалиги пўлатнинг механик хоссаларини бир қадар яхшилайди.

Маълумки, конструкцияларнинг кўпчилик қисми (кўприк фермалари, кема корпуслари, баъзи арматура ва бошқалар) пайвандлаш йўли билан тайёрланади, шунинг учун бу мақсадда ишлатиладиган кам легирланган пўлатларда маълум механик хоссалар бўлишидан ташқари, яхши пайвандланувчанлик хоссалари ҳам бўлиши, пўлат пайвандланганда дарз кетмаслиги, унинг пайвандлашда иссиқлик таъсир этадиган зонасида пайванд чокнинг хоссалари асосий металл хоссаларидан унча фарқ қилмаслиги керак.

Пайвандлашда пўлат икки хил шароитда дарз кетиши мумкин. Булардан бири *қизиган ҳолатда дарз кетиш* бўлса, иккинчиси *совиган ҳолатда дарз кетишдир*. Қизиган ҳолатда дарз кетиш суюқ пўлат кристалланаётган пайтда содир бўлади. Кристаллана бошлаш температураси билан кристалланиб бўлиш температураси (ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи) оралиғи ортган сари пўлатнинг қизиган ҳолатда дарз кетишга мойиллиги ортади. Пўлат таркибида углерод миқдори қанча кўп бўлса, ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи оралиғи шунча кенгаяди. Бинобарин, бу чизиқлар оралиғининг кенгайиши пўлатнинг пайвандланувчанлик хоссасини пасайтиради, яъни қизиган ҳолатда дарз кетишга мойиллигини оширади. Шу сабабли пайвандланадиган конструкциялар учун кам углеродли пўлатлар ишлатилади.

Совиган ҳолатда дарз кетишнинг сабаби шуки, пайванд чок зонасининг тез совиши натижасида шу зонада мартенсит ҳосил бўлади. Кам углеродли пўлатларда бундай ҳодиса рўй бермайди, аммо легирланган пўлатларда, айниқса, кўп углеродли легирланган пўлатларда бу ҳодиса кучли даражада намоён бўлади. Шунинг учун ҳам пайвандланадиган конструкциялар учун кам углеродли ва кам легирланган пўлатлар ишлатилади.

Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатларнинг химиявий таркиби ва механик хоссалари 31-жадвалда кўрсатилган.

Қурилишда кам легирланган пўлатлардан ташқари, таркибида 0,25 гача углерод бўлган легирланмаган пўлатлар ҳам ишлатилиши мумкин. Аммо кам углеродли бундай пўлатларнинг пухталиги пастроқ, шунинг учун улар пайвандланадиган конструкцияларнинг мустаҳкамлигини ҳам чеклаб қўяди. Демак, қурилишда, асосан, кам легирланган пўлатлар ишлатилиши керак.

Пайвандланмайдиган конструкциялар учун кўп углеродли пўлатлар, масалан, 65ГС типидаги пўлатлар ишлатилади.

Легирланган конструкцион пўлатларда бўладиган нуқсонлар. Легирланмаган пўлатларда қандай нуқсонлар бўлса, легирланган пўлатларда ҳам худди шундай нуқсонлар бўлади, аммо фақат легирланган пўлатларгагина хос нуқсонлар ҳам учрайди. Умуман олганда, нуқсонлар легирланган пўлатларда легирланмаган пўлатлардагига қараганда осонроқ ҳосил бўлади. Масалан, пўлатни легирлаш натижасида унинг йирик бирламчи структура ҳосил қилишга мойиллиги ортади, суюқ қо-

31- жадвал

Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатларнинг химиявий таркиби ва механик хоссалари (ГОСТ 5058-57)

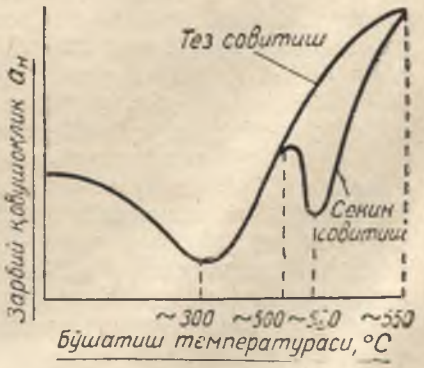
Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида					Прокатнинг қалинлиги (диаметри), *мм* ҳисобида	Механик хоссалари		
	C	Si	Mn	Cr	Zr		σ_b, *кГ/мм²*	$\sigma_{ок}$, *кГ/мм²*	δ_{10}, %
Листлар									
09Г2	≤0,12	0,2—0,4	1,45—1,75	—	—	4—10	47	34	21
14Г	0,12—0,18	0,2—0,4	0,7—1,0	≤0,3	—	4—10	46	29	18
14Г2	0,12—0,18	0,2—0,4	1,2—1,6	≤0,3	—	4—10	48	34	18
19Г	0,16—0,22	0,2—0,4	0,7—1,0	≤0,3	—	4—10	47	40	18
18Г2	0,14—0,20	≥0,55	1,2—1,6	≤0,3	—	4—10	52	36	22
15ГС	0,12—0,18	0,7—0,0	0,9—1,3	≤0,3	—	4—10	50	35	18
14ХГС	0,11—0,17	0,4—0,7	0,9—1,3	0,5—0,8	—	4—10	52	36	20
Чивиқлар									
35ГС	0,30—0,37	0,6—0,9	0,8—1,2	≤0,3	—	12—20	60	40	14
65ГС	0,60—0,68	1,0—1,2	1,0—1,2	—	—	12—20	90	60	6
30ХГ2С	0,26—0,35	0,6—0,9	1,2—1,6	0,6—0,9	—	12—20	90	60	6
20ХГЦ	0,19—0,26	0,4—0,7	1,5—1,9	0,9—1,2	0,07—0,14	11—32	100	70	6

тишма қовушоқлигининг ортиши оқибатида пўлатдан газларни ва металмас қўшимчаларни чиқариб юбориш қийинлашади, пўлат иссиқлик ўтказувчанлигининг пасайиши натижасида пўлатда дарзлар ҳосил бўлиши осонлашади ва ҳоказо. Шу сабабли жуда сифатли махсус пўлат ҳосил қилиш легирланмаган пўлат ҳосил қилишга қараганда анча қийин бўлади.

Легирланган пўлатларда ҳосил бўладиган энг асосий нуқсонлар бўшатишда вужудга келадиган мўртлик, дендрит ликвацияси, флокенлар ва қат-қатликдир.

Бўшатишда вужудга келадиган мўртлик. Легирланган конструкцион пўлатнинг зарбий қовушоқлигига пўлат тобланган-дан кейин уни бўшатиш температураси билан совитиш тезлигининг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик. Легирланган пўлатнинг зарбий қовушоқлигига бўшатиш температурасининг ва совитиш тезлигининг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқ схема тарзида 234- расмда тасвирланган.

Углеродли конструкцион пўлатнинг зарбий қовушоқлиги бўшатиш температурасининг кўтарилиши билан ортиб боради, легирланган конструкцион пўлатнинг зарбий қовушоқлиги эса, аксинча, бўшатиш температурасининг кўтарилиши билан маълум температурагача кўтарилиб, сўнгра пасаяди-да, яна кўтарилади.



234- расм. Легирланган конструкцион пўлатнинг зарбий қовушоқлигига бўшатиш температурасининг ва совитиш тезлигининг таъсири.

Легирланган конструкцион пўлат бўшатиш температурасигача қиздирилиб, сўнгра секин совитилганда зарбий қовушоқликнинг ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқда иккита минимум ҳосил бўлади, булардан бири тахминан 300°С температурада, иккинчиси эса тахминан 550°С температурададир. Демак, легирланган конструкцион пўлат секин совитилганда икки температура соҳасида (550°С чамаси температурада ва 300°С чамаси температурада) мўртлашади. Легирланган пўлатнинг 300°С чамаси температурада мўртлашуви *бўшатишда вужудга келадиган биринчи тур мўртлик* деб, 550°С чамаси температурада мўртлашуви эса *бўшатишда вужудга келадиган иккинчи тур мўртлик* деб аталади.

Мўртликнинг биринчи тури легирланган ҳар қандай пўлат 300°С чамаси температурада бўшатилганда вужудга келади ва пўлатларнинг таркибига ҳам, бўшатиш температурасигача қиздирилгандан кейинги совитиш тезлигига ҳам боғлиқ бўлмайди. Бинобарин, бўшатишда вужудга келадиган мўртликнинг биринчи тури *қайтмас мўртликдир.*

Юқорида айтиб ўтилганидек, мўртликнинг иккинчи тури легирланган пўлат 550°С чамаси температурада бўшатилганда вужудга келади. Иккинчи тур мўртликнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, бу мўртлик легирланган пўлат бўшатиш температурасигача қиздирилгандан кейин уни секин совитиш натижасида намоён бўлади, пўлат тез совитилганда эса унинг зарбий қовушоқлиги пасаймай, балки бўшатиш температурасининг кўтарилиши билан ортиб боради (234-расмга қаранг).

Бўшатишда вужудга келадиган мўртликнинг иккинчи турига легирловчи элементлар ҳам таъсир этади: пўлатнинг иккинчи тур мўртликка мойиллигини марганец билан хром оширади, молибден билан вольфрам анча пасайтиради. Демак, мўртликнинг иккинчи тури совитиш тезлигига ҳам, легирланган пўлатнинг таркибига ҳам боғлиқдир.

Бўшатиш вақтида вужудга келадиган мўртликнинг иккинчи турига қарши курашнинг иккита усули бор, булардан бири бўшатиш температурасигача қиздирилган пўлатни тез совитиш ва иккинчиси пўлатга 0,25—0,45% молибден ёки 0,6—1,2% вольфрам қўшиш усулидир. Агар бу иккала усулдан бир вақтда фойдаланилса, кўнгилдагидек натижаларга эришиш мумкин.

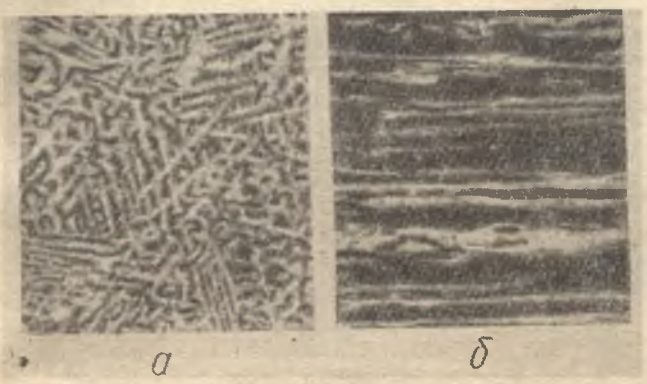
Дендрит ликвацияси. Дендрит ликвациясининг ҳосил бўлиш сабаби китобнинг бош қисмида (101-бет) кўриб ўтилган эди. Пўлатда легирловчи элементлар бўлса, улар суюқ қотишманинг кристалланиш температуралари оралиғини кенгайтиради, диффузия процесслари боришини қийинлаштиради ва дендрит ликвацияси ҳодисасини кучайтиради, яъни суюқ қотишмадан дастлаб ҳосил бўладиган кристаллар миқдори билан кейинроқ ҳосил бўладиган кристаллар миқдори орасидаги фарқни оширади. Легирланган қуйма пўлатдаги дендрит ликвациясини кўрсатувчи структура 235-расм, *а* да тасвирланган.

Бундай пўлат прокатка қилинганда ёки болғаланганда деформация йўналиши бўйлаб чўзилган толалар ҳосил бўлади (235-расм, *б*). Пўлатнинг баъзи механик хоссалари (оқувчанлик чегараси, нисбий торайиши ва зарбий қовушоқлиги) толаларга тик йўналишда толаларга параллел йўналишдагига қараганда пастроқ бўлади. Пўлатдаги дендрит ликвациясини йўқотиш учун бундай пўлат қуймалар анча юқори (1200°С га яқин) температурада узоқ вақт қиздириш йўли билан диффузион юмшатилади.

Флокенлар*. Флокенлар ниҳоятда майда ички дарзлар бўлиб,

* *Флокен* сўзи немисча бўлиб, унинг таржимаси *паға-паға* демакдир.

пўлатнинг синган жойи юзасида паға-паға оқ доғлар (236- расм, *а*), кўндаланг микрошлифда эса дарзлар (236- расм, б) тарзида кўринади. Флокенлар пўлатнинг механик хоссаларини анча пасайтиради, шунинг учун пўлатда бундай нуқсон бўлишига йўл қўйиш ярамайди. Пўлатнинг пухталик даражаси қанчалик юқори бўлса, флокенлар шунчалик



235- расм. Легирланган пўлат структурасидаги нуқсонлар:
а — дендрит ликвацияси; *б* — йўл-йўллик (Совер). × 130.



236- расм. Пўлатдаги флокенлар:
а—пўлатнинг синган жойи юзасидаги кўриниши; *б* —кўндаланг микрошлифдаги кўриниши.

хавфлидир. Флокенлар барча пўлатларда учраши мумкин, аммо хром билан легирланган пўлатларда, масалан, хромли, хром-никелли, хром-никель-вольфрамли, хром-марганецли ва бошқа пўлатларда айниқса кўп учрайди. Қуйма пўлатда флокенлар камдан-кам бўлади. Улар прокатланган ва болғаланган пўлатларга хос нуқсондир.

Агар флокен ҳосил бўлишига мойил пўлат қиздириб туриб босим билан ишлангандан (прокаткаланган ёки болғалангандан) кейин 200°С температурадан нормал температурагача тез совитилса, бу пўлатда флокенлар ҳосил бўлиши мумкин. Агар пўлат секин совитилса, флокенлар ҳосил бўлмайди. 200°С дан юқори температурада ҳам, пўлатни совитиш тезлиги қандай бўлишидан қатъи назар, флокенлар ҳосил бўлмайди.

Флокенлар ҳосил бўлишига сабаб, пўлат суюқлантириб олинаётганда унда эриган водороддир, бу водороднинг бир қисми пўлат қотганда ҳам сақланиб қолади. Бундай пўлат қиздириб туриб босим билан ишлангандан кейин секин совитилса, водород эритмадан газ ҳолида ажралиб чиқиб, пўлатдан ташқарига диффузиланиб улгуради ва бунда флокенлар ҳосил бўлмайди, агар пўлат тез совитилса, водород пўлатдан чиқиб кетишга улгурмай қолади ва, шунинг учун, пўлатда катта ички кучланишлар ҳосил қилади, бу ички кучланишлар эса дарзлар (флокенлар) ҳосил бўлишига олиб боради.

Қуйма пўлатда флокенлар камдан-кам ҳоллардагина ҳосил бўлади, чунки эритмадан ажралиб чиққан водород қуйма пўлатнинг кўпдан-кўп ғовакларида тўпланиб, ички кучланишлар ҳосил қилмайди, ички кучланишлар бўлмаганда эса флокенлар ҳам ҳосил бўлмайди.

Қуйма пўлатда флокенлар ҳосил бўлишининг олдини олиш учун пўлат шундай шароитда суюқлантирилиши керакки, бу шароитда пўлатга водород ўтмайдиган бўлсин. Қиздириб туриб босим билан ишланган пўлатда флокенлар бўлмаслиги учун бундай пўлат 200°С температурадан нормал температурагача секин совитилиши керак.



237- расм. Пўлатдаги қат-қатлик.

Пўлатда ҳосил бўлган флокенларни такрор болғалаш ёки прокаткалаш йўли билан йўқотиш мумкин. Флокенли пўлат босим билан такрор ишланганда ундаги флокенлар жипслашиб кетади.

Қ а т-қ а т л и к. Бу нуқсон ҳам, худди флокенлар каби, пўлат қиздириб туриб босим билан ишлангандан кейин ҳосил бўлади. Пўлатда қатқатлик ҳосил бўлишига сабаб қуйма пўлатдаги металлмас қўшилмалар, пуфакча ва ғоваклардир, булар пўлат болғаланганда ёки прокатланганда чўзилиб, пўлатни қатламларга ажратиб қўяди (237- расм).

Қат-қатлик пўлатнинг пухталигига таъсир қилмай, унинг қовушоқлигини, асосан, кўндалангига торайиш хоссасини пасайтиради.

4- §. АСБОБСОЗЛИК ПЎЛАТЛАРИ

Асбобсозлик пўлатлари хилма-хил асбоблар тайёрлаш учун ишлатилади. Бу асбобларни учта асосий группага: кесувчи асбоблар группаси, ўлчов асбоблари группаси ва штамплар группасига бўлиш мумкин. Кесувчи асбоблар ҳам, ўз навбатида, иккита группачага, енгил шароитда ишлайдиган асбоблар группачаси билан оғир шароитда ишлайдиган асбоблар группачасига бўлинади.

Ана шу асбобларга нисбатан қўйиладиган талабларга, яъни уларнинг қандай шароитда ишлашига қараб, асбобсозлик пўлатларига нисбатан ҳам маълум талаблар қўйилади.

Кесувчи асбоблар жумласига кескичлар, пармалар, протяжкалар, метчиклар, фрезалар, плашкалар ва бошқалар киради. Кесиш процессида асбобнинг кесувчи қисми кесилаётган деталга ботиб, унинг маълум қалинликдаги қатламини қиринди тарзида кесиб туширади. Бинобарин, кесувчи асбобнинг тиғи кесилаётган материалдан анча қаттиқ ва мустаҳкам бўлиши керак. Бундан ташқари, кесиш процессида асбобнинг кесувчи қисми кесиб туширилаётган қириндига доимо уриниб туради, яъни асбобнинг кесувчи қисми билан қиринди орасида узлуксиз ишқаланиш вужудга келади, бунинг натижасида эса асбобнинг кесувчи қисми ейилиб боради. Шу сабабли, кесувчи асбобнинг тиғи жуда қаттиқ ва мустаҳкам бўлиш билан бирга, унинг ейилишга чидамлилик хоссаси ҳам юқори бўлиши керак. Агар кесиб ишланадиган материал нисбатан юмшоқ, масалан, ёғоч, баъзи пластмассалар, рангдор металлар бўлса, ёки пўлат ва чўянни ишлашда кесиш тезлиги ҳамда қириндининг кўндаланг кесими кичик бўлса, кесиш процессида вақт бирлиги ичида сарф қилинадиган механик энергия миқдори ҳам кичик бўлади. Башарти, кесиб ишланадиган материал қаттиқ, кесиш тезлиги юқори,

кесиб тушириладиган қириндининг қўндаланг кесими катта бўлса, вақт бирлиги ичида сарфланадиган механик энергия миқдори ҳам катта бўлади. Маълумки, кесиш процессида механик энергия иссиқлик энергиясига айланади, демак, кесиш шароити оғир бўлганда асбобнинг кесувчи қирраси қаттиқ қизийди. Шу сабабли бундай шароитда ишлайдиган кесувчи асбобларда қаттиқлик, ейилишга чидамлилик хоссаларидан ташқари, узоқ вақт қизиганда тиғининг қаттиқлигини сақлаб қолиш, яъни юқори температурага чидамлилик хоссалари ҳам бўлиши керак.

Тайёрланаётган деталларнинг ўлчамларини текшириб кўриш учун ўлчов асбоблари ишлатилади. Деталларни ўлчашда асбобнинг иш қисми текширилаётган деталь юзига бевосита тегади, бунинг натижасида эса асбобнинг иш қисми маълум даражада ейилади.

Штамплар материалларни қиздирилган ҳолда ёки совуқлайин деформациялаш учун ишлатилади. Демак, штампларнинг ишлаш процессида уларга термик ва зарбий нагрузкалар таъсир этади, штамплар эса ана шу таъсирларга бардош бера оладиган бўлиши керак.

Юқорида баён этилганлардан шундай хулоса келиб чиқадики, кесувчи асбоблар, ўлчов асбоблари ва штамплар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлатлар шу асбобларга нисбатан қўйиладиган талабларни қондириши, яъни енгил шароитда ишлайдиган кесувчи асбоблар қаттиқ, ейилишга чидамли пўлатлардан, оғир шароитда ишлайдиган кесувчи асбоблар қаттиқ, ейилишга ва юқори температурага чидамли пўлатлардан, юқори температура шароитида ишлайдиган штамплар пухта, қовушоқ, ейилишга чидамли ва оловбардош пўлатлардан, совуқлайин деформациялаш учун ишлатиладиган штамплар эса пухта ва ейилишга чидамли, етарли даражада қовушоқ, тоблашда кам деформацияланадиган пўлатлардан тайёрланиши керак. Бинобарин, турли асбоблар учун турлича пўлатлар ишлатилади.

Асбобсозлик пўлатлари тўртта категорияга бўлинади: углеродли пўлатлар, легирланган пўлатлар, тезкесар пўлатлар, штамп пўлатлари.

Асбобсозлик материалларининг яна бир группаси — қаттиқ қотишмалар деб аталадиган группаси ҳам борки, биз уларни легирланган махсус қотишмаларга бағишланган бобчада кўриб чиқамиз. Қаттиқ қотишмалардан айниқса оғир шароитда (жуда тез кесиш керак бўлганда) ишлатиладиган кесувчи асбоблар тайёрланади.

Штамп пўлатларидан штамплар, углеродли ва легирланган пўлатлардан енгил шароитда ишлайдиган кесувчи асбоблар ҳамда ўлчов асбоблари, тезкесар пўлатлардан эса оғир шароитда ишлайдиган кесувчи асбоблар тайёрланади.

Углеродли асбобсозлик пўлатлари. Пўлатларнинг бу группачасига углеродли асбобсозлик пўлатларининг ҳаммаси*, шунингдек, тобланиш чуқурлиги кичик, яъни углеродли асбобсозлик пўлатлариники каби кам легирланган баъзи пўлатлар киради. Аммо биз бу ерда фақат углеродли асбобсозлик пўлатларнигина кўриб ўтамиз, тобланиш чуқурлиги кичик кам легирланган баъзи пўлатлар билан эса легирланган асбобсозлик пўлатларига бағишланган темада танишиб чиқамиз.

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг химиявий таркиби 32-жадвалда, қаттиқлиги эса 33-жадвалда кўрсатилган.

---

* Углеродли асбобсозлик пўлатлари У7, У8, У9 ,У10, У11, У12 ва У13 билан маркаланади. Маркадаги У ҳарфи пўлатнинг углеродли эканлигини, ҳарфдан кейинги рақам эса пўлат таркибидаги углероднинг ўртача миқдорини процентнинг ўндан бир улушларида ифодалайди. Агар пўлат маркасида рақамдан кейин А ҳарфи бўлса, пўлатнинг юқори сифатли эканлигини билдиради, масалан, У7А, У8А, У9А ва ҳоказо.

32-жадвал

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг химиявий таркиби
(ГОСТ 1435-54)

Пўлатларнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	C	Mn	Si	S	P
				кўпи билан	
У7	0,65—0,74	0,20—0,40	0,15—0,35	0,030	0,035
У7А	0,65—0,74	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У8	0,75—0,84	0,20—0,40	0,15—0,35	0,030	0,035
У8А	0,75—0,84	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У8Г	0,80—0,90	0,35—0,60	0,15—0,35	0,030	0,035
У8ГА	0,80—0,90	0,35—0,60	0,15—0,30	0,020	0,030
У9	0,85—0,94	0,15—0,35	0,15—0,35	0,030	0,035
У9А	0,85—0,94	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У10	0,95—1,04	0,15—0,35	0,15—0,35	0,030	0,035
У10А	0,95—1,04	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У11	1,05—1,14	0,15—0,35	0,15—0,35	0,030	0,035
У11А	1,05—1,14	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У12	1,15—1,24	0,15—0,35	0,15—0,35	0,030	0,035
У12А	1,15—1,24	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030
У13	1,15—1,35	0,15—0,35	0,15—0,35	0,030	0,035
У13А	1,25—1,35	0,15—0,30	0,15—0,30	0,020	0,030

Эслатма. 1. Г ҳарфи таркибида марганец миқдори кўпроқ бўлган пўлатни билдиради.

2. Сифатли пўлатда хром миқдори 0,20% дан, никель миқдори 0,25% дан ва мис миқдори 0,25% дан, юқори сифатли пўлатда эса хром миқдори 0,15% дан, никель миқдори 0,20% дан ва мис миқдори 0,20% дан ортмаслиги керак.

33-жадвал

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг қаттиқлиги
(ГОСТ 1435-54)

Пўлатнинг маркаси	Юмшатилгандан кейинги қаттиқлиги *HB*	Сувда тобланғандан кейинги қаттиқлиги *HRC*, камида
У7 ва У7А	187	62
У8 ва У8А	187	62
У8Г ва У8ГА	187	62
У9 ва У9А	192	62
У10 ва У10А	197	62
У11 ва У11А	207	62
У12 ва У12А	207	62
У13 ва У13А	207	62

Углеродли асбобсозлик пўлатлари сувда тобланади, улардан ясалган асбобларнинг ўзаги, одатда, тобланмай қолади. Асбоб ясаш учун пўлат танлашда, асбоб лойиҳалашда ва уни термик ишлашда углеродли асбобсозлик пўлатларининг ана шу хоссасини назарда тутиш керак.

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг тобланиш чуқурлиги кичик эканлигини юқорида айтиб ўтган эдик. Буни У11 маркали (таркибида 1,05% углерод бўлган) пўлат мисолида яққол кўрса бўлади. 238- расмда У11 пўлатидан олинган намуналар сувда тобланганда уларнинг кўндаланг кесимлари бўйлаб қаттиқликнинг қандай тақсимланиши тасвирланган.

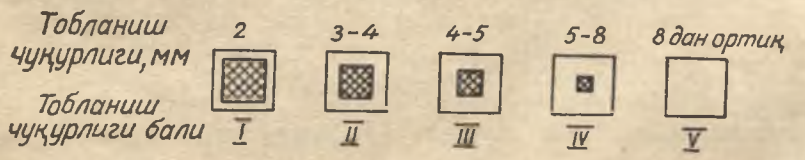
238- расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, У11 пўлати тез (сувда) совитилишига қарамай, унинг ўзагида мартенсит структура ҳосил бўлмайди, яъни намунанинг ўзаги тобланмай қолади.

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг тобланиш чуқурлиги ниҳоятда хилма-хил бўлади. Ҳатто бир марка пўлатнинг ҳар хил қуймалари ҳам тобланиш чуқурлиги жиҳатидан бир-биридан фарқ қилади. Шунинг учун углеродли асбобсозлик пўлатларининг тобланиш чуқурлиги 5 балли шкала асосида текшириб кўрилади (239- расм). Кесимининг ўлчами 20×20 *мм* дан бўлган намуналар 800°С гача қиздирилиб, сўнгра сувда тобланади. Шундан кейин намуналар синдирилиб, тобланиш чуқурлиги шкалага солиштириб кўрилади. I ва V балли пўлатлардан асбоблар ясаш тавсия қилинмайди, чунки I балли пўлат тобланганда унинг сиртқи қатламида юмшоқ (тобланмаган) жойлар қолса, V балли пўлат тобланганда дарз кетиши мумкин.



238- расм. У11 пўлатидан олинган намуналарнинг тобланиш чуқурлигини кўрсатувчи эгри чизиқлар (И. С. Гаев).

Е. И. Малинкина тадқиқотларига кўра, углеродли асбобсозлик пўлатидан ясалган асбоб тобланмаган ўзагининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 40—50 бўлганда яхши натижалар беради. Агар асбоб ўзагининг қаттиқлиги ундан юқори бўлса, асбобнинг сиртқи қатламида дарзлар, агар паст бўлса, тобланган қатлам билан тобланмаган ўзак чегарасида ҳалқасимон дарзлар ҳосил бўлиши мумкин. Углеродли асбобсозлик пўлатлари тобланганда ўзагининг **канчалик** қаттиқ бўлиши пўлатнинг тобланиш чуқурлигига



239- расм. Углеродли асбобсозлик пўлатларининг тобланиш чуқурлиги шкаласи (А. П. Гуляев).

ва совитувчи муҳитгагина боғлиқ бўлиб қолмай, балки кесимининг ўлчамига ҳам боғлиқ бўлганлиги учун бундай пўлатлардан асбоблар тайёрлашда юқорида айтилган факторларнинг ҳаммасини ҳисобга олиш ва тегишли баллга жавоб берадиган пўлат ишлатиш керак.

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг механик хоссалари ва уларни термик ишлаш режимлари пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқдир. У7 маркали пўлат таркибида 0,65—0,74% углерод бўлади (33- жадвалга қаранг), демак, бу пўлатлар эвтектоидгача бўлган пўлатлардир. Маълумки, эвтектоидгача бўлган пўлатларни тоблаш учун улар Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилади. Бинобарин, У7 пўлатидан ясалган асбобни тоблаш учун у Ac_3 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилиши керак. У8 ва У8Г пўлатлари эвтектоид, У9, У10, У11, У12 ва У13 пўлатлари эса эвтектоиддан кейинги

пўлатлар жумласидан бўлгани учун бу пўлатлардан ясалган асбобларни тоблаш учун улар, Fe — Fe_3C ҳолат диаграммасига биноан, Ac_1 критик нуқтадан бир оз юқори температурагача қиздирилади. Маълум температурагача қиздирилиб, сўнгра сувда совитилса, У7, У8, У9 пўлатларининг структураси мартенситдан, У10, У11, У12 ва У13 пўлатларининг структураси эса мартенсит билан иккиламчи цементитдан иборат бўлади. Эвтектоиддан кейинги пўлатлар тоблангандан кейин уларда иккиламчи цементитнинг бўлиши бу пўлатлардан ясалган асбобларнинг ейилишга чидамлилигини оширади.

Эвтектоиддан кейинги пўлатларнинг энг яхши дастлабки структураси донадор перлит (цементит) бўлганлиги учун бундай пўлатлар донадор перлит ҳосил қилиш учун қўлланиладиган режимларнинг бири билан юмшатилади. Углеродли асбобсозлик пўлатлари тоблангандан кейин улардаги мартенсит кристалл панжарасининг тетрагоналлиги ва ҳосил бўлган ички кучланишлар пўлатни анча мўрт қилиб қўяди, шу сабабли улар тоблангандан кейин албатта бўшатилиши керак. Углеродли асбобсозлик пўлатларидан ясалган асбоблар тоблангандан кейин уларни бўшатиш температураси шу асбобларнинг вазифасига ва, демак, талаб этиладиган қаттиқлигига боғлиқ бўлади.

Углеродли асбобсозлик пўлатларининг тахминан қандай асбоблар тайёрлаш учун ишлатилишини келтириб ўтамиз.

У7 маркали пўлат — зарб ва турткилар таъсир этадиган, қаттиқлиги мўътадил, аммо қовушоқлик талаб этиладиган асбоблар, масалан, зубило, темирчилик асбоблари, темирчилик штамплари, темирчилик ва слесарлик болғалари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

У8 маркали пўлат — зарб таъсир этадиган, қаттиқлиги ҳамда қовушоқлиги юқори бўлиши талаб этиладиган асбоблар, масалан, металл кесар пичоқ ва қайчилар, пуансонлар, матрицалар, дурадгорлик асбоблари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

У9 маркали пўлат — қаттиқ ва бир қадар қовушоқ бўлиши талаб этиладиган асбоблар, масалан, сумбалар, кернерлар, ёғоч қирқиш учун ишлатиладиган асбоблар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

У10 маркали пўлат — қаттиқ зарб таъсир этмайдиган, кесувчи қирралари жуда қаттиқ, аммо бир қадар қовушоқ бўлиши талаб этиладиган асбоблар, масалан, металл тешиш пармалари, токарлик ва рандалаш кескичлари, метчиклар, развёрткалар, фрезалар, бурғилаш асбоблари, плашкалар, фасон штамплар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

У11 маркали пўлат — ҳар хил метчиклар, фрезалар, пармалар, развёрткалар, зенкерлар, микрометрнинг микровинтлари, силлиқ калибрлар, резьба калибрлари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

У12 маркали пўлат — зарб таъсир этмайдиган ва жуда қаттиқ бўлиши талаб этиладиган асбоблар, масалан, токарлик ва рандалаш кескичлари, пармалар, метчиклар, плашкалар, устаралар, калибрлар, скобалар, развёрткалар ва бошқалар тайёрлашда ишлатилади.

У13 маркали пўлат — энг юқори қаттиқлик талаб этиладиган, ейилишга жуда чидамли, зарб таъсир этмайдиган асбоблар, масалан, қаттиқ металлар учун ишлатиладиган кескичлар, сим тортиш асбоблари, устаралар, эговлар, металл кесувчи ҳар хил асбоблар, ўлчов асбоблари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

Легирланган асбобсозлик пўлатлари. Асбобсозлик пўлатларининг бу группасига таркибида 1% дан ортиқ легирловчи элементлар бўлган пўлатлар киради. Легирланган асбобсозлик пўлатларининг тобланиш чуқурлиги углеродли асбобсозлик пўлатлариникидан юқоридир.

Легирланган асбобсозлик пўлатларининг химиявий таркиби 34-жадвалда, қаттиқлиги эса 35-жадвалда берилган.

34-жадвал

Легирланган асбобсозлик пўлатларнинг химиявий таркиби (ГОСТ 5950-51)

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида						
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	W
X12*	2—2,3	≤0,35	≤0,4	11,5—13,0	—	—	—
X12M*	1,45—1,7	≤0,35	≤0,4	11,0—12,5	0,15—0,3	0,4—0,6	—
ХГ	1,3 —1,5	0,45—0,7	≤0,35	1,3—1,6	—	—	—
Х	0,95—1,1	≤0,4	≤0,35	1,3—1,6	—	—	—
Х09	0,95—1,1	≤0,4	≤0,35	0,75—1,05	—	—	—
9Х	0,8 —0,95	0,25—0,35	0,25—0,45	1,4—1,7	—	—	—
Х05	1,25—1,4	0,2 —0,4	≤0,35	0,4—0,6	—	—	—
7Х3	0,6 —0,75	0,2 —0,4	≤0,35	3,2—3,8	—	—	—
8Х3	0,76—0,85	0,2 —0,4	≤0,35	3,2—3,8	—	—	—
9ХС	0,85—0,95	0,3 —0,6	1,2 —1,6	0,95—1,25	—	—	—
6ХС	0,6 —0,7	≤0,4	0,6 —1,0	1,0—1,3	—	—	—
4ХС	0,35—0,45	≤0,4	1,2 —1,6	1,3—1,6	—	—	—
ХГС	0,95—1,1	0,8 —1,2	0,5 —1,0	1,4—1,8	0,2—0,4	—	—
Ф	0,95—1,05	0,2 —0,4	≤0,35	—	0,15—0,3	—	—
8ХФ	0,75—0,85	0,2 —0,4	≤0,34	0,5—0,8	0,15—0,3	—	—
85ХФ	0,8 —0,9	0,3 —0,6	≤0,35	0,45—0,7	0,15—0,3	—	—
В1	1,05—1,25	0,2 —0,4	≤0,35	0,1—0,3	0,2—0,5	—	0,8—1,2
3Х2В8	0,3 —0,4	0,2 —0,4	≤0,35	2,2—2,7	—	—	7,5—9,0
4Х8В2	0,35—0,45	0,2 —0,4	≤0,35	7,0—9,0	0,15—0,3	—	2,0—3,0
ХВ5	1,25—1,5	≤0,3	≤0,30	0,4—0,7	—	—	4,5—5,5
4ХВ2С	0,35—0,44	0,2 —0,4	0,6 —0,9	1,0—1,3	—	—	2—2,5
5ХВ2С	0,45—0,54	0,2 —0,5	0,5 —0,8	1,0—1,3	—	—	2—2,5
6ХВ2С	0,55—0,65	0,2 —0,4	0,5 —0,8	1,0—1,3	—	—	2,2—2,7
ХВГ	0,9 —1,05	0,8 —1,1	0,15—0,35	0,9—1,2	—	—	1,2—1,6
9ХВГ	0,85—0,95	0,9 —1,2	0,15—0,35	0,5—0,8	—	—	0,5—0,8
5ХВГ	0,55—0,7	0,9 —1,2	0,15—0,35	0,5—0‘8	—	—	0,5—0,8
5ХНМ	0,5 —0,6	0,5 —0,8	≤0,35	0,5—0,8	—	0,15—0,3	—
5ХГМ	0,5 —0,6	1,2 —1,6	0,25—0,65	0,6—0,9	—	0,15—0,3	—

Эслатма. 1. S нинг ҳам, P нинг ҳам миқдори 0,03% ва ундан кам бўлади.

2. X12 ва X12M пўлатларида Ni миқдори 0,35% дан, 9Х, 7Х3, 8Х3, 9ХС, 4ХС, ХГС, 8ХФ, Ф, 3Х2В8, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, ХВГ, 5ХВГ, 5ХГМ пўлатларида эса 0,25% дан ортмайди.

3. 5ХНМ пўлатида 1,4 — 1,8% Ni бўлади.

* X12 ва X12M пўлатлари ўрнига X12Ф1 пўлати кўп ишлатилади (унинг таркибида 1,2—1,4%C, 0,35% ва ундан кам Mn, 0,4% ва ундан кам Si, 11,0—12,5% Cr, 0,7—0,9% V бўлади).

Нормал легирланган асбобсозлик пўлатларидан тайёрланган асбоблар мойда, тобланиш чуқурлиги кичик бўлган (кам легирланган) пўлатлардан ясалган асбоблар эса сувда тобланади (35-жадвалга қаранг). Мойда, тузда (агар поғонали усулда тобланса) тобланган асбобларнинг тобланиш чуқурлиги, одатда, ўзагигача етади.

Легирланган асбобсозлик пўлатларидан ясалган асбобларнинг совиш тезлиги кичик бўлганлиги учун уларда дарзлар ҳосил бўлиш ва уларнинг тоб ташлаш хавфи камаяди, бу эса мураккаб шаклли кўпгина асбоблар учун ниҳоятда муҳимдир.

Пўлатларни легирлаш учун, маълумки, ҳар хил элементлар ишлатилади. Бу элементлар пўлатнинг механик хоссаларига турлича таъсир этади. Шу муносабат билан, легирланган асбобсозлик пўлатларини уч группага бўлиш мумкин.

Биринчи группага таркибида ўрта ҳисоб билан 1,0—1,5% хром бўлган одатдаги легирланган пўлатлар киради. Бундай пўлатларда хром бўлиши уларнинг тобланиш чуқурлигини оширади. Агар биринчи группа пўлатларига кремний қўшилса, уларнинг тобланиш чуқурлиги яна ортади, шу билан бирга, бўшашга бардош бериш хоссаси ҳам кўтарилади.

35- ж а д в а л

Легирланган асбобсозлик пўлатларининг қаттиқлиги
(ГОСТ 5950-51)

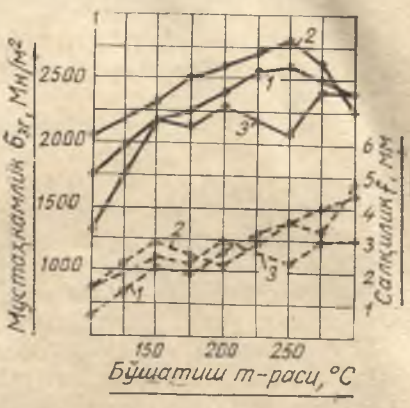
Пўлатнинг маркаси	Тобланмаган пўлатнинг қаттиқлиги *HB*	Тобланган пўлат	
		тоблаш температураси ва совитувчи суюқлик (с. — сув, м. — мой)	қаттиқлиги *HRC*
Х12	269—217	950—1000, м,	60
Х12М	255—207	950—1000, м.	58
ХГ	241—197	800—830, м.	61
Х	229—187	830—860, м.	62
Х09	229—179	830—860, м.	62
9Х	217—179	820—850, м.	62
Х05	241—187	780—810, с.	64
7Х3	229—187	850—880, м.	54
8Х3	255—207	850—880, м.	55
9ХС	241—197	820—860, м.	56
6ХС	229—187	840—860, м.	56
4ХС	207—170	880—900, м.	47
ХГС	255—207	820—860, м.	62
Ф	217—179	780—820, с.	62
8ХФ	207—170	800—850, с.	61
85ХФ	258—207	840—860, с.	42
В1	229—187	800—850, с.	62
3Х2В8	255—207	1075—1125, с.	46
4Х8В2	255—207	1025—1075, м.	45
ХВ5	285—229	800—820, с.	65
4ХВ2С	217—179	850—900, с.	53
5ХВ2С	255—207	860—900, м.	55
6ХВ2С	285—229	860—900, м.	57
ХВГ	255—207	800—830, м.	62
9ХВГ	241—197	800—830, м.	62
5ХВГ	217—179	850—900, м.	57
5ХНМ	241—197	830—860, м.	47
5ХГМ	241—191	820—850, м.	50

Асбобсозлик пўлатларининг механик хоссалари бўшатиш температурасига боғлиқдир. Бундай боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар 240-расмда тасвирланган.

240-расмдан кўриниб турибдики, асбобсозлик пўлатларидан тайёрланган кесувчи асбоблар паст (140—200°С) температурада бўшатилса, асбобларнинг мустаҳкамлиги ва қовушоқлиги ортади. Бунда қаттиқлиги бир оз пасаяди, чунки мартенсит таркибидаги углерод миқдори камаяди.

Легирланган асбобсозлик пўлатларининг иккинчи группасига таркибида кремний миқдори нормал, аммо марганец миқдори кўпроқ бўлган пўлатлар киради. Бундай пўлатларнинг таркибида марганец миқдорининг кўпроқ бўлиши уларнинг тоблаш вақтида деформацияланишини пасайтиради, чунки қолдиқ аустенитнинг миқдори ортади. Шунинг учун бундай пўлатларни кам деформацияланадиган асбобсозлик пўлатлари деб аташ мумкин.

Учинчи группага вольфрам билан легирланган анча қаттиқ пўлатлар киради. Асбобсозлик пўлатларининг вольфрам билан легирланиши ортиқча карбид фазасининг доналарини майдалаштириб, пўлатларнинг қаттиқлигини оширади. Учинчи группа пўлатларининг тобланиш чуқурлиги биринчи ва иккинчи группа пўлатлариникига қараганда анча паст бўлгани учун уларни углеродли асбобсозлик пўлатлари қаторига киритиш мумкин. Учинчи группа пўлатларини сувда ҳам, мойда ҳам тоблаш мумкин. Бу пўлатлар мойда тобланса, уларнинг қаттиқлиги анча юқори бўлади. Масалан. В1 пўлати сувда тобланиб, сўнгра 100°—120°С температурада бўшатилса, унинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 68 га, ХВ5 пўлатники эса 70 га етади*. Бу пўлатлар мойда тобланиб, сўнгра 100—120°С температурада бўшатилса, уларнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 64—65 дан ошмайди. Сувда тобланган пўлат қаттиқлигининг мойда тобланган пўлат қаттиқлигидан юқори бўлишига сабаб шуки, пўлат сувда тобланганда мартенситга айланмай қоладиган аустенит миқдори мойда тоблангандагига қараганда кам бўлади, дастлаб ҳосил бўлган мартенсит эса бўшашга улгура олмайди, чунки аустенитнинг мартенситга айланиш температуралари интервалида пўлат тез совийди.



240- расм. Бўшатиш температурасининг асбобсозлик пўлатлари механик хоссаларига таъсири:
1 — У11 пўлати; *2* — Х пўлати; *3* — 9ХС пўлати. —— $\sigma_{эг}$; - - - *f*

Легирланган асбобсозлик пўлатларидан ясалган асбоблар талаб этиладиган қаттиқлик ва қовушоқликка қараб, 120—300°С температураларда бўшатилади. Агар асбобнинг қаттиқлигини юқори даражада сақлаб қолиш зарур бўлса, бу асбобни бўшатиш температураси 150—160°С дан ошмаслиги керак, ана шу температураларда бўшатилган асбобнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 62 дан кам бўлмайди. Агар асбобнинг қовушоқлигини юқори қилиш зарур бўлса, бўшатиш температураси 300°С га етказилиши мумкин, аммо бунда асбобнинг қаттиқлиги (пўлат маркасига қараб) Роквелл бўйича 58—60 га тушиб қолади.

Энди легирланган асбобсозлик пўлатларидан баъзиларининг нималарга ишлатилиши билан қисқача танишиб чиқайлик.

Х ва Х09 маркали пўлатлардан эгов тишлари кертиладига зубилолар, жуда қаттиқ кулачоклар, эксцентриклар ва бармоқлар, силлиқ цилиндрик калибрлар, токарлик, рандалаш, тиш ўйиш кескичлари ва бошқалар тайёрланади.

В1 маркали пўлатдан спираль пармалар, метчиклар, развёрткалар ва бошқа кесувчи асбоблар тайёрланади.

9ХС маркали пўлат — парма, развёртка, метчик, плашка, муҳр (клеймо) ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

ХГ маркали пўлат — тобланганда кам деформацияланиши керак бўлган асбоблар: ўлчов асбоблари, калибрлар, лекалолар, узун метчиклар, плашкалар, фрезалар, пластик массалар учун пресс қолиплар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

---

* 35-жадвалда легирланган асбобсозлик пўлатларининг тоблангандан кейин ГОСТда гарантияланган, яъни минимум қаттиқлиги берилган.

Х12, Х12М ва Х12Ф1 маркали пўлатлардан совуқлайин штамплаш учун ишлатиладиган, ишқаланишга жуда яхши бардош берадиган штамплар, матрица ва пуансонлар, эталон шестернялар, сим тортиш кўзлари (фильералар) ва бошқа асбоблар тайёрланади.

9Х маркали пўлатдан совуқлайин прокатлаш жўвалари, клеймо ва сумбалар, совуқлайин чўктириш учун ишлатиладиган матрица ва пуансонлар, ёғоч ишлаш асбоблари ва бошқалар тайёрланади.

Х05 маркали пўлат — устаралар ва хавфсиз устара тиғлари, хирургия асбоблари, ўймакорлик асбоблари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

7Х3 ва 8Х3 маркали пўлатлардан қиздириб туриб чўктириш матрицалари, қиздириб туриб эгиш ва қирқиш пуансонлари ва бошқалар тайёрланади.

6ХС маркали пўлатдан пневматик зубилолар, совуқлайин штамплаш учун ишлатиладиган кичикроқ штамплар ва бошқалар тайёрланади.

4ХС маркали пўлатдан зубилолар, металларни қиздириб туриб ва совуқлайин қирқиш учун ишлатиладиган қайчилар, қиздириб туриб қолиплаш учун ишлатиладиган штамплар тайёрланади.

ХГС маркали пўлат — тобланганда унча тоб ташламаслиги керак бўлган ўлчов асбоблари тайёрлаш учун ишлатилади.

Ф маркали пўлатдан чақа-танга зарблаш учун ишлатиладиган штамплар, совуқлайин болт, парчин мих ва гайкалар тайёрлаш учун ишлатиладиган асбоблар тайёрланади.

8ХФ маркали пўлатдан металларни совуқлайин қирқиш учун ишлатиладиган пичоқлар, тахта (лист) металларнинг четларини совуқлайин қирқиш учун ишлатиладиган матрица ҳамда пуансонлар ва бошқалар тайёрланади.

85ХФ маркали пўлат — рамали арралар тайёрлаш учун ишлатилади.

ХВ5 маркали пўлатдан қаттиқ материалларни мўътадил тезлик билан кесиш учун ишлатиладиган кескич ва фрезалар, жуда оғир шароитда ишлайдиган ўймакорлик кескичлари ва бошқалар тайёрланади.

4ХВ2С маркали пўлатдан пневматик асбоблар, зубилолар, алюминий ва магний қотишмаларидан босим остида деталлар қуйиш учун ишлатиладиган пресс қолиплар ва бошқалар тайёрланади.

ХВГ маркали пўлат — тобланганда унча тоб ташламаслиги керак бўлган ўлчов асбоблари ва кесувчи асбоблар, резьба калибрлари, протяжкалар, узун метчиклар, узун разверткалар, махсус фрезалар, плашкалар ва бошқа асбоблар тайёрлаш учун ишлатилади.

5ХНМ ва 5ХГМ маркали пўлатлардан болға штамплари ва бошқа асбоблар тайёрланади.

Тезкесар пўлатлар. Оғир (кесиш тезлиги юқори, кесиш чуқурлиги катта) шароитда ишлайдиган кескичлар тайёрланадиган пўлатлар тезкесар пўлатлар бўлади. Тезкесар пўлатларда қизиган ҳолда қаттиқлигини сақлаш, яъни юқори температураларга бардош бериш хусусияти бўлиши керак. Тезкесар пўлатдан ясалган кескич, парма, фреза ва бошқа кесувчи асбобларнинг иш сифати шу асбоблар ясалган тезкесар пўлатнинг сифатига, кесувчи асбобларнинг қанчалик тўғри ва қанчалик яхши тайёрланганлигига ҳамда уларнинг қанчалик тўғри термик ишланганлигига боғлиқ бўлади.

Тезкесар пўлатни ўрганишдан олдин шу пўлатдан ясалган кесувчи асбобларнинг: кескич, фреза, парма ва бошқаларнинг қандай шароитда ишлаши билан танишиб чиқайлик.

Маълумки, кесиб ишлашда заготовкадан маълум қалинликдаги қиринди кесиб туширилади. Қиринди кесиб тушириш учун эса механик

иш сарф қилинади, кесиш процессида бу иш иссиқликка айланади, иссиқлик эса кесиб ишланаётган заготовкани, қириндини, кескични қиздиради ва қисман ташқарига тарқалади. Бундан ташқари, кесиш процессида қиринди кесувчи асбобнинг олдинги юзасини, заготовканинг қириндидан кейинги юзаси эса кесувчи асбобнинг кетинги юзасини едиради (241-расм). Пўлатни кесиб ишлашда кесувчи асбобнинг кетинги юзаси унча едирилмайди, олдинги юзаси эса кучли едирилиб, бунинг оқибатида ўйиқ ҳосил бўлади.



241-расм. Қириндининг ишқалаши натижасида кесувчи асбобнинг олдинги юзасида ўйиқ ҳосил бўлиши.

Ўйиқнинг чуқурлиги маълум даражага етгач асбобнинг кесувчи қирраси қириндининг босим кучига бардош беролмай, синиб тушади. Демак, кесувчи асбобнинг қанча вақт ишлаши ўйиқ чуқурлигининг қанчалик тез ўсишига, ўйиқ чуқурлигининг ўсиш тезлиги эса шу асбоб ясалган тезкесар пўлатнинг қизиган ҳолда ейилишга қанчалик чидамли эканлигига ва кесувчи асбобнинг қизиш даражасига боғлиқ бўлади. Ўз-ўзидан маълумки, кесувчи асбобнинг қизиш температураси кесиш шароитига боғлиқдир. Кесувчи асбобнинг иш унуми қанчалик катта, яъни у вақт бирлиги ичида қанчалик кўп қиринди кесиб туширса, у кесиб ишланаётган материалдан қириндининг ажралиши қанчалик қийин бўлса, асбобнинг кесувчи қирраси шунчалик қаттиқ қизийди. Кесувчи асбобнинг (кескичнинг) энг қаттиқ қизиган қисмида температура 700°С га етади. Агар асбоб ясалган пўлат ана шу температура таъсирида юмшамаса, асбоб ўзининг ейилишга чидамлилик ва кесиш хоссаларини узоқ вақт сақлаб қолади. Кесувчи асбобнинг ейилишга чидамлилиги қизиган ҳолатдаги каттиқлигига кўп даража боғлиқ бўлади, шунинг учун кесувчи асбоб ясаладиган пўлат юқори температураларда қаттиқлигини унча ўзгартирмаслиги керак.

Углеродли асбобсозлик пўлати 200°С гача қизигандан кейин унинг қаттиқлиги тез пасаяди, тезкесар пўлатнинг қаттиқлиги бу пўлат 600°С гача қизиганда ҳам сақланиб қолади, қаттиқ қотишма эса 800°С гача қизиганда ҳам унинг қаттиқлиги унча ўзгармайди.

Демак, ишлаш жараёнида 200°С дан юқори температурагача қизийдиган асбобларни углеродли пўлатлардан ясаб бўлмайди. Тезкесар пўлатдан тайёрланган кесувчи асбобнинг иш унуми углеродли пўлатдан ясалган асбобникига қараганда анча юқори, қаттиқ қотишмадан ясалган асбобники эса тезкесар пўлатдан ясалган асбобникидан ҳам юқори бўлади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, тезкесар асбоб учун пўлатнинг совуқ ҳолатдаги қаттиқлиги кифоя қилмайди. Нормал температурада углеродли асбобсозлик пўлатининг қаттиқлиги тезкесар пўлатникидан юқорироқ, аммо шунга қарамай, углеродли пўлатдан тезкесар асбоб ясаб бўлмайди, чунки тезкесар асбоб ўз қаттиқлигини совуқ ҳолатдагина эмас, балки юқори температураларда ҳам сақлаб қолиши керак, углеродли асбобсозлик пўлатининг қаттиқлиги эса, юқорида айтиб ўтилганидек, 200°С дан юқори температурада тез пасайиб кетади.

Тезкесар пўлат ўз қаттиқлигини юқори температурада қисқа вақтгина эмас, балки узоқ вақт ҳам сақлаб туриши, бошқача қилиб айтганда, иссиқбардош (юқори температурага чидамли) бўлиши керак.

Энди, температура, қаттиқлик ва пўлатда бўладиган структура ўзгаришларини бир-бирига боғловчи баъзи қонуниятларини кўриб чиқайлик.

Пўлат қиздирилганда ҳамма вақт унинг қаттиқлиги пасаяди, аммо бу вақтда пўлатда структура ўзгаришлари содир бўлмаса, пўлат дастлабки температурасигача совиганда унинг қизишдан олдинги қаттиқлиги тикланади, яъни бунда қаттиқликнинг пасайиши қайтар бўлади. Агар пўлат қиздирилганда унда структура ўзгаришлари содир бўлса ва, шу билан бирга, унинг қаттиқлиги пасайса, пўлат дастлабки температурасигача совиганда унинг қаттиқлиги қиздиришдан олдинги қаттиқлигидан паст бўлади, яъни қаттиқликнинг пасайиши қайтмас бўлади. Пўлатнинг ана шу қайтмас структура ўзгаришларига қаршилик кўрсатиш хусусияти *иссиқбардошлик* деб аталади.

Тобланган пўлатларнинг иссиқбардошлиги нимага боғлиқ эканлигини кўриб чиқайлик.

Мартенсит қаттиқлигининг юқори бўлиши углероднинг α-темирда эришидан келиб чиқади. Маълумки, углеродли пўлат бўшатилганда мартенситдан ниҳоятда майда карбид заррачалари ажралиб чиқади. Пўлат 200°С гача бўлган температурада бўшатилганда мартенситдан ажралиб чиққан карбид заррачалари майдалигича қолиб, пўлатнинг қаттиқлигини унча пасайтирмайди. Аммо пўлат 200°С дан юқори температурада бўшатилса, мартенситдан ажралиб чиққан карбид заррачалари йириклашиб, пўлатнинг қаттиқлиги тез пасаяди. Демак, пўлат қиздирилганда ўз қаттиқлигини сақлаб қолиши учун уни ажралиб чиққан карбид заррачаларининг йириклашувини қийинлаштирадиган элементлар билан легирлаш керак. Агар пўлатга махсус карбид ҳосил қиладиган миқдорда бирор элемент (карбид ҳосил қилувчи элемент) қўшилса, пўлатнинг иссиқбардошлиги кўтарилади, чунки махсус карбид мартенситдан темир карбидга қараганда анча юқори температурада ажралиб чиқади ва анча юқори температурада коагулланади (йириклашади). Масалан, Cr, V ва баъзи бошқа элементларнинг махсус карбидлари 500°С дан юқори температурадагина сезиларли коагулланади.

Бинобарин, пўлатни иссиқбардош қилиш учун унга қарийб барча углерод билан бирикиб, махсус карбидлар ҳосил қиладиган миқдорда элементлар қўшиш керак. Ана шундай элементлар жумласига, биринчи навбатда, Cr, V, Mo, W киради.

Тезкесар пўлатларнинг химиявий таркиби 36- жадвалда келтирилган.

36- жадвал

Тезкесар пўлатларнинг химиявий таркиби (ГОСТ 9373-60)

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	C	Cr	W	V	Co
Р18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,5—19,0	1,0—1,4	—
Р9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	—
Р9Ф5	1,4—1,5	3,8—4,4	9,0—10,5	4,3—5,1	—
Р14Ф4	1,2—1,3	4,0—4,6	13,0—14,5	3,2—4,1	—
Р18Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,5—19,0	1,8—4,4	—
Р9К5	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	5,0— 6,0
Р9К10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,5—10,5

36- ж а д в а л (давоми)

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	C	Cr	W	V	Co
Р10К5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	5,0— 6,0
Р18К5Ф2	0,85—1,95	3,8—4,4	17,5—19,0	1,8—2,4	5,0— 6,0

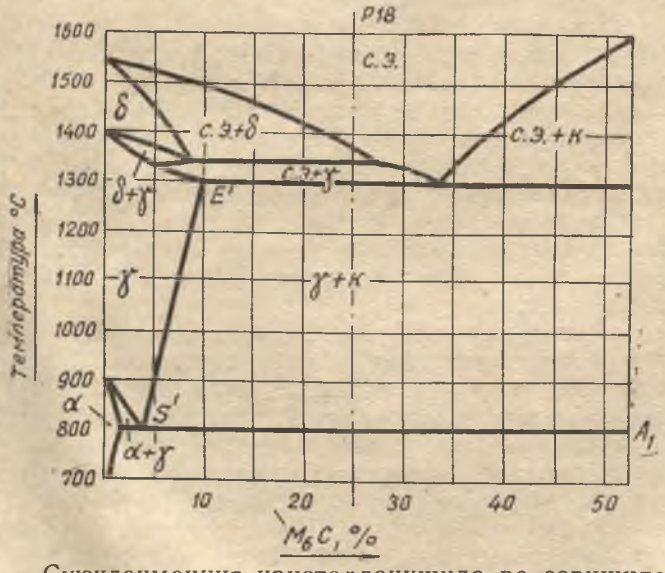
Э с л а т м а. 1. Бу пўлатларда 0,4% ва ундан кам Mn, 0,4% ва ундан кам Si, 0,5% ва ундан кам Mo, 0,4% ва ундан кам Ni, 0,03% ва ундан кам S, 0,03% ва ундан кам P бўлади.
2. Р ҳарфи пўлатнинг тезкесар пўлат эканлигини (Р ҳарфи пўлатнинг эски номи «Рапид» сўзининг бош ҳарфи), бу ҳарфдан кейинги рақамлар вольфрамнинг ўртача миқдорини, Ф ҳарфидан кейинги рақам ванадийнинг ўртача миқдорини, К ҳарфидан кейинги рақам эса кобальтнинг ўртача миқдорини билдиради.

Р18 (РФ1) ва Р9 (ЭИ-262) маркали пўлатлар тезкесар пўлатларнинг энг кўп тарқалган маркаларидир. Тезкесар пўлатларнинг қолган маркалари юқори унумли пўлатлар бўлиб, улардан ясалган кесувчи асбоблардан кесилиши қийин қотишмаларни кесиб ишлашда фойдаланилади.

Таркибидаги ванадий миқдори ортиқроқ бўлган тезкесар пўлатларнинг ейилишга чидамлилик, таркибида кобальт бўлган тезкесар пўлатуларнинг эса иссиқбардошлик хоссалари юқори эканлиги жиҳатидан улар Р18 ва Р9 пўлатларига қараганда афзал туради. Аммо уларнинг камчилиги шундаки, таркибида ванадий кўп бўлган пўлатларнинг силлиқланиши қийин, кобальтли пўлатларнинг эса механик хоссалари пастроқ.

Барча тезкесар пўлатларнинг табиати бир хил бўлганлигидан, уларнинг табиатини Р18 маркали пўлат мисолида кўриб чиқамиз.

Р18 маркали пўлатда, асосан, M_6C таркибли битта карбид бор, шунинг учун бу пўлатда содир бўладиган ўзгаришлар процессини Fe — M_6C псевдобинар ҳолат диаграммасидан кўриб чиқиш мумкин. Бундай диаграмма схема тарзида 242- расмда тасвирланган.



242- расм. Fe — M_6C системасининг псевдобинар ҳолат диаграммаси (схема).

Суюқланманинг кристалланишида ва совишида ҳар хил температураларда бирин-кетин уч хил карбид ажралиб чиқиши керак. Ажралиб чиққан бирламчи карбидлар, одатда, эвтектика (ледебурит) таркибида бўлади. Вольфрамли тезкесар пўлатларда карбид пластинкалари аустенит билан навбатлашиб келади (243- расмга қаранг). Суюқланма қотгандан кейин янада совиши билан аустенитдан иккиламчи карбидлар

ажралиб чиқади, чунки температура пасайган сари карбидларнинг аустенитда эрувчанлиги пасаяди (242-расмдаги диаграммада $E'S'$ чизиғи) ва, ниҳоят, 800°С (A_1) температурада аустенит легирланган феррит билан майда карбидларга (эвтектоид, яъни перлитга) айланади. Агар қотишма етарли даражада секин совитилмаган бўлса, с. э. + δ аралашма γ га айлана олмай, нормал температурагача δ-феррит деб аталадиган структура сақланиб қолади. Куйма тезкесар пўлатдан тайёрланган шлиф микроскоп остига қўйиб қаралса, δ-феррит сфероид шаклидаги қора тусли кристаллар тарзида кўринади (243-расм).



243-расм. Қуйма тезкесар пўлатдаги ледебурит эвтектикаси × 1000.

Агар қуйма тезкесар пўлат болғаланса, унинг тузилиши ўзгаради, чунки болғаланганда эвтектика алоҳида-алоҳида карбидларга парчаланади. Олдин болғаланиб, сўнгра юмшатилган тезкесар пўлатдан алоҳида-алоҳида турган йирик бирламчи карбидларни, ундан майдароқ иккиламчи карбидларни ва жуда майда эвтектоид карбидларини кўриш мумкин (244-расм).

Тезкесар пўлат A_1 критик нуқтагача қиздирилганда (242-расмга қаранг), унда структура ўзгаришлари содир бўлмайди. Агар пўлат A_1 критик нуқтадан юқори температурагача қиздирилса, эвтектоид γ-қаттиқ эритмага (аустенитга) айланади, пўлат янада қиздирилса, иккиламчи карбидлар аустенитда эриб, аустенит углеродга ва легирловчи элементларга тўйинади.



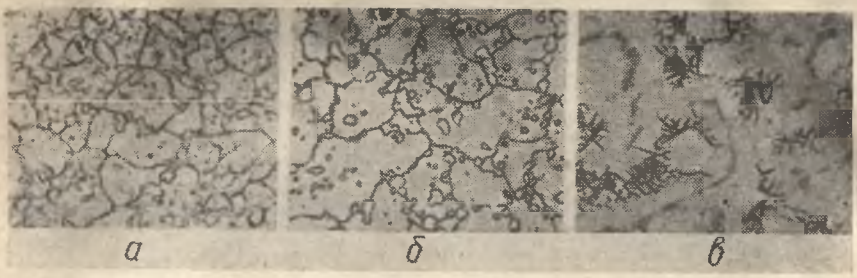
244-расм. Олдин болғаланиб, сўнгра юмшатилган тезкесар пўлатнинг микроскопик тузилиши × 1000.

Маълумки, пўлат тобланганда аустенит мартенситга айланади, бунда аустенит таркибидаги легирланган элементлар миқдори мартенситда ҳам сақланиб қолади. Тезкесар пўлат қанчалик юқори температурагача қиздирилса, унинг аустенитида эриган легирловчи элементлар (айниқса вольфрам) миқдори шунчалик кўп бўлади. Демак, кўп легирланган ва барқарор (иссиқбардошлиги юқори) мартенсит ҳосил қилиш учун тезкесар пўлатни имкони борича юқори температурагача қиздириб, сўнгра тоблаш керак.

Шу нарсани таъкидлаб ўтиш керакки, тезкесар пўлат имкони борича юқори температурагача қиздирилганда ҳам унинг аустенитида бирламчи карбидлар эримайди. Р18 маркали пўлат Р9 маркали пўлатдан таркибида ортиқча бирламчи карбидлар кўплиги жиҳатидан фарқ қилади, бу пўлатларнинг иккаласи ҳам бир хил шароитда (бир хил температурагача қиздирилиб) тобланса, улардаги аустенитнинг легирловчи элементларга тўйинганлик даражаси ва, бинобарин, мартенситнинг иссиқбардошлик даражаси бир хил бўлади. Шунинг учун ҳам Р18 ва Р9 пўлатларининг таркибларида катта фарқ бўлишига қарамай, улардан ясалган асбобларнинг кесиш хоссалари амалда бир хилдир.

Кобальт тезкесар пўлатнинг иссиқбардошлигини оширади, чунки у M_6C карбидидаги темир атомларидан бир қисмининг ўрнини олиб, коагуляция процессини қийинлаштиради.

Юқорида баён этилганлардан шундай хулоса келиб чиқади: тез кесар пўлатнинг аустенитида, асосан, иккиламчи карбидлар эриши ва унинг



245- расм. Тобланган Р18 пўлатининг микроскопик тузилиши ×500(А П Гуляев):

а — 1240° С гача (чала) қиздирилиб, сўнгра тобланган; *б* — 1280° С гача (нормал) қиздирилиб, сўнгра тобланган; *в* — 1340° С гача (ўта) қиздирилиб, сўнгра тобланган

шу карбидлар таркибидаги элементлар билан легирланиши натижасидагина пўлатнинг иссиқбардошлик ва кесиш хоссалари кўтарилади.

Шуни хам айтиш керакки, юмшатилган Р18 пўлатида карбид фазалар миқдори 25% бўлса, уларнинг фақат 10 проценти эритмага ўтиб, 15 проценти шундайлигича қолади. Аммо бу ортиқча карбидларни кераксиз қўшимчалар деб айтиш тўғри бўлмайди, чунки улар аустенит доналарининг йириклашувига тўсқинлик қилади. Агар ортиқча карбидлар бўлмаса, тезкесар пўлат 1200°С ва ундан юқори температурагача қиздирилганда аустенит доналари йириклашиб кетади, бунинг оқибатида эса пўлатнинг механик хоссалари пасаяди.

245- расмда ҳар хил температураларгача қиздирилиб, сўнгра тобланган Р18 пўлатининг микроскопик тузилиши тасвирланган.

Р18 пўлати 1240°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланса, аустенит доналари майда, аммо қолдиқ карбидлар миқдори кўп бўлади (245- расм, *а*). Пўлат 1280°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланса, аустенит доналари бир оз йириклашади (245- расм, *б*), аммо ортиқча карбидлар миқдори анча камаяди, бу ҳол кўпроқ легирланган аустенит ҳосил бўлганлигидан далолат беради. Пўлат нормал (1280°С) температурадан юқори (1340°С) температурагача қиздирилса, аустенит доналари анча йириклашиб, карбидлар тўри ҳосил бўлади, пўлат тобланганда эса шу структура сақланиб қолади (245- расм, *в*).

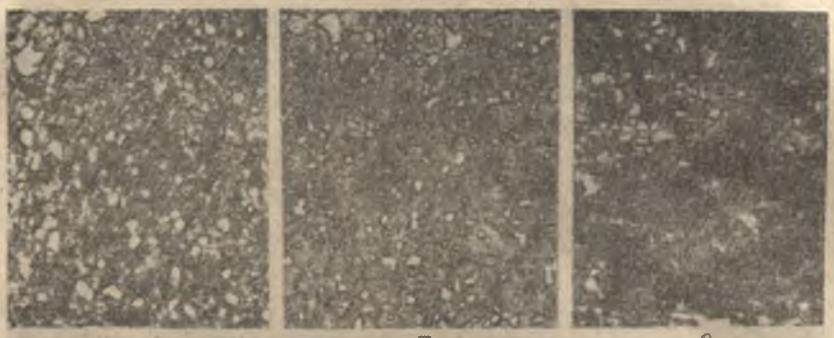
Юқорида айтиб ўтилганидек, тезкесар пўлатни тоблаш учун қиздириш температурасининг кўтарилиши билан пўлатнинг аустенитида углерод ва легирловчи элементлар миқдори ортади, легирловчи элементлар эса аустенитнинг мартенситга айлана бошлаш ва тамом айланиб бўлиш температурасини пасайтиради, бу ҳол қолдиқ аустенитнинг миқдорини 30—35% гача оширади.

Тезкесар пўлат 1110°С га яқин ва ундан юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланса, аустенитнинг мартенситга тамом айланиш нуқтаси нолдан пастда бўлади, пўлат нолдан паст температураларгача совитилганда эса қолдиқ аустенитнинг жуда кўп қисми мартенситга айланади.

Тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни тоблашда нолдан паст температурагача совитиш усулидан кўп фойдаланилади.

Тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбоблар тобланган дан кейин албатта бўшатилиши керак, чунки пўлат бўшатилмаса, асбобнинг кесиш хоссаларини пасайтирувчи қолдиқ аустенит парчаланмай қолади. Тобланган тезкесар пўлат 500—550°С температурагача қиздирилганда унда

муҳим ўзгаришлар содир бўлмайди, 550°С дан юқори температурагача қиздирилганда эса пўлатнинг аустенитидан карбидларнинг маълум қисми ажралиб чиқади ва пўлат совитилганда аустенитнинг бир қисми мартенситга айланади, аммо 560—580°С температураларда бўшатиш



246- расм Тобланиб, сўнгра бўшатилган тезкесар пўлатнинг микроскопик тузилиши ×500:

а — яхши (нормал) бўшатилган (мартенсит + карбидлар); *б* — чала бўшатилган (мартенсит + аустенит + карбидлар); *в* — ўта бўшатилган (мартенсит + троостит + карбидлар).

бир неча марта такрорланса, қолдиқ аустенитнинг жуда кўп қисми мартенситга айланади. Такрор бўшатишда (600°С дан юқори бўлмаган температурада) пўлатнинг қаттиқлиги пасаймай, балки тобланган ҳолатдагисига қараганда бир оз ортади. Агар пўлат 600°С дан юқори температурада бўшатилса, унинг қаттиқлиги пасаяди, чунки бундай температурада мартенсит парчаланиб, карбидлар йириклашади (246-расм, *в*). Тобланиб, сўнгра бўшатилган тезкесар пўлатнинг структураси майда нинасимон мартенсит (бўшатилган мартенсит) ва карбидлардан иборат бўлади (246- расм, *а*). Агар пўлатни бўшатиш температураси ёки уни бўшатиш температурасида тутиб туриш вақти етарли даражада бўлмаса, пўлат чала бўшайди, яъни унинг структурасида бўшатилган мартенситдан ташқари, қолдиқ аустенит ҳам бўлади (246- расм, *б*).

Энди, тезкесар пўлатларни термик ишлаш режимлари билан танишиб чиқишга ўтайлик.

Тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни термик ишлаш (тоблаш ва бўшатиш) режимлари схемаси 247- расмда тасвирланган.

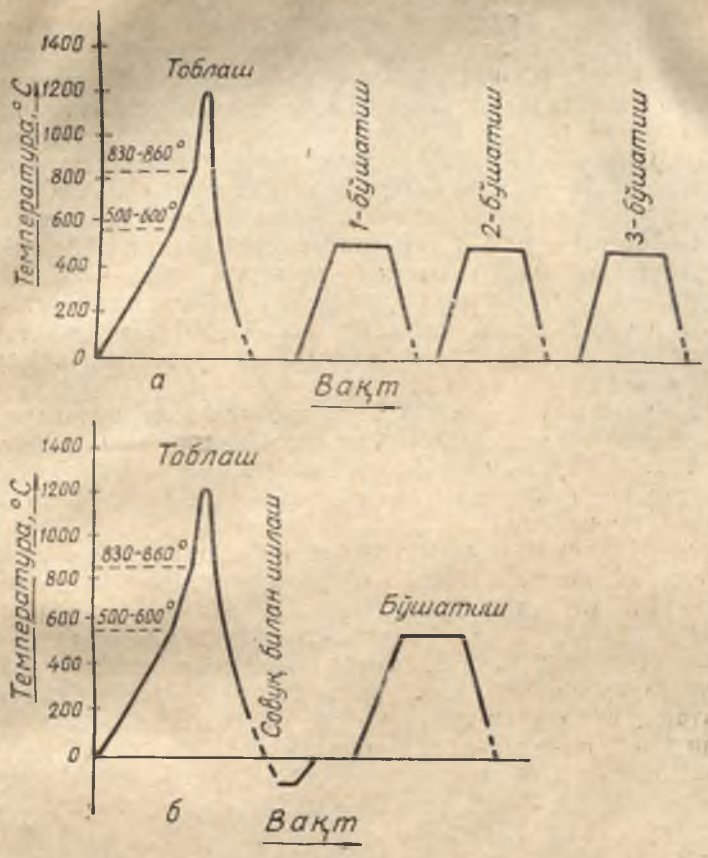
Баъзи маркали тезкесар пўлатдан ясалган асбобларни тоблаш температуралари 37- жадвалда келтирилган.

Тезкесар пўлатларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги катта эмас, шунинг учун тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобни тоблашда уни бирданига печга қўйиб, узил-кесил қиздириш ярамайди, чунки асбоб дарз кети-

37- жадвал

Тезкесар пўлатдан ясалган асбобларни тоблаш температуралари

Асбоблар тури	Тоблаш температураси, °С	
	Р18, Р18Ф2	Р9
Кескичлар ва диаметри 15 *мм* дан ортиқ пармалар	1280—1300	1240—1250
Диаметри 10 — 70 *мм* ли фреза, протяжка ва бошқалар, шунингдек, диаметри 5 — 15 *мм* ли пармалар	1270—1290	1220—1240
Диаметри 5 — 10 *мм* ли фреза, протяжка ва бошқалар . .	1260—1280	1210—1230
Диаметри 5 *мм* дан кичик асбоблар	1250—1270	1200—1220



247- расм. Тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобларни термик ишлаш режимлари схемаси:

а — совуқ билан ишланмаганда; *б* — совуқ билан ишланганда.

ши мумкин. Бундай асбобларни олдиндан қиздириб олиш тавсия этилади. Олдиндан қиздириб олишнинг энг кўп қўлланиладиган усули икки марта: дастлаб 500—600°С температурагача, сўнгра 830—860°С температурагача қиздириб олиш усулидир.

Кесувчи асбоб тоблаш температурасигача қиздирилгандан кейин маълум вақт тутиб турилиши керак, бундай қилинганда карбидлар аустенитда эрийди.

Тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбоб тоблаш температурасигача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт тутиб турилгандан кейин мойда совитилади. Тобланадиган асбоб ундан секин, масалан, ҳавода совитилса, юқори температураларда аустенитдан карбидлар ажралиб чиқиши ва асбобнинг кесиш хоссалари пасайиши мумкин. Агар асбоб босқичма-босқич совитилса, кам деформацияланади.

Тезкесар пўлатдан ясалган асбоб тобланғандан кейин икки хил режим билан бўшатилиши мумкин. Бу режимларнинг биринчиси шундан иборатки, тобланган асбоб 560°С температурада уч марта бўшатилади (247- расм, *а*). Асбоб бўшатиш температурасида ҳар гал 1 соатдан тутиб турилади. Биринчи гал бўшатилганда пўлатдаги аустенитнинг тахминан 15 проценти, иккинчи гал бўшатилганда 3—5 проценти, учинчи гал

бўшатилганда эса 1—2 проценти мартенситга айланмай қолади (қолдиқ аустенит). Р18 ва Р9 пўлатларидан ясалган кесувчи асбобнинг биринчи бўшатилгандан кейинги қаттиқлиги Роквелл бўйича 64 га, иккинчи бўшатилгандан кейинги қаттиқлиги 64,5 га, учинчи бўшатилгандан кейин қаттиқлиги эса 64 га тенг бўлиб қолади. Тобланган асбобни бўшатиш вақтида аустенит 150°С билан нормал температура оралиғида мартенситга айланади (247-расмдаги схемада штрих чизиқ билан кўрсатилган).

Бўшатиш режимларининг иккинчиси тобланган кесувчи асбобни нолдан паст (—80 дан —100°С) температурагача совитишдан (совуқ билан ишлашдан) иборат. Асбоб нормал температурадан —80° ёки —100°С температурагача совитилганда қолдиқ аустенит миқдори 10—15% га тушади. Агар совуқ билан ишланган асбоб 560°С температурада бир марта бўшатилса, аустенитнинг атиги 2—3 процентигина мартенситга айланмай қолади.

Хулоса қилиб шуни айтиш керакки, тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбобни термик ишлашнинг икки хил режимидан фойдаланилади. Буларнинг биринчиси асбобни тоблаш, сўнгра уч қайта бўшатишдан иборат бўлса, иккинчиси тоблаш, совуқ билан ишлаш ва бир марта бўшатишдан иборатдир.

Тезкесар пўлатдан ясалган асбобни тоблашдан олдин уни яхшилаб юмшатиш керак. Одатда, асбоб изотермик юмшатилади, яъни асбоб 860—900°С гача қиздирилиб, шу температурада маълум вақт қолдирилгандан кейин 700—750°С гача совитилади, асбоб бу температурада аустенит тамом ўзгариб бўлгунча, яъни 1,5—2 соат тутиб турилади. Шу тарзда юмшатилган асбобнинг қаттиқлиги Бринель бўйича 250 ни ташкил этади, пўлатнинг структураси эса сорбит билан бирламчи ва иккиламчи карбидлардан иборат бўлади (244-расмга қаранг).

Баъзан, тезкесар пўлат тобланғандан кейин у мўрт доналари эса йирик, тангачасимон бўлиб қолади — пўлатнинг синган жойи нафталинга ўхшаб кўринади (248-расм). Бу нуқсон *нафталинсимон синиқ* деб аталади. Нафталинсимон синиқ пўлатни қиздириб туриб босим билан ишлашнинг анча юқори (1000—1100°С) температурада тугалланишидан, унинг ёмон юмшатилишидан келиб чиқади. Бу нуқсонни йўқотиш жуда қийин, пўлат икки қайта ва, ҳатто, уч қайта юмшатилганда ҳам унда йирик доналилик асарлари қолади.



248-расм. Тезкесар пўлатдаги нафталинсимон синиқ.

Тезкесар пўлатнинг сифати унинг болғаланиш даражасига ҳам кўп даража боғлиқ бўлади. Пўлатнинг болғаланиш даражаси етарли бўлмаса, унда *карбид ликвацияси* деб аталадиган нуқсон ҳосил бўлиши мумкин (249-расм). Карбид ликвацияси ледебурит эвтектикасининг болғаланганда парчаланмаган қолдиқларидир. Карбид ликвацияси қанча кўп бўлса, тезкесар пўлатнинг сифати шунча ёмонлашади — бундай пўлатдан ясалган асбобнинг ишлаш вақтидаги турғунлиги пасаяди ва мўртлиги ортади.

Тезкесар пўлатдан ясалган асбобларнинг кесиш хоссаларини яхшилаш ва ишлаш вақтидаги турғунлигини ошириш учун улар Ac_1 критик нуқтадан паст температурада суюқ муҳитда цианланади (бу ҳақда химиявий-термик ишлашга оид бобчанинг 3-параграфида батафсил сўзланган, 256-бет).

Тезкесар пўлатдан ясалган асбобларнинг коррозиланмаслик хоссасини ошириш ва кесиш хоссасини бир қадар яхшилаш учун уларга буғ билан ишлов берилади, яъни тайёр асбоблар температураси тезкесар пўлатни бўшатиш температурасидек бўлган буғда қиздирилади. Қесувчи асбобларга буғ билан ишлов берилганда асбобларнинг сиртида темир (II,III)-оксид Fe_3O_4 дан иборат 2—2,5 *мк* қалинликдаги парда ҳосил бўлади. Бу парда туфайли, кесувчи асбобга қиринди ёпишмайди ва асбобнинг коррозияланмаслик хоссаси ошади.



249- расм. Тезкесар пўлатдаги карбид ликвацияси. × 100.

Штамп пўлатлари. Металл ва қотишмаларни босим билан ишлашда фойдаланиладиган асбоблар (масалан, штамп, пуансон, ролик ва бошқалар) тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлатлар *штамп пўлатлари* деб аталади. Металл ва қотишмаларни босим билан ишлаш асбоблари икки группага: металл ва қотишмаларни совуқлайин деформацияловчи асбоблар группаси билан металл ва қотишмаларни қиздирилган ҳолда деформациялайдиган асбоблар группасига бўлинади. Шунга кўра, бундай асбоблар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлатлар ҳам икки группани ташкил этади.

Металл ва қотишмаларни қиздириб туриб босим билан ишлашда асбоблар қаттиқ қизийди. Бинобарин, бундай асбоблар тайёрланадиган пўлатнинг механик хоссалари совуқ ҳолатдагина эмас, балки қизиган ҳолатда ҳам юқори бўлиши керак. Иш жараёнида қаттиқ қизийдиган асбоблар тайёрланадиган пўлатларнинг оқувчанлик (пропорционаллик) чегараси юқори бўлиши зарур, акс ҳолда, бу асбоблар юқори босим таъсири остида деформацияланиши мумкин. Темирчилик штамплари босим билан ишланаётган металлга зарб билан урилганда синиб ёки ёрилиб кетмаслиги учун бундай штамплар пўлати қовушоқ бўлиши ҳам керак. Штамп пўлатларининг ҳамма турлари ҳам ейилишга чидамли бўлиши шарт, чунки пўлат ейилишга чидамли бўлгандагина ундан ясалган асбоблар кўпга чидайди.

Пресслаш асбоблари зарбсиз ишлаганлиги учун бундай асбоблар тайёрланадиган пўлат қизиган ҳолда ейилишга чидамли бўлиши керак. Шу сабабли болға штамплари, яъни зарб билан ишлайдиган штамплар учун алоҳида, пресслаш штамплари учун эса алоҳида маркали пўлатлар ишлатилади.

Бундан буён совуқлайин босим билан ишлашда фойдаланиладиган асбобларни *қизимайдиган штамплар* деб, металл ёки қотишмаларни қиздириб туриб босим билан ишлашда фойдаланиладиган асбобларни эса *қизийдиган штамплар* деб атаймиз.

Қизимайдиган штамплар тайёрланадиган пўлат жуда қаттиқ, ишқаланишга бардош берадиган, қовушоқ (айниқса, пуансонлар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлат) бўлиши керак. Қизийдиган штамплар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлат маҳаллий қизиш таъсирига имкони борича чидамли бўлиши зарур, чунки етарли даражада пластик (қовушоқ) бўлмаган, масалан, ёмон бўшатилган пўлатдан ясалган штампнинг иш қисми қизиса, унда дарзлар ҳосил бўлиши мумкин.

Босим остида деталь қуйиш қолиплари (пресс-қолиплар) айниқса оғир шароитда ишлайди. Қолипга қуйилган суюқ металл қолипнинг иш юзасини қаттиқ қиздиради, қолипнинг ички қисмларига юбориб турилади-ган сув эса шу қисмларни совитади, бунинг натижасида катта иссиқ-

лик кучланишлари вужудга келади. Пресс-қолиплар тайёрланадиган пўлат ейилишга чидамли, қизиган ҳолатда ҳам юқори механик хоссаларга эга, қолипнинг иш сирти суюқ металл таъсирида ейилмайдиган бўлиши керак.

Катта ўлчамли штамплар тайёрланадиган пўлатларда, юқорида айтиб ўтилган хоссалардан ташқари, чуқурроқ тобланиш хоссаси ҳам бўлиши зарур. Мураккаб шаклли штамплар тайёрланадиган пўлатлар тоблаш вақтида имкони борича кам деформацияланиши лозим.

Энди, қизимайдиган ва қизийдиган штамплар тайёрлаш учун ишлатиладиган пўлатларни кўриб чиқишга ўтайлик.

Қизимайдиган штамп пўлатлари. Қизимайдиган штампларнинг қаттиқлиги юқори—Роквелл бўйича 58—60 ва, ҳатто, 62 дан юқори бўлиши керак. Бундай штамплар таркибидаги углерод миқдори 1% дан кам бўлмаган углеродли пўлатлардан, шунингдек, 34- жадвалда келтирилган пўлатларнинг баъзиларидан тайёрланади (315—316- бетларга қаранг). У10, У11, У12 маркали пўлатлардан шакли оддий бўлган, кичикроқ ўлчамли штамплар ясалади. У10, У11, У12 пўлатларининг тобланиш чуқурлиги катта бўлмаганлиги учун уларни нисбатан енгил шароитда ишлайдиган штамплар тайёрлаш учун ишлатиш керак. Шакли анча мураккаб ва анча оғир шароитда ишлайдиган штамплар тобланиш чуқурлиги катта легирланган пўлатлардан, масалан, Х ёки ШХ15 маркали пўлатлардан тайёрланади. Совуқлайин прокатлаш жўвалари тайёрлаш учун таркибида ўрта хисоб билан 1 ёки 2% Сг бўлган хромли пўлатлар (9Х ёки 9Х2 пўлатлари) ишлатилади. Бундай жўваларнинг кўндаланг кесим юзи катта бўлганлиги учун улар сувда тобланиб, паст (100—120°С) температурада бўшатилади. Бундай қилинганда жўванинг 15 *мм* гача қалинликдаги сиртқи қатламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 66 га етади.

Металларни совуқлайин деформациялайдиган, аммо зарб билан ишлайдиган баъзи асбобларнинг, масалан, зубило, пневматик асбоблар ва бошқаларнинг қаттиқлиги, аксинча, Роквелл бўйича 52—58 бўлиши керак. Нисбатан енгил шароитда ишлайдиган бундай асбоблар, масалан, дастаки зубило, дастаки клеймо ва шу кабилар У7, У8, У9 маркали асбобсозлик пўлатларидан тайёрланади.

Штамп пўлатларининг энг кўп ишлатиладиганлари 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5В2С ва 6ХВ2С маркали пўлатлардир (бу пўлатларнинг химиявий таркиби 34- жадвалда, тобланиш температураси билан қаттиқлиги эса 35- жадвалда келтирилган). Бу ерда биз уларнинг бўшатиш температураси билан бўшатилгандан кейинги қаттиқлигинигина кўрсатиб ўтамиз (38- жадвал).

38- жадвал

Пўлатнинг маркаси	Бўшатиш температураси, °С	Бўшатилгандан кейинги қаттиқлиги *HRC*
4ХС	240—270	51—52
6ХС	240—270	52—53
4ХВ2С	240—270	50—52
	420—440	44—46
5ХВ2С	240—270	51—53
	420—440	45—47
6ХВ2С	240—270	53—55
	420—440	46—48

Қизимайдиган штамплар, шунингдек, металлни совуқлайин ёки бир оз қиздириб туриб деформациялаш учун ишлатиладиган бошқа асбоблар, масалан, сим тортиш асбобларининг фильералари (кўзлари) ва шу кабилар ейилишга ва иссиқликка чидамлилик хоссалари юқори, термик ишланганда кам деформацияланадиган кўп хромли пўлатлардан, масалан, Х12, Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ* маркали пўлатлардан тайёрланади, Х12, Х12М, Х12Ф1 пўлатларининг химиявий таркиби 35-жадвалда келтирилган.

Кўп хромли пўлатларни тоблаш температуралари 39-жадвалда берилган (суюқлантирилган тузда қиздирилади).

39-жадвал

Кўп хромли пўлатларни тоблаш температуралари

Пўлатнинг маркаси	Бирламчи қаттиқлик ҳосил қилиш учун тоблаш		Иккиламчи қаттиқлик ҳосил қилиш учун тоблаш		Энг кам деформацияланадиган қилиб тоблаш	
	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HRC*	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HRC*	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HRC*
Х12Ф1	1040—1070	61—63	1100—1140	45—50	1080—1100	60—61
Х12Ф	1020—1040	61—63	1090—1130	45—50	1040—1060	60—61
Х12М	1020—1040	62—63	1115—1130	45—50	1040—1060	60—61
Х12	1000—1040	61—63	—	—	—	—

250-расмда Х12Ф1 пўлати қаттиқлигининг ва ундаги қолдиқ аустенит миқдорининг тоблаш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи диаграмма тасвирланган.

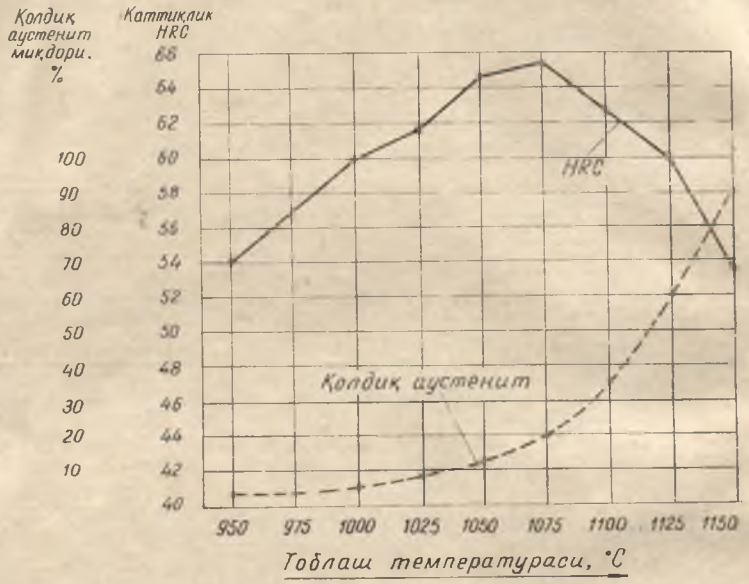
Диаграммадан яққол кўриниб турибдики, тоблаш температураси кўтарилган сари пўлатнинг қаттиқлиги олдин ошиб, тоблаш температураси 1075°С бўлганда энг юқори даражага етади, сўнгра пасаяди. Шунинг учун бу пўлатлардан тайёрланган асбоблар юқори (1050—1150°) температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланади. Бўшатиш температураси тоблаш температурасига қараб олинади. Агар пўлат 1075°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланган бўлса, пўлатнинг ҳосил қилинган юқори қаттиқлигини сақлаб қолиш учун уни бўшатиш температураси 220°С дан ошмаслиги керак, чунки бўшатиш температураси 220°С дан юқори бўлса, пўлатнинг қаттиқлиги пасаяди. Агар пўлат 1150°С температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланган, яъни пўлатда кўп миқдорда қолдиқ аустенит ҳосил қилинган бўлса, қолдиқ аустенитни парчалаш ва пўлатнинг қаттиқлигини ошириш учун у 525—550°С температурада бўшатилади.

Кўп хромли пўлатларнинг қаттиқлигини ошириш зарур бўлса, улар 1150°С гача қиздирилиб, сўнгра мойда тобланади-да, кўп миқдорда (30—35%) қолдиқ аустенит ҳосил қилинади, шундан кейин нолдан паст

---

* Х6ВФ маркали пўлат таркибида 1,05—1,14% углерод, 5,5—7,0% хром, 1,1—1,5% вольфрам, 0,5—0,7% ванадий, 0,4% гача кремний, 0,5—0,35% гача марганец, 0,35% гача никель, 0,03% гача фосфор ва 0,03% гача олтингугурт бўлади.

температурада ишлов бериш ва бўшатиш йўли билан қолдиқ аустенитнинг жуда кўп қисми парчалаб юборилади. Пўлат шундай термик ишланганда унинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 60 дан юқори бўлади. Маълумки, термик ишлашнинг бу усули тезкесар пўлат учун қўлланилади, аммо уни кўп хромли пўлатларга ҳам татбиқ қилиш мумкин.



250- расм. Х12Ф1 маркали пўлат қаттиқлигининг ва ундаги қолдиқ аустенит миқдорининг тоблаш температурасига қараб ўзгариши (А. П. Гуляев ва В. Д. Бессонов).

Кўп хромли пўлатда қолдиқ аустенит миқдори кенг чегараларда ўзгарганлиги учун бундай пўлат тобланганда унинг ҳажми ҳам кучли даражада ўзгаради. Пўлат мартенсит структурагача тобланганда унинг ҳажми ортади, аустенит ҳосил қилиш учун тобланганда эса камаяди. Маълум бир температурада, ҳосил бўладиган мартенсит миқдори билан аустенит миқдори шундай нисбатда бўладики, тобланган пўлатнинг ҳажми тобланишдан олдинги ҳажмидан фарқ қилмайди. Аммо, амалда, тоблаш температураси мартенсит билан аустенитнинг юқорида айтилган нисбатига тўғри келадиган температурадан юқори ёки паст бўлиши, совитиш шароитининг ўзгариши мумкин, натижада, тобланган пўлатнинг (штампнинг) ҳажми тобланишдан олдинги ҳажмидан фарқ қилиб қолади. Агар штамп тобланганда унинг ҳажми камайиб қолса, бундай штамп 520°С да бўшатилади. Бунда қолдиқ аустенитнинг бир қисми мартенситга айланиб, штампнинг ҳажми катталашади. Агар тоблаш натижасида штампнинг ҳажми катталашиб қолса, штамп 350°С да бўшатилади, бундай температурада аустенит ўзгармай қолади, тетрагонал мартенсит эса бўшаган мартенситга айланиб, штампнинг ҳажми кичраяди. Баён этилган бу усул асбоб (штамп) ўлчамларини *термик тиклаш* деб аталади.

Х12М ва Х12Ф1 пўлатлари жуда кичик деформацияланади, шунинг учун уларга термик тиклаш усули татбиқ этилса, уларда тоблаш натижасида ҳосил бўлган деформацияга, амалий жиҳатдан олганда, барҳам берилган бўлади. Бинобарин, бу пўлатлар тоблашда деформацияланишига йўл қўйиб бўлмайдиган мураккаб шаклли асбоблар ясаш учун ишлатилиши лозим.

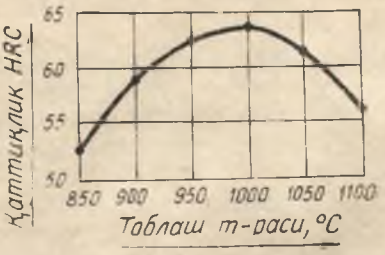
Х12 маркали пўлат таркибида карбид фазасининг миқдори кўп бўлганлиги учун унинг механик пухталиги пастроқдир. Шунинг учун Х12 пўлати унча муҳим бўлмаган, конструкцияси жиҳатидан оддий бўлган асбоблар тайёрлаш учун ишлатилади.

Кўп хромли пўлатлар группасига кирадиган, аммо таркибидаги углерод миқдори билан хром миқдори нисбатан камроқ бўлган пўлат Х6ВФ маркали пўлатдир. Х6ВФ пўлатида карбидлар миқдори Х12 типидаги пўлатлардагидан кўра камроқ бўлади, шунинг учун у карбидлар ликвациясига камроқ мойилдир. Х6ВФ пўлатида хром карбиди—$(Cr, Fe)_7C_3$ яъни M_7C_3 дан ташқари, цементит типидаги карбид ҳам бўлади.

Х6ВФ пўлатидан ясалган асбоблар Х12 типидаги пўлатлардан кўра пастроқ (900—1010°С) температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланади, чунки тоблаш температураси оширилгани билан ундаги карбид фазасининг эритмага ўтиши унча ортмайди. Х6ВФ пўлати 900—1010°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланганда унинг қаттиқлиги энг юқори (Роквелл бўйича тахминан 63) бўлади.

Х6ВФ пўлати қаттиқлигининг тоблаш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқ 251-расмда тасвирланган.

Қ и з и й д и г а н ш т а м п п ў л а т л а р и. Металл ва қотишмаларни қиздириб туриб деформациялаш асбоблари тайёрланадигаан пўлатларда иссиқбардошлик, оташбардошлик*, термобардошлик**, чуқур тобланувчанлик, қовушоқлик, бўшатиш вақтида мумкин қадар кам мўртлашувлик, ёпишмаслик хоссалари бўлиши керак.



251-расм. Х6ВФ пўлати қаттиқлигининг тоблаш температурасига қараб ўзгариши (А. А. Бадаева).

Енгил шароитда, яъни штамплаш вақтида штампнинг иш юзасига тушадиган солиштирма босим кичик бўладиган шароитда ишловчи штамплар У7, У8 ва У9 пўлатларидан ясалади; бу мақсадда У7 пўлати энг кўп ишлатилади. Оғирроқ шароитда ишлайдиган штамплар (болға штамплари) легирланган асбобсозлик пўлатларидан, масалан, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНТ*** ва 5ХНСВ**** маркали пўлатлардан тайёрланади. 5ХНМ ва 5ХГМ пўлатларининг химиявий таркиби 34-жадвалда келтирилган.

Оғир шароитда ишлайдиган штамплар тайёрланадиган пўлатларнинг ичида энг яхшиси ва энг кўп ишлатиладигани 5ХНМ маркали пўлатдир.

---

* Пўлатнинг температура узоқ вақт таъсир этганда иссиқбардошлик хоссасини сақлаб қолиш хусусияти *оташбардошлик* деб аталади.

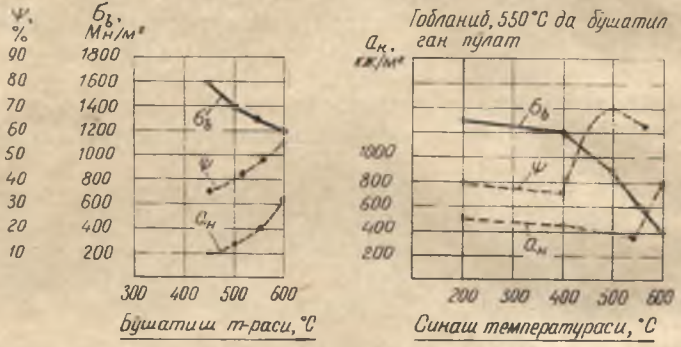
** Пўлатнинг температура ўзгаришига бардош бериш хоссаси *термобардошлик* дейилади.

*** 5ХНТ маркали пўлат таркибида 0,5—0,6%С, 0,5—0,8% Mn, 0,35% гача Si, 0,9—1,25% Cr, 1,4—1,8% Ni, 0,08—0,15% Ti, 0,03% гача P ва 0,03% гача S бўлади.

**** 5ХНСВ пўлатида 0,5—0,6%С, 0,3—0,6% Mn, 0,6—0,9% Si, 1,3—1,6%Cr, 0,8—1,2% Ni, 0,4—0,6% W, 0,03% гача P ва 0,03% гача S бўлади.

Бу пўлат механик хоссаларининг бўшатиш температурасига ва синаш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи графиклар 252- расмда тасвирланган.

252- расмдаги графикдан (чапда) кўриниб турибдики, бўшатиш температураси кўтарилган сари пўлатнинг пухталиги пасайиб, пластиклиги ва қовушоқлиги ортиб боради. Синаш температураси кўтарилганда ҳам пўлатнинг пухталиги пасаяди, аммо пластиклиги 400°С температурагача пасайиб бориб, сўнгра кўтарилади-да, температура 500°С га етганда



252- расм. 5ХНМ пўлати механик хоссаларининг бўшатиш ва синаш температураларига қараб ўзгариши (М. В. Приданцев, Г. Л. Лившиц ва Е. В. Смирнов).

яна пасаяди, зарбий қовушоқлиги эса маълум температурагача пасайиб бориб, сўнгра кўтарилади.

5ХНМ ва 5ХНСВ пўлатларининг тобланиб, сўнгра 550°С да бўшатилгандан кейинги механик хоссалари (нормал температурада) мана бундай: $\sigma_в = 1200 - 1300$ *Мн/м²*, $\delta = 10—13\%$; $\psi = 40—45\%$; $a_н = 400 — 500$ *кж/м²*. 5ХГМ пўлати учун: $\sigma_в = 1200—1300$ *Мн/м²*; $\delta = 10 — 13\%$; $\psi = 30\%$, $a_н = 300 — 400$ *кж/м²* (пластиклиги ва қовушоқлигининг асайишига сабаб шуки, бу пўлат марганец ўрнига никель билан легирланган). 5ХНТ пўлатида бўшаш процессини сусайтирувчи элементлар (молибден ва вольфрам) бўлмаганлигидан, бу пўлат 550°С да бўшатилганда унинг пухталиги пасайиб, пластиклиги анча кўтарилади.

600°С температурада механик хоссалари комплекси энг юқори бўлган пўлат 5ХНМ маркали пўлатдир. Қизиган ҳолатдаги пухталиги жиҳатидан 5ХГМ ва 5ХНСВ пўлатлари 5ХНМ пўлатидан устун туради, аммо уларнинг қовушоқлиги 5ХНМ пўлатиникидан пастроқдир. Маълумки, молибден билан вольфрам мартенситнинг парчаланиш процессини кечиктиради, 5ХНТ маркали пўлатда эса бу элементлар бўлмайди, шунинг учун унинг 600°С даги пухталиги паст бўлади. Бўшатиш вақтида мўртлашув даражаси 5ХНТ пўлатида юқори, 5ХНМ ва 5ХНСВ пўлатларида эса паст бўлади. Тобланиш чуқурлиги 5ХНСВ пўлатида энг юқори, 5ХГМ пўлатида ундан паст. 5ХНМ пўлатида 5ХГМ пўлатиникидан пастроқ, 5ХНТ пўлатида эса энг пастдир.

Молибден билан вольфрам пўлатнинг термобардошлигини оширади, демак, 5ХНТ пўлатининг термобардошлиги қолган пўлатларникидан паст бўлади.

Штампларни термик ишлаш (тоблаш ва бўшатиш) ниҳоятда масъулиятли ва мураккаб ишдир.

Штамплар Ac_3 критик нуқтадан 20—40°С юқори температурагача қиздирилиб, сўнгра мойда тобланади. Тобланган штамплар, масалан, 5ХНМ пўлатидан ясалган штамплар (болға штамплари), штампнинг ўлчамига қараб, 480—580°С температурада бўшатилади.

Қизийдиган штамп пўлатларини тоблаш ва бўшатиш температуралари 40-жадвалда келтирилган.

40-жадвал

Қизийдиган штамп пўлатларини тоблаш ва бўшатиш температуралари
(ўртача ўлчамли штамплар учун)

Пўлатнинг маркаси	Тоблаш		Бўшатиш	
	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HRC*	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HB*
5ХНВ*, 5ХНМ, 5ХГМ	830—850	54—58	530—550	364—402
5ХНСВ	850—870	55—59	530—550	364—402
5ХНТ	830—850	53—58	485—510	364—402

* 5ХНВ пўлатида 0,5—0,6% С, 0,5—0,8% Mn, 0,15—0,35% Si, 0,5—0,8% Cr, 1,4—1,8% Ni, 0,4—0,6% W, 0,03% дан кам P ва 0,03% дан кам S бўлади.

Пресслаш асбоблари ва горизонтал-болғалаш машиналарининг штамплари кўпроқ легирланган пўлатлардан, масалан, 3Х2В8, 4Х5В2ФС (ЭИ-958), 4Х2В5ФМ (ЭИ-959), 4Х3В2Ф2М2 (ЭП-1) пўлатларидан тайёрланади. Бу пўлатларнинг химиявий таркиби 41-жадвалда келтирилган (3Х2В8 пўлатининг химиявий таркибини 34-жадвалдан қаранг).

41-жадвал

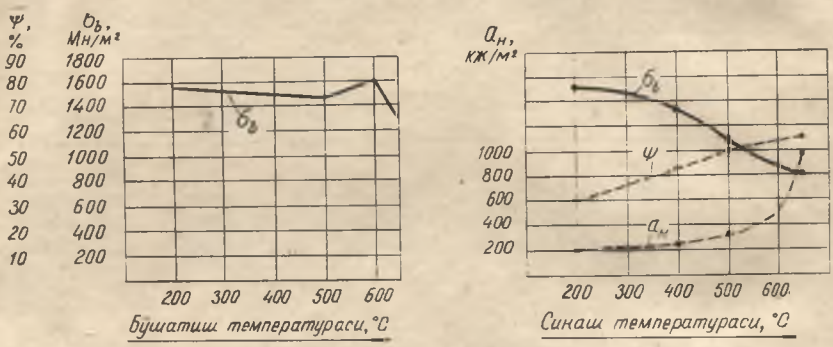
Пресслаш асбоблари ва горизонтал болғалаш машиналарининг штамплари тайёрланадиган пўлатларнинг химиявий таркиби

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида						
	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V
4Х5В2ФС	0,35—0,45	0,15—0,4	0,8—1,2	4,5—5,5	2,4—2,6	—	0,8—1,2
4Х2В5ФМ	0,35—0,45	0,15—0,4	0,15—0,35	2,0—3,0	4,5—5,5	0,6—1,0	0,6—1,0
4Х3В2Ф2М2	0,35—0,45	0,3—0,5	0,15—0,35	3,0—3,7	2,0—2,7	2,0—2,5	1,5—2,0

Юқорида тилга олинган пўлатлар ичида энг кўп ишлатиладигани 3Х2В8 пўлатидир. 3Х2В8 пўлатидан ясалган штамп 1100° гача қиздирилиб, сўнгра тобланади. Бунда штамп пўлатининг структураси мартенситдан ва озроқ миқдор қолдиқ аустенит билан ортиқча карбидлардан иборат бўлади; пўлатнинг қаттиқлиги Роквелл бўйича тахминан 51 ни, мустаҳкамлик чегараси эса $\sigma_b = 1600$ *Мн/м*^{2} ни ташкил этади.

253- расмда 3Х2В8 маркали пўлат хоссаларининг бўшатиш температурасига ва синаш температурасига қараб ўзгариши график тарзда тасвирланган.

3Х2В8 пўлатининг қаттиқлиги каби, унинг пухталиги ҳам пўлат бўшатиш температурасигача (650°С гача) қиздирилганда жуда кам ўзгаради (253- расм, чапдаги график), демак, 3Х2В8 пўлати ва шу типдаги бошқа пўлатлар иссиқбардош пўлатлардир. Бунинг сабаби шуки, улар вольфрам ҳамда молибден билан легирланган, бу элементлар эса



253- расм. 3Х2В8 пўлати хоссаларининг бўшатиш ва синаш температураларига қараб ўзгариши (А. П. Гуляев ва С. Л. Рустем).

650°С дан юқори температуралардагина коагулланувчи карбидлар (M_6C) ҳосил қилади. Шунинг учун пўлатнинг пухталиги ва, демак, қаттиқлиги ҳам баланд (650°С гача) температураларда юқори бўлади (253- расм, ўнгдаги график).

Қиздириб туриб пресслаш асбобларининг деталлари тайёрлаш учун 3Х2В8, 4Х5В2ФС, 4Х2В5ФМ ва 4Х3В2Ф2М2 пўлатларидан бошқа пўлатлар ҳам ишлатилиши мумкин. Масалан, иш вақтида камроқ қизийдиган, камроқ босим таъсирида бўладиган матрицалар, тешиш ва қолиплаш пуансонлари (унча узун бўлмаган, кичикроқ диаметрли пуансонлар) 5ХНМ ёки 30ХГС пўлатидан тайёрланади. Катта солиштирма босим ва юқори температура таъсир этадиган пуансон ва матрицалар 3Х2В8 пўлатидан ёки шу типдаги пўлатлардан тайёрланиши керак. Зарб таъсирида ишлайдиган асбоблар учун ҳам 3Х2В8 пўлати ўрнига 5ХНМ ёки 4Х5В2ФС пўлати ишлатиш лозим, чунки уларнинг қовушоқлиги 3Х2В8 пўлатникидан юқоридир.

400—500°С дан юқори температурагача қизимайдиган штамплар 7Х3 маркали пўлатдан ҳам тайёрланиши мумкин (бу пўлатнинг химиявий таркибини 34- жадвалдан қаранг).

Горизонтал-болғалаш машиналарининг ҳамда пресс штампларининг 3Х2В8 ва бошқа пўлатлардан ясалган деталларини термик ишлаш уларни маълум температурагача қиздириб, мойда тоблаш ва маълум температурада бўшатишдан иборат. Уларни термик ишлаш режимлари 42- жадвалда келтирилган.

42-жадвал

Горизонтал-болғалаш машиналарининг ва пресс штампларининг деталлари тайёрланадиган пўлатларни тоблаш ва бўшатиш температуралари

Пўлатнинг маркаси	Тоблаш		Бўшатиш	
	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HRC*	қиздириш температураси, °С	қаттиқлиги *HB*
3Х2В8	1000—1065	49—52	600—620	402—474
4Х5В2ФС	1050—1080	53—56	580—620	387—430
4Х2В5ФМ	1050—1080	53—56	600—650	387—402
4Х3В2М2Ф2	1050—1080	53—56	600—620	387—402

Босим остида қуйиш пресс-қолиплари деталлари ишининг температура режими ва қизийдиган штамп деталлари ишининг температура режими бир-бирига ўхшаш бўлганлигидан пресс-қолип деталлари ҳам қизийдиган штамп деталлари ясаладиган пўлатлардан тайёрланади.

Б. МЕТАЛЛОКЕРАМИК ВА ҚУЙМА ҚАТТИҚ ҚОТИШМАЛАР

Қаттиқ қотишмалардан ясалган асбобларнинг кесиш хоссалари температура 1000°С га кўтарилганда ҳам сақланиб қолади. Демак, қаттиқ қотишмалардан ясалган кесувчи асбоблар тезкесар пўлатдан ясалган асбобларга қараганда анча катта кесиш тезлиги билан ишлаши мумкин.

Ҳозирги вақтда металл ва қотишмаларни жадал кесиш учун қаттиқ қотишмалар билан таъминланган кесувчи асбоблардан фойдаланилади, чунки қаттиқ қотишмалар тезкесар пўлатларга қараганда анча қаттиқ, ейилишга анча чидамли ва иссиқбардош бўлади.

Қаттиқ қотишмалар металлокерамик ва қуйма қотишмаларга бўлинади.

1-§. МЕТАЛЛОКЕРАМИК ҚАТТИҚ ҚОТИШМАЛАР

Металлокерамик қаттиқ қотишмалар асбобсозлик материаллари группасига киради, улардан металл ва қотишмаларни кесиб ишлашда, шунингдек, босим билан ишлашда (сим тортиш, штамплаш, калибрлаш ва бошқаларда) фойдаланилади. Металлокерамик қаттиқ қотишмалар хилма-хил керамика материалларини ишлашда, бурғилашда ва техниканинг бошқа бир қатор соҳаларида ҳам кенг кўламда ишлатилади.

СССРда ишлаб чиқариладиган металлокерамик қаттиқ қотишмалар таркибига вольфрам карбиди, титан карбиди ва кобальт киради; кобальт вольфрам карбиди билан титан карбидини бир-бирига боғловчи (ёпиштирувчи) материал вазифасини ўтайди.

Сўнгги йилларда Совет Иттифоқида асосан алюминий оксиддан иборат керамика материали ишлаб чиқарилмоқда. Миканит деб аталадиган бу материал жуда қаттиқ ва ейилишга жуда чидамли бўлиб, унинг кесиш хоссалари юқоридир. Баъзи ҳолларда миканит қиммат турадиган металлокерамик қаттиқ қотишмалар ўрнини бемалол боса олади.

Металлокерамик қаттиқ қотишмалар вольфрам карбиди кукунлари билан титан карбиди кукунларига боғловчи модда (кобальт) қўшиб аралаштириш, ҳосил бўлган аралашмани махсус қолипларга солиб пресслаш, шундан кейин эса 1500—2000°С температурада қовуштириш

йўли билан тайёрланади. Натижада кобальт воситасида ўзаро боғланган (ёпишган) карбид заррачаларидан иборат буюм ҳосил бўлади.

Металлокерамик қотишмаларнинг ниҳоятда қаттиқ бўлишига сабаб шуки, улар тахминан 95% карбидлардан иборат, карбидлар эса, маълумки, бениҳоя қаттиқ моддалардир. Металлокерамик қаттиқ қотишмаларни кесувчи асбоблар билан ишлаб бўлмайди, шунинг учун улар ҳар хил ўлчамли ва ҳар хил профилли пластинкалар тарзида тайёрланиб, бу пластинкалар кесувчи асбобларнинг конструкцион пўлатдан ёки асбобсозлик пўлатидан ясалган каллагига маҳкамланади. Каллакка маҳкамланган бу пластинка асбобнинг кесувчи қисми (тиғи) бўлади.

Металлокерамик қотишмалар жуда қаттиқ бўлиш билан бирга, уларнинг мўртлиги ҳам юқори, чўзувчи кучланишлар таъсирига мустаҳкамлиги пастроқдир. Зарб ва турткилар таъсирида металлокерамик қаттиқ қотишмалар уваланиши мумкин.

СССРда ишлаб чиқариладиган металлокерамик қаттиқ қотишмалар иккита асосий группага: вольфрамли қотишмалар группаси билан титанли қотишмалар группасига бўлинади*. Биринчи группага вольфрам карбиди билан кобальтдан иборат қотишмалар, иккинчи группага эса вольфрам карбиди, титан карбиди ва кобальтдан иборат қотишмалар киради.

43-жадвалда металлокерамик қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби, 44-жадвалда эса уларнинг энг муҳим хоссалари келтирилган.

43-жадвал

Металлокерамик қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 3882 — 53)

Қотишмалар группаси	Қотишманинг маркаси	Қўшимчалар ҳисобга олинмагандаги таркиби, % ҳисобида		
		вольфрам карбиди WC	титан карбиди TiC	кобальт Co
Вольфрамли қотишмалар	ВК2	98	—	2
	ВК3	97	—	3
	ВК4	96	—	4
	ВК6	94	—	6
	ВК8	92	—	8
	ВК10	90	—	10
	ВК11	89	—	11
	ВК15	85	—	15
Титан-вольфрамли қотишмалар	Т5К10	85	5	10
	Т14К8	78	14	8
	Т15К6	79	15	6
	Т30К4	66	30	4
	Т60К6	34	60	6

Биринчи группа қаттиқ қотишмалари. Бу группага кирувчи қотишма таркибида кобальтнинг миқдори қанча кўп бўлса, қотишманинг қаттиқлиги шунча паст бўлиб, улар анча паст температурада юмшайди, аммо

* Проф. А. П. Гуляев металлокерамик қаттиқ қотишмаларни карбид фазаларнинг табиатига кўра, уч группага: вольфрам карбиди ва кобальтдан иборат бир карбидли (ВК), вольфрам карбиди, титан карбиди ва кобальтдан иборат икки карбидли (ВТК), (Ti, W)C карбиди билан кобальтдан иборат бир карбидли (ТК) группаларга бўлади. ВК группасига ВК2, ВК3, ВК4. ВК6, ВК8, ВК10, ВК11, ВК15 маркали қотишмаларни, ВТК группасига Т5К10, Т14К8, Т15К6 маркали қотишмаларни, ТК группасига эса Т30К4, Т60К6 маркали қотишмаларни киритади.

44-жадвал

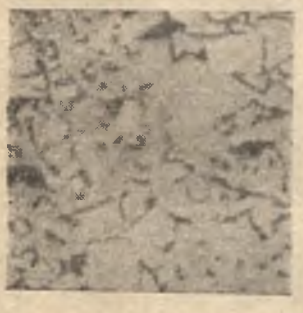
Металлокерамик қаттиқ қотишмаларнинг энг муҳим хоссалари

Қотишманинг маркаси	Солиштирма оғирлиги γ, $Г/см^3$	Қаттиқлиги *HRA*, камида	Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_{эг}$, $кГ/мм^2$, камида	Зарбий қовушоқлиги $a_н$, $кГм/см^2$	Эластиклик модули *E*, $кГ/мм^2$
ВК2	15,0—15,4	90,0	100	0,28	Барча қотишмалар учун 45000 — 55000
ВК3	14,9—15,2	89,0	100	0,34	
ВК4	14,9—15,1	89,5	130	—	
ВК6	14,6—15,0	88,0	120	0,67	
ВК8	14,4—14,8	87,5	130	0,74	
ВК10	14,2—14,6	87,0	135	0,85	
ВК11	14,0—14,4	86,0	150	0,95	
ВК15	13,9—14,1	86,0	160	1,05	
Т5К10	12,3—13,2	88,5	115	0,63	
Т14К8	11,2—12,0	89,5	115	0,60	
Т15К6	11,0—11,7	90,0	110	0,58	
Т30К4	9,5—9,8	82,0	90	0,69	
Т60К6	6,5—7,0	90,0	75	0,43	

унинг мўртлиги пастроқ бўлади, демак, бундай қотишмадан кичикроқ тезлик билан кесадиган асбоблар ясаш мумкин.

ВК3 маркали қаттиқ қотишманинг тузилиши 254-расмда тасвирланган.

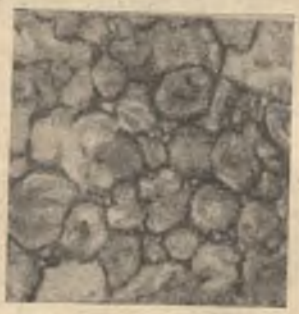
Иккинчи группа қаттиқ қотишмалари. Бу группанинг энг типик вакили Т15К6 маркали қаттиқ қотишма бўлиб, унинг таркиби аралашма



254-расм. ВК3 маркали қаттиқ қотишманинг микроскопик тузилиши (оқиш доналар — вольфрам карбидининг кристаллари).



255-расм. Т15К6 маркали қаттиқ қотишманинг микроскопик тузилиши [қора йирик доналар — (Ti, W)C карбидининг заррачалари].



256-расм. Т30К4 маркали қаттиқ қотишманинг микроскопик тузилиши.

қовуштирилишидан олдин 15% TiC ва 79% WC дан, қовуштириб бўлингандан кейин эса 50% дан ортиқдоқ (Ti, W)C карбидидан иборат бўлади, чунки аралашмани қовуштириш вақтида диффузия процесси бориб, вольфрам билан углерод титан карбидида эрийди.

Т15К6 маркали қаттиқ қотишманинг микроскопик тузилиши 255-расмда тасвирланган.

Шихтада, яъни қовуштириладиган аралашмада 30 ва 60% титан карбиди бўлганда (Т30К4 ва Т60К6 қотишмалари) вольфрамнинг ҳаммаси титан карбидида эрийди. Т30К4 маркали қаттиқ қотишманинг микроскопик тузилиши 256-расмда тасвирланган.

Титан карбиди вольфрам карбидидан анча пухта бўлади, аммо унинг мўртлиги вольфрам карбидиникидан юқоридир.

Баъзи металлокерамик қаттиқ қотишмаларнинг нималарга ишлатилишини қисқача айтиб ўтамиз.

ВК3, ВК6 қотишмаларидан мўрт материалларни, масалан, шиша, тош чинни ва бошқаларни кесиб ишлашда фойдаланилади.

ВК4 қотишмаси — чўянни, рангдор металлар ва уларнинг қотишмаларини, металлмас материалларни, титан ва титанли қотишмаларни йўниш, фрезерлаш, пармалашда ишлатилади.

ВК8 қотишмасидан чўянни, рангдор металлар ва уларнинг қотишмаларини кесиб ишлашда фойдаланилади. Агар бу материалларни ишлашда кесиш тезлигини, суришни ва кесиш чуқурлигини ошириш зарур бўлса, таркибидаги кобальт миқдори кўпроқ бўлган қаттиқ қотишма олиниши керак.

Т5К10 қотишмаси қаттиқ қобиқли (куйиндили) пўлатларни хомаки йўнишда, зарб билан кесишда (йўнишда) ишлатилади.

Т14К8, Т15К6 қотишмаларидан пўлатни юқори тезлик билан хомаки ва тозалаб йўнишда фойдаланилади.

Т30К4, Т60К6 қотишмалари — пўлатни катта тезлик билан, аммо кесиш чуқурлиги ва суришни кичик олиб, тозалаб йўнишда ишлатилади.

2-§. ҚУЙМА ҚАТТИҚ ҚОТИШМАЛАР

Қуйма қаттиқ қотишмаларнинг энг кўп ишлатиладиганлари сормайт № 1, сормайт № 2 ва стеллит (В2К ҳамда В3К)дир. Сормайт № 1 қаттиқ қотишмаси кўп легирланган, эвтектикадан кейинги оқ чўян, сормайт № 2 қаттиқ қотишмаси кўп легирланган, эвтектикагача бўлган оқ чўян, стеллит эса асосан кобальтдан иборат қотишмадир.

Қуйма қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби 45-жадвалда келтирилган.

45-жадвал

Қуйма қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % хисобида							
	Cr	Ni	C	Si	Mn	Co	W	Fe
Стеллит В2К	27—33	2—3	1,8—2,5	1—2	1—1,5	47—53	13—17	≤2
Стеллит В3К	28—32	2—3	1,0—1,5	2,5—2,8	—	58—62	4—5	≤2
Сормайт № 1	25—31	3—5	2,5—3,3	2,8—4,2	1,5	—	—	қолгани
Сормайт № 2	13—17,5	1,3—2,2	1,5—2,0	1,5—2,2	1,0	—	—	»

Қуйма қаттиқ қотишмалар асбоб ва деталларнинг тез ейиладиган иш сиртларининг ейилишга чидамлилигини ошириш мақсадида уларга газ аланғаси ёки электр ёйи ёрдамида суюқлантириб қоплаш учун ишлатилади. Сормайт № 1 қотишмасининг қаттиқлиги сормайт № 2 қотишмасиникига қараганда анча юқори, қовушоқлиги эса анча паст бўлади. В2К маркали қотишма В3К маркали қотишмага қараганда қаттиқроқдир, чунки В2К қотишмасида вольфрам ва углерод миқдорлари кўпроқ, В3К қотишмасида эса кобальт миқдори кўпроқдир (45-жадвалга қаранг).

Қаттиқлиги ва ейилишга чидамлилиги юқорироқ бўлган қотишмалар зарб камроқ таъсир этадиган деталь ва асбоблар учун ишлатилади. Сормайт типидаги қотишмаларнинг афзаллиги шундан иборатки, уларнинг таркибида нодир ва қиммат турадиган кобальт билан вольфрам элементлари бўлмайди, аммо уларнинг ейилишга чидамлилик хоссалари В2К ҳамда В3К қотишмаларникидан пастроқдир.

Деталь ва асбобларнинг иш сиртига қаттиқ қотишма, одатда, икки қатлам қилиб қопланади. Қаттиқ қотишма қоплами жилвир тош билан силлиқланади. В2К, В3К қотишмалари қопламининг қаттиқлиги Роквелл бўйича 60—64 га, сормайт №1 қотишмаси қопламиники 45—50 га, сормайт №2 қопламиники эса 40—45 га етади. Деталь ва асбобларнинг қаттиқ қотишма суюқлантириб қопланган сиртининг ейилишга чидамлилиги ўрта ҳисобда 2—4 баравар ортади.

Қуйма қаттиқ қотишмалар ишлатиладиган асосий соҳаларни келтириб ўтамиз.

В2К, В3К қаттиқ қотишмаларидан юқори температурада коррозиловчи муҳитда ишлайдиган деталларнинг, масалан, клапанлар эгари, газ турбиналари кураклари, химия аппаратлари сиртини қоплаш учун фойдаланилади.

Сормайт №1 қаттиқ қотишмаси механик куч таъсири остида ишлайдиган, сирти силлиқ ва аниқ бўлиши талаб этиладиган тез ейилувчи деталлар учун ишлатилади.

Сормайт №2 қаттиқ қотишмасидан штамплаш асбоблари учун фойдаланилади.

Сиртига В2К, В3К, сормайт №1 ёки сормайт №2 қаттиқ қотишмалари қопланган деталлар асосий металининг механик хоссаларини юқори қилиш учун улар термик ишланади. В2К, В3К ва сормайт № 1 қотишмаларининг ўзи термик ишланмайди, сормайт № 2 қотишмаси эса 850—900°С да юмшатилади, 850—900°С гача қиздирилиб, сўнгра мойда тобланади ва 500°С гача қиздирилиб бўшатилади. Юмшатилган сормайт №2 нинг қаттиқлиги Роквелл бўйича 30—35 бўлади, тобланган кейинги қаттиқлиги 60—62 га етади, бўшатилганда эса қаттиқлиги ўзгармайди.

В. АЛОҲИДА ХОССАЛАРГА ЭГА БЎЛГАН ПЎЛАТ ВА ҚОТИШМАЛАР

1-§. ЗАНГЛАМАС (КОРРОЗИЯБАРДОШ) ПЎЛАТЛАР

Коррозия назарияси асослари. Пўлатнинг ташқи муҳит билан химиявий ёки электрохимиявий ўзаро таъсир этиши оқибатида емирилиш процесси *коррозия* деб аталади.

Пўлат коррозиланганда унинг физикавий ва механик хоссалари пасайиб кетади. Коррозия ҳодисаси машиналарнинг ишқаланувчи қисмлари орасидаги ишқаланишни кучайтиради, асбоб ва аппаратларнинг электр хоссаларини пасайтиради ва ҳоказо.

Пўлат ташқи агрессив муҳит таъсирига қанчалик яхши қаршилик кўрсатса, у шунчалик коррозиябардош бўлади. Пўлатнинг коррозиябардошлик даражаси унинг айни муҳит ва айни шароитда коррозиланиш тезлиги билан ўлчанади. Коррозиланиш тезлиги пўлатнинг юза бирлиги (1 $м^2$) дан вақт бирлиги (1 соат) ичида коррозиланган қисми оғирлиги ($г$) билан ифодаланади. Емирилган пўлат миқдорини шу пўлатнинг муайян вақт (1 йил) ичида коррозиланган қатламининг миллиметр ҳисобидаги қалинлиги (h) билан ҳам ифодалаш мумкин:

$$h = \frac{k}{1000\gamma},$$

бу формулада γ — пўлатнинг солиштирма оғирлиги;
k — пўлатнинг 1 йил ичида 1 $м^2$ юзидан коррозиланган қисми оғирлиги, $г$ ҳисобида.

К о р р о з и я н и н г а с о с и й т у р л а р и. Пўлатнинг коррозиланиш тезлигигина эмас, балки унинг сиртида коррозиланган жойларнинг қандай тақсимланиши ҳам ниҳоятда муҳимдир. Агар пўлатнинг бутун сирти бир қадар текис коррозиланган бўлса, бундай коррозия *текис коррозия* деб аталади (257-расм, *а*). Агар пўлат сиртининг кўп қисми коррозиланмай, айрим жойларигина коррозиланса, бундай коррозия *маҳаллий коррозия* деб аталади (257-расм, *б*). Коррозия қанчалик нотекис бўлса, у шунчалик хавфлидир. Пўлат ва баъзи бошқа металл ҳамда қотишмалар чучук ва шўр сувда, тупроқда, баъзи оксидловчи муҳитда, кўпинча, маҳаллий коррозияга учрайди. Пўлат доналари (кристаллитлари) чегараси емирилса, бундай коррозия *кристаллитлараро (интеркристаллит) коррозия* деб аталади (257-расм, *в*). Коррозиянинг бу тури ниҳоятда хавфлидир, чунки бундай коррозиланган пўлатнинг механик хоссалари кучли даражада пасайган бўлишига қарамай, унинг ташқи кўриниши деярли ўзгармай қолади. Пўлатга агрессив муҳит ва механик кучланишлар (статик ва динамик кучланишлар) бир вақтда таъсир этса, уларда *коррозион дарзлар* ҳосил бўлади (257-расм, *г*). Пўлатга бир вақтнинг ўзида агрессив муҳит билан статик кучланиш таъсир этса, бу пўлатда *коррозион емирилиш* деб аталадиган ҳодиса юз беради, яъни унда ингичка ёриқлар ҳосил бўлиб, пўлатнинг пластиклигини пасайтириб юборади, уни мўрт қилиб қўяди, бу ёриқлар эса кенгайиб, пўлат батамом емирилади. Пўлатга коррозиловчи муҳит билан динамик кучланиш бир вақтда таъсир этса, пўлатда *коррозион толиқиш* деб аталадиган ҳодиса юз беради ва пўлат фақат динамик кучланиш таъсир этгандагига қараганда анча кичик кучланишларда емирилади.

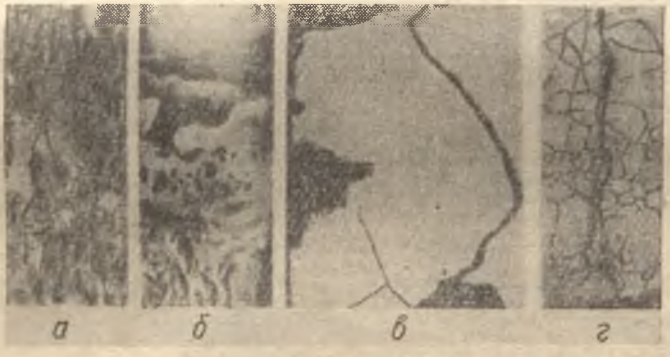


257-расм Коррозиянинг асосий турлари:
а — текис коррозия; *б* — маҳаллий коррозия; *в* — кристаллитлараро коррозия; *г* — коррозион дарзлар.

258-расмда коррозион емирилишларнинг асосий турларига мисоллар келтирилган.

К о р р о з и я н а з а р и я с и г а о и д қ и с қ а ч а т а р и х и й м а ъ л у м о т. Металлар коррозияси ва металларни коррозиядан ҳимоя қилиш тўғрисидаги таълимотга асос солган олим М. В. Ломоносовдир. Ломоносов XVIII асрнинг ўрталарида кислоталарнинг металларга таъсирини текширар экан, металларнинг коррозиланиш ҳодисаси тузларнинг сувда эриш ҳодисасидан катта фарқ қилишини аниқлади, металларнинг пассив ҳолатини кашф этди ва уларнинг оксидланишида бўладиган ҳодисаларнинг моҳиятини биринчи бўлиб тушунди. Металлар коррозияси назариясининг ривожланишида инглиз олими М. Фарадейнинг ишлари катта аҳамиятга эга бўлди. М. Фарадей 1833—1834 йилларда электролизнинг асосий қонунларини топди ва металларнинг пассивлиги уларнинг сиртида жуда юпқа, кўзга кўринмайдиган ҳимоя пардаси борлигидан келиб чиқади деган гипотезани (фаразни) майдонга ташлади. 1830 йилда Швейцария физик-химиги О де ла Рив тоза рухнинг ва металл

қўшимчалар билан ифлосланган рухнинг кислотада эришига оид тажрибалар асосида микрогальваник элементлар тўғрисидаги гипотезани илгари сурди, бу гипотезага кўра, кислотага туширилган металл сиртида микроскопик гальваник жуфтлар ҳосил бўлиши ҳисобига металл коррозиланади, бунда металлнинг ўзи анод ролини, қўшимчанинг заррачалари эса катод ролини ўйнайди. XIX асрнинг етмишинчи йилларида рус физиги Н. П. Слугин ўзининг эксперимент ал ишлари ва назарий тадқи-



258- расм. Коррозион емирилиш турлари:

а — денгиз сувида турган пўлатдаги текис коррозия; *б* — пўлат устунқозиқдаги маҳаллий коррозия, *в* — пўлатдаги кристаллитлараро коррозия. *г* — аммоний сульфат эритмаси таъсирида бўлган зангламас пўлатдаги коррозион толиқиш ёриқлари.

қотлари асосида, коррозиланаётган металл сиртидаги микрогальваник элементларнинг табиати тўғрисида оригинал фикрларни баён этди. XX асрнинг бошида рус химиги В. А. Кистяковский коррозия процессини тўхтатувчи муҳим фактор — ҳимояловчи оксид пардаси назариясини ривожлантирди.

Коррозия тўғрисидаги фанни тараққий эттиришда совет химиги Г. В. Акимовнинг хизмати каттадир. Г. В. Акимов металлар коррозияси тўғрисидаги ҳозирги замон таълимотининг асосий соҳаларини яратди ва металларни коррозиланишдан ҳимоя қилишнинг кўпгина амалий масалаларини ҳал қилди.

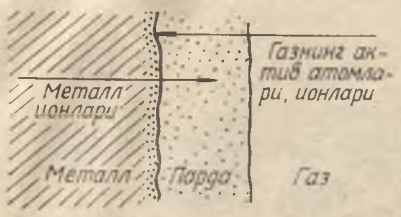
Химиявий ва электрохимиявий коррозия. Металларнинг коррозиланиш процесси характерига кўра, барча коррозия ҳодисаларини иккита катта группага: химиявий коррозия билан электрохимиявий коррозия группаларига бўлиш мумкин. Электр токи ўтказмайдиган агрессив муҳитда, масалан, юқори температурагача қизиган газлар, нефть, бензин, сурков мойларида металл химиявий коррозияга учрайди. Металларнинг химиявий коррозиланиш процесси, асли моҳияти билан олганда, муҳитдаги агрессив таркибий қисмларнинг металл билан бирикишидан иборат. Масалан, пўлат ҳаво ёки газлар иштирокида юқори температурагача қиздирилганда пўлат таркибидаги темир оксидланиб, куюндига айланади.

Металларнинг юқори температурада газ муҳитда коррозиланиши коррозиянинг нисбатан оддий туридир. Бу ерда коррозия тезлиги, асосан, металлнинг коррозиланиши натижасида ҳосил бўлган маҳсулот қатлами (ҳимоя пардаси) хоссаларига боғлиқ бўлади. Агар металл сиртида коррозиланиш натижасида ҳосил бўлган ҳимоя пардаси муҳит актив заррачаларининг (атом ёки молекулаларининг) металл сиртига, металл атомларининг эса ташқарига диффузиланиши учун яхши қаршилик кўрсатса (259- расм), металлнинг коррозиланиш тезлиги кичик

бўлиб, ҳимоя пардаси қалинлашган сари коррозия процесси тўхтайди. Бунда металлнинг коррозиланиш тезлиги, кўпинча, қуйидаги оддий қонунга бўйсунади:

$$K = A\sqrt{T},$$

бу ерда A — константа;
T — вақт.



259- расм. Химиявий коррозия вақтида атомларнинг (ионларнинг) икки томонлама диффузиланиш схемаси

Температура кўтарилган сари муҳит актив атомларининг ва металл атомларининг ҳимоя пардаси орқали диффузиланиш тезлиги экспоненциал қонун асосида ортиб боргани учун, коррозиланиш тезлиги ҳам худди шундай ортиб боради:

$$K_{\text{хим.}} = K' e^{\frac{b}{273+t}},$$

бу ерда K' ва b — константалар;
t — температура, °С ҳисобида.

Металлда ҳосил бўладиган ҳимоя пардаларининг хоссалари металлнинг таркибига, муҳитнинг таркибига ва шароитга (температура, вақт, муҳитнинг ҳаракатланиш тезлиги ва бошқаларга) боғлиқдир. Пардалар ҳосил бўлиши ва уларнинг ўсишида шу пардани металл сиртига параллел равишда сиқишга ва уни металлдан ажратиб юборишга интилувчи механик кучланишлар катта аҳамиятга эгадир. Шунинг учун нисбатан юпқа пардаларнинг коррозиядан ҳимоя қилиш хоссалари юқори бўлади.

Металларнинг электр токи ўтказадиган суюқ муҳитда — электролит эритмасида коррозиланиш процесси *электрохимиявий коррозия* дейилади. Бундай коррозия электролит эритмасидаги металл заррачаларининг эритмага ўтишидан иборат. Металл заррачаларининг эритмага ўтиш вақтида металлнинг бир қисмидан иккинчи қисмига эквивалент равишда электронлар кўчади. Металл электролит эритмасига, масалан, денгиз сувига, кислота эритмаси, ишқор эритмаси ва бошқаларга текканда шу металл сиртида кўпдан-кўп микрогальваник элементлар ҳосил бўлади. Бунда потенциали пастроқ металл заррачалари анод ролини, потенциали юқорироқ қўшимчалар, шунингдек, металлнинг (пўлатнинг) баъзи структура ташкил этувчилари катод ролини ўйнайди. Микрогальваник элементларда ҳам, одатдаги гальваник элементлардаги каби, анод эриб, катодда унинг бутунлигига путур етказувчи процесслар содир бўлади.

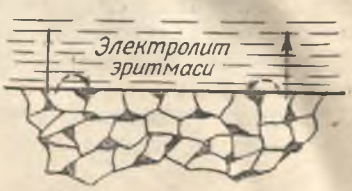
Маълумки, металл ва қотишмалар, кўпчилик ҳолларда, бир жинсли бўлмайди ва икки фазадан, масалан, феррит билан цементитдан иборат бўлади. Бундай қотишма электролит эритмасига туширилганда унинг айрим гетероген доналарида потенциал турлича бўлади, доналар металл массаси орқали ўзаро туташганлигидан, бу қотишма кўпдан-кўп микрогальваник элементлардан иборат бўлади.

260- расмда икки фазали қотишманинг коррозиланиш ҳодисаси схема тарзида тасвирланган.

Схемада анод (оқ рангдаги қисмлар) заррачаларининг эритмага ўтиши туташ стрелка билан, электронларнинг аноддан катодга (қора рангдаги қисмлар) эквивалент ўтиши эса пунктир стрелка билан кўрсатилган.

Юқорида айтилганлардан тоза металлар ва бир фазали қотишмаларнинг коррозиябардошлик хусусияти фазалар аралашмасидан иборат

қотишмаларникига қараганда юқори бўлиши керак деган хулоса келиб чиқади. Масалан, тобланиб, структураси мартенситга айлантирилган пўлатнинг коррозиланиш даражаси юмшатилган ёки юқори температурада бўшатилган (структураси перлит, сорбит ёки трооститга айлантирилган) худди шу пўлатникига қараганда паст бўлади. Аммо бир фазали қотишмаларда ҳам электрод потенциали асосий металлникидан бошқача қўшимчалар бўлади. Бу айтилганлар металлнинг деформацияланган қисмига ҳам оиддир. Шунинг учун электрохимиявий коррозия бир фазали қотишмаларда ҳам бўлиши мумкин.



260- расм. Электрохимиявий коррозиянинг схемаси.

Металл сиртида химиявий коррозия натижасида ҳосил бўлган оксид пардаси металлни электрохимиявий коррозиланишдан ҳам сақлайди, чунки у металлни электролит эритмаси таъсиридан ҳимоя қилади. Потенциаллари жуда паст бўлган баъзи металларнинг, масалан, алюминий, хром ва бошқаларнинг коррозиябардошлик хусусияти юқори бўлишига сабаб ҳам ана шу.

Баъзи элементлар потенциалларининг қиймати 46- жадвалда келтирилган.

46- жадвал

Элементнинг номи ва химиявий белгиси	Водородга нисбатан нормал потенциали	Элементнинг номи ва химиявий белгиси	Водородга нисбатан нормал потенциали
Олтин (Au)	+1,500	Никель (Ni)	—0,230
Симоб (Hg)	+0,860	Кобальт (Co)	—0,270
Кумуш (Ag)	+0,800	Темир (Fe)	—0,439
Мис (Cu)	+0,344	Хром (Cr)	—0,510
Висмут (Bi)	+0,226	Рух (Zn)	—0,762
Сурьма (Sb)	+0,200	Марганец (Mn)	—1,100
Водород (H)	0,000	Алюминий (Al)	—1,300
Қўрғошин(Pb)	—0,127	Магний (Mg)	—1,550
Қалай (Sn)	—0,136	Натрий (Na)	—2,710

Тоза темирнинг ва кам легирланган пўлатларнинг коррозиябардошлиги паст бўлади, чунки уларнинг сиртида ҳосил бўладиган оксидлар пардаси етарли даражада зич бўлмаганлигидан ўзининг остидаги металлни муҳитнинг химиявий ва электрохимиявий таъсиридан ҳимоя қила олмайди. Пўлатга баъзи элементлар, масалан, хром, алюминий, кремний ва бошқалар қўшилса, унинг коррозиябардошлиги кучли даражада ортади.

Энди, пўлатга хромнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик. Пўлатга тахминан 12% хром қўшилса, унинг атмосферадаги ва кўпгина бошқа муҳитлардаги коррозиябардошлик хоссаси кучли даражада ортади. Таркибидаги хром миқдори 12% дан кам пўлатнинг коррозиябардошлик хоссаси худди темирники каби, яъни паст бўлади. Таркибида 12—14% дан ортиқ хром бўлган пўлатнинг коррозиябардошлик хоссаси олтин, платина ва кумушникидан қолишмайди. Бундай пўлатнинг потен-

циали тахминан +0,2 вольтга тенг бўлиб, ҳавода, сувда, баъзи кислота, туз ҳамда ишқорларнинг эритмаларида зангламайди.

Хромли зангламас пўлатлар. Хромли зангламас пўлатлар таркибида 11 дан 30% гача хром ва 0,08 дан 0,44% гача углерод бўлади. Хромли зангламас пўлатларнинг таркиби оддий, нархи эса зангламас бошқа пўлатларникидан арзонроқ бўлганлигидан улар техникада кенг кўламда ишлатилади.

Хромли зангламас пўлатлардан баъзиларининг химиявий таркиби 47- жадвалда келтирилган.

47- ж а д в а л

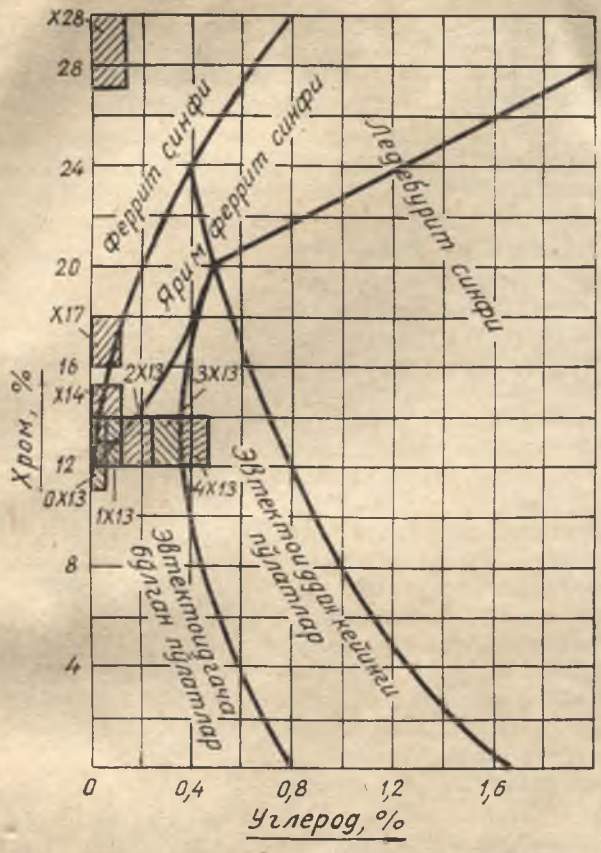
Хромли зангламас пўлатларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 5632-61)

Пўлатнинг синфи	Пўлатнинг тури	Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
			C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	P	S
Феррит	13%Cr	0X13	≤0,08	11—13	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,03	≤0,025
Мартенсит -феррит		1X13	0,09—0,15	12—14	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,03	≤0,025
Мартенсит		2X13	0,16—0,24	12—14	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,03	≤0,025
Мартенсит		3X13	0,25—0,34	12—14	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,02	≤0,025
Мартенсит		4X13	0,35—0,44	12—14	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,03	≤0,025
Феррит		X14	≤0,15	13—15	—	—	≤0,6	≤0,6	≤0,03	≤0,025
Феррит	17%Cr	X17	≤0,12	16—18	—	—	≤0,7	≤0,8	≤0,03	≤0,025
Феррит		0X17T	≤0,08	16—18	—	5C*—0,8	≤0,7	≤0,8	≤0,03	≤0,025
Мартенсит		1X17H2	0,11—0,17	16—18	1,5—2,5	—	≤0,8	≤0,8	≤0,03	≤0,025
Феррит	25—28% Cr	X25T	≤0,15	24—27	—	5C*—0,8	≤0,8	≤1,0	≤0,03	≤0,025
Феррит		X28	≤0,15	27—30	—	—	≤0,8	≤1,0	≤0,03	≤0,025

* Титаннинг кичик миқдорини топиш учун углерод миқдори 5 га кўпайтирилади

47- жадвалдан кўриниб турибдики, хромли зангламас пўлатлар асосан уч турга бўлинади. Биринчи турга таркибида 13% хром бўлган пўлатлар, иккинчи турга таркибида 17% хром бўлган пўлатлар, учинчи турга эса таркибида ўрта ҳисоб билан 27% хром бўлган пўлатлар киради. А. П. Гуляев хромли зангламас пўлатларни мувозанатли структурасига кўра, Fe—C—Cr учлама система диаграммасидан фойдаланиб, синфларга бўлади. Бундай система 261- расмда тасвирланган. Баъзи марка пўлатларнинг системадаги ўрни ичи штрихланган тўғри тўртбурчаклар тарзида кўрсатилган. Диаграммадан кўриниб турибдики, таркибида 12—14% хром бўлган зангламас пўлатлар, углерод миқдорига қараб, ҳар хил синфларга кириши мумкин (47- жадвалга қаранг). 0X13 маркали зангламас пўлат таркибидаги углерод миқдори 0,08% ёки ундан кам, хром миқдори эса 13% бўлганда соф феррит синфига, таркибидаги углерод миқдори ҳам, хром миқдори ҳам ўртача бўлганда ярим феррит синфига кириши мумкин.

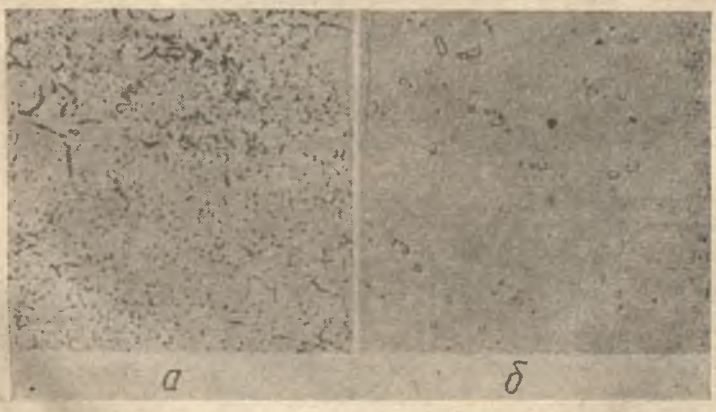
1X13 пўлати таркибидаги углерод билан хром миқдорига қараб, ярим феррит синфига ҳам, мартенсит синфига ҳам кириши мумкин. X14 маркали зангламас пўлат феррит синфига кирувчи пўлатдир, аммо унинг таркибидаги углерод миқдори 0,15% бўлганда у ярим феррит синфига киради. 2X13, 3X13 ва 4X13 пўлатлари мартенсит синфига оид, X17, X25T ва X28 пўлатлари эса феррит синфига оид пўлатлардир.



261- расм. Fe—C—Cr системаси (А.П. Гуляев).

X17 ва X25 маркали зангламас пўлатларнинг микроскопик тузилиши 262- расмда тасвирланган.

Юқорида баён этилганларга мувофиқ, хромли зангламас пўлатлар 900—1100°C гача қиздирилиб, сўнгра тобланган кейин 0X13 ва 1X13 пўлатларининг структураси феррит билан мартенситдан, 2X13, 3X13,



262- расм. Феррит синфига оид зангламас пўлатларнинг микроскопик тузилиши:

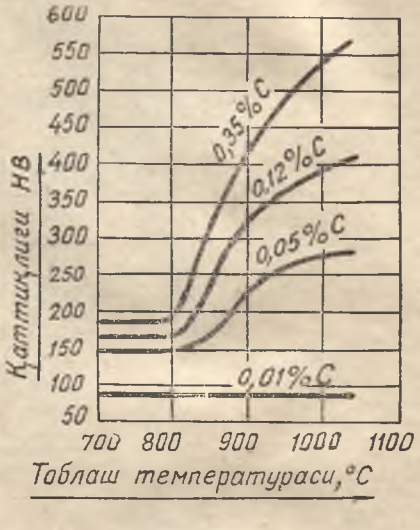
а — X17 пўлати; *б* — X25 пўлати.

4Х13 пўлатлариники мартенситдан, Х17, Х25Т, Х28 пўлатлариники эса ферритдан иборат бўлади.

Хромли зангламас пўлатлар қаттиқлигининг тоблаш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 263- расмда тасвирланган.

Хромли зангламас пўлатлардан баъзиларининг термик ишланиш режими ва термик ишлангандан кейинги механик хоссалари 48- жадвалда келтирилган.

Энг кўп тарқалган ва арзон турадиган зангламас пўлатлар Х13 турига кирувчи пўлатлар бўлиб, улар турмушда ва техникада кўп ишлатилади. Бу пўлатлардан турмушда пичоқ, қошиқ ва шу кабилар, техникада эса гидротурбина ҳамда буғ турбиналарининг кураклари ва бошқа деталлар тайёрланади. 1Х13, 2Х13 пўлатлари пластик бўлиб, яхши штампланади. 3Х13, 4Х13 пўлатларининг қаттиқлиги ва пухталиги юқори бўлганлиги учун улардан коррозиябардошлиги, ейилишга чидамлилиги ва пухталиги юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар, масалан, хирургия асбоблари, подшипниклар, пружиналар ва актив муҳитда ишлайдиган деталлар тайёрланади. Х13 турига кирувчи зангламас пўлатларнинг ҳаммаси яхши пайвандланади. Таркибида ўрта ҳисоб билан 17% хром бўладиган зангламас пўлатларнинг коррозиябардошлик хоссалари янада юқоридир. Х17 турига кирувчи зангламас пўлатларнинг таркибида хром миқдори кўп бўлганлигидан оловбардош ва кислотабардош пўлатлар сифатида ишлатилади. Х25 ва Х28 типидаги пўлатлардан печларнинг 1050 дан 1150°С гача температурада ишлайдиган деталлари, масалан, муфеллар, термопараларнинг ғилофлари ва шу кабилар тайёрлашда фойдаланилади.



263- расм. Хромли зангламас пўлатлар қаттиқлигининг тоблаш температурасига қараб ўзгариши (А. П. Гуляев).

Феррит синфига кирувчи зангламас пўлатлар ўта қизиганда, масалан, пайвандлаш вақтида, йирик донали бўлиб қолади, уларнинг бу нуқсонини термик ишлаш билан йўқотиб бўлмайди, чунки уларда фазалар ўзгармайди. Доналарнинг йириклашуви оқибатида эса пўлат анча мўрт бўлиб қолади. Бу ҳол феррит синфидаги хромли зангламас пўлатларнинг катта камчилигидир.

Феррит синфидаги зангламас пўлатлар доналарнинг ўсиш температурасидан паст температурада, яъни 450—700°С температураларда узоқ вақт тутиб турилганда ҳам, гарчи майда донали бўлса-да, мўртлашади, чунки 450°С да доналар чегарасида карбидлар ажралиб чиқса, 700°С да мўрт фаза (FeCr) ҳосил бўлади. Бу пўлатларга титан ва азот қўшилса, ўта қизиганда доналарининг йириклашуви бир қадар тўхтайди, чунки титан карбидлари ва нитридлари ҳосил бўлади. Х17 типидаги зангламас пўлатларга никель қўшилиб, таркибидаги углерод миқдори оширилса, бу пўлатларда $\gamma \rightleftarrows \alpha$ ўзгариш содир бўлади, аммо бу ўзгариш охирига етмайди, лекин, шунга қарамай, пўлатларнинг пухталиги сезиларли да-

48-жадвал

Хромли зангламас пўлатларнинг термик ишланиш режими ва термик ишлангандан кейинги механик хоссалари

Пўлатнинг маркаси	Пўлатни термик ишлаш режими	Механик хоссалари					
		қаттиқлиги	$\sigma_в$, $Мн/м^2$	$\sigma_{оқ}$, $Мн/м^2$	δ, %	ψ, %	$a_н$, $кж/м^2$
0X13	760°С гача қиздирилиб, мойда совитилади	—	400	—	20	—	—
1X13	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 780°С да мойда бўшатилади	—	600	420	20	60	900
2X13	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 700°С да мойда бўшатилади	—	850	650	10	50	600
3X13	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 300°С да бўшатилади	*HB*487	1600	1300	3	4	—
4X13	Бу ҳам	*HRC*52	1680	1400	4	8	—
X17H2	1000°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 350°С да бўшатилади	—	1100	—	70	—	550
X17, 0X17T	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 750°С да бўшатилади	—	450	300	15—25	40—50	200—800
X25T, X28	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 750°С да бўшатилади	—	450	300	20	45	—
1X17H2	1050°С гача қиздирилиб, мойда тобланади ва 300°С да бўшатилади	—	1100	900	10	35	500

ражада ортади. Бу пўлатлар ичида X17H2 пўлати пухталиги юқори пўлатдир.

Хром-никелли зангламас пўлатлар. Хром-никеллли зангламас пўлатларнинг химиявий таркиби 49-жадвалда келтирилган.

Таркибида ўрта ҳисоб билан 18% хром бўлган пўлатга етарли даражада никель қўшилса, пўлатнинг механик хоссалари яхшиланади, бундай пўлат доналарининг йириклашувга мойиллиги пасаяди ва пўлатнинг коррозиябардошлиги ортади, чунки никель бундай пўлатни барча температуралар оралиғида аустенит ҳолатига ўтказади.

X18H9 типидаги хром-никелли зангламас пўлатлар машинасозликда, кенг истеъмол буюмлари ишлаб чиқаришда, архитектурада ва бошқа соҳаларда кўп ишлатилади.

Биз бу ерда аустенит синфига кирувчи хром-никелли зангламас пўлатларни кўриб чиқамиз.

Таркибида 18% хром бор зангламас пўлатнинг структураси аустенитдан иборат бўлиши учун унда камида 9% никель бўлиши керак. Никель миқдори 9% дан камайса, ёки никель 9% бўлиб, хром миқдори 18% дан ошса, пўлат барча температуралар оралиғида икки фазали бўлиб қолади.

Таркибида 18% хром ва 8—15% никель бўладиган пўлатларнинг аустенит ҳолати, таркибининг ўзгаришига қараб, барқарор ва беқарор бўлиши мумкин. Пўлатнинг аустенит ҳолати беқарор бўлганда пўлат 0°С дан паст температураларгача совитилганда ва пластик деформацияланганда унда мартенсит ҳосил бўлиши мумкин. Пўлат бир вақтнинг

ўзида ҳам пластик деформацияланса, ҳам нолдан паст температураларгача совитилса, пўлатда гексагонал мартенсит ҳосил бўлади. Бу мартенсит кейин одатдаги мартенситга айланади, демак, гексагонал мартенсит юқоридаги шароитда оралиқ ҳолатдир.

Амалий жиҳатдан олганда, таркибида 18% хром ва 8—10% никель бўлган аустенит беқарор бўлиб, нолдан паст температураларгача совитилганда ёки нормал температурада пластик деформацияланганда мартенсит ҳосил қилади. Таркибида 18% хром ва 10—12% никель бўлган аустенит 0° дан паст температураларда пластик деформацияланганда мартенсит ҳосил қилади. Таркибида 18% хром ва 12% дан ортиқ никель бўлган аустенит мутлақо барқарор бўлиб, 0° дан паст температураларда пластик деформацияланганда ҳам, 0° дан паст температураларгача совитилганда ҳам мартенситга айланмайди.



264- расм. Зангламас пўлатнинг (аустенит пўлатининг) типик структураси.

Хром-никелли зангламас пўлатнинг (аустенит пўлатининг) типик структураси 264-расмда тасвирланган.

Металлургия заводларида ишлаб чиқариладиган хром-никелли зангламас пўлатлар таркибида, хром ва никелдан ташқари, бошқа қўшимчалар ҳам бўлади. Бинобарин, улар темир, хром ва никелнинг ўзидангина иборат қотишмалар эмас. Хром-никелли пўлатдаги бошқа қўшимчалар γ ва α-фазаларда эриб, мувозанат шароитига ва γ-фазанинг α-фазага ёки α-фазанинг γ-фазага айланиш кинетикасига таъсир этади. Агар қўшимчалар янги фазалар, масалан, карбид, нитрид, интерметаллид ва бошқалар ҳосил қилса, бу фазаларнинг $\gamma \rightleftarrows \alpha$ ўзгаришга таъсири унча бўлмаса ҳам, аммо пўлатнинг хоссаларини жуда ўзгартириб юбориши мумкин. γ- фазада ва α- фазада эриган элементлар γ- фазанинг α- фазага айланиш процессининг боришига имкон бериши ёки бу процесснинг боришига тўсқинлик қилиши мумкин. γ- фазанинг α- фазага айланиш процессининг боришига имкон берувчи элементлар *феррит ҳосил қилувчи элементлар* деб, γ- фазанинг α- фазага айланиш процессининг боришига тўсқинлик қилувчи элементлар эса *аустенит ҳосил қилувчи элементлар* деб аталади.

Феррит ҳосил қилувчи элементлар жумласига молибдан, вольфрам, титан, ниобий, тантал, кремний кирса, аустенит ҳосил қилувчи элементлар жумласига углерод, азот ва марганец киради.

Хром-никелли пўлатларни уч синфга: аустенит синфига, аустенит-мартенсит синфига ва аустенит-феррит синфига бўлиш мумкин.

Аустенит синфидаги пўлатларда аустенит барқарор бўлади.

Аустенит-мартенсит синфидаги пўлатлар қиздирилиб, сўнгра ҳавода совитилганда уларда бир оз миқдор мартенсит ҳосил бўлади.

Аустенит-феррит синфидаги пўлатларда аустенит барқарор бўлиши ҳам, беқарор бўлиши ҳам мумкин. Бу учала синф пўлатларининг химиявий таркибини 49- жадвалдан қаранг. 49- жадвалда соф хром-никелли пўлатлардан ташқари, бошқа элементлар, жумладан, марганец ва азот билан легирланган пўлатлар ҳам берилган. Шуни айтиб ўтиш керакки, никель ўрнига азот ва марганец билан легирланган Х17АГ14 (ЭП-213) пўлатини хром-никелли пўлат деб бўлмайди. Бу пўлат занг-

49- жадвал

Хром-никелли занглмас пўлатларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 5632-61)

Пўлатнинг синфи	Пўлатнинг маркаси	Пўлатнинг тури	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
			C	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	Nb	бошқа элементлар
Аустенит	Х18Н9 (ЭЯ1)	18—9	≤0,12	1—2	17—19	8—10	—	—	—	—
	2Х18Н9 (ЭЯ2)		0,13—0,21	1—2	17—19	8—10	—	—	—	—
	Х18Н9Т (ЭЯ1Т)		<0,12	1—2	17—19	8—9,5	(%C*—0,02)—5—0,7	—	—	—
	00Х18Н10 (ЭИ-842)	18—10	<0,04	1—2	17—19	9—11	—	—	—	—
	0Х18Н10 (ЭЯ0)		<0,08	1—2	17—19	9—11	—	—	—	—
	Х18Н10Е (ЭИ-453)		<0,12	1—2	17—19	9—11	—	—	—	Se ёки Ге 0,18—0,35
	0Х18Н10Т (ЭИ-14)		<0,08	1—2	17—19	9—11	%C·5**—0,6	—	—	—
	Х18Н10Т (ЭЯ1Т)		<0,12	1—2	17—19	9—11	(%C*—0,02)·5—0,7	—	—	—
	0Х18Н11 (ЭИ-684)	18—12	<0,06	1—2	17—19	10—12	—	—	—	—
	0Х18Н12Т		<0,08	1—2	17—19	10—13	%C·5**—0,6	—	—	—
	Х18Н12Т		<0,12	1—2	17—19	10—13	(%C*—0,02)·5—0,7	—	—	—
	0Х18Н12Б (ЭИ-402)		<0,08	1—2	17—19	10—13	—	—	%C****·8—1,2	—
	Х14Г14Н	Cr—Ni—Mn	<0,12	13—15	13—15	1—1,5	—	—	—	—
	Х14Г14Н3Т(ЭИ-711)		<0,10	13—15	13—15	2,5—3,5	%C***—0,03) 5—0,6	—	—	—
	Х17Г9АН4 (ЭИ-878)		<0,12	8—10,5	16—18	3.5—4,5	—	—	—	N—0,15—0,25
	Х17АГ14 (ЭП-213)		<0,15	13,5—15,5	16—18	<0,6	—	—	—	N—0,3—0,4

49-жадвал (давоми)

Пўлатнинг синфи	Пўлатнинг маркаси	Пўлатнинг тури	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
			C	Mn	Cr	Ni	Ti	Mo	Nb	бошқа элементлар
Аустенит	Х17Н13М2Т(ЭИ-448)	Cr—Ni—Mo	<0,10	1—2	16—18	12—14	0,3—0,6	1,8—2,5	—	—
	Х17Н13М3Т(ЭИ-432)		<0,10	1—2	16—18	12—14	0,3—0,6	3—4	—	—
	Х16Н15М3Б(ЭИ-847)		<0,09	<0,6	15—17	14—16	—	2,5—3,0	0,6—0,9	—
	0Х23Н28М3Д3Т (ЭИ-943)	Cr—Ni—Mo—Cu	<0,06	<0,8	22—25	26—29	0,4—0,7	2,5—3,0	—	Cu—2,5—3,5
Аустенит-мартенсит	Х15Н9.О (ЭИ-904)		<0,09	<0,8	14—16	7—9,4	—	—	—	Al—0,7—1,3
	Х17Н7.О (ЭИ-973)		<0,09	<0,8	16—18	6,5—7,5	—	—	—	Al—0,8—1,3
Аустенит-феррит	0Х21Н5Т (ЭИ-53)	21—5	<0,08	<0,8	20—22	4,8—5,8	0,3—0,6	—	—	—
	1Х21Н5Т (ЭИ-811)		0,09—0,14	<0,8	20—22	4,8—5,8	(%C*—0,02)·5—0,8	—	—	—
	0Х21Н6М2Т (ЭП-54)		<0,08	<0,8	20—22	5,5—6,5	0,2—0,4	1,8—2,5	—	—

* Титаннинг кичик миқдорини топиш учун углерод миқдоридан 0,02 айрилиб, 5 га кўпайтирилади.
** Титаннинг кичик миқдорини топиш учун углерод миқдори 5 га кўпайтирилади.
*** Титаннинг кичик миқдорини топиш учун углерод миқдоридан 0,03 айрилиб, 5 га кўпайтирилади.
**** Ниобийнинг кичик миқдорини топиш учун углерод миқдори 8 га кўпайтирилади.

ламас пўлат бўлганлиги учун хром-никелли пўлатлар жумласига киритилган.

Зангламас пўлатларнинг қўшимча элементлар билан легирланиши натижасида уларда янги фазалар ҳосил бўлади. Зангламас пўлатларнинг хоссаларига ана шу фазаларнинг қандай таъсир этиши билан танишиб чиқайлик.

Қўшимча равишда молибден билан легирланган хром-никелли пўлатларда ҳам, соф хром-никелли пўлатларда ҳам махсус (легирланган), асосан, $M_{23}C_6$ типидаги карбидлар ҳосил бўлиши мумкин. Бу пўлатлар қўшимча равишда титан ва ниобий билан легирланса, бу элементлар МС типидаги махсус карбид ҳосил қила олади. Пўлат таркибидаги титаннинг ёки ниобийнинг углеродга нисбати қанчалик катта бўлса, МС типидаги карбид шунчалик кўп, $M_{23}C_6$ типидаги карбидлар эса шунчалик кам ҳосил бўлади.

Зангламас пўлат тахминан 1000°С гача қиздирилса, $M_{23}C_6$ типидаги карбидлар аустенитда эрийди, МС типидаги карбидлар эса эримайди. Пўлат қиздирилганда эритмага ўтган $M_{23}C_6$ карбидлари пўлат секин совитилганда ёки тобланган пўлат 500—700°С гача қиздирилиб, сўнгра бўшатилганда эритмадан ажралиб чиқиши мумкин. Карбидлар доналар чегарасида ажралиб чиқади ва маълум шароитда пўлатни мўрт ҳолатга ўтказади, бундан ташқари, пўлатни кристаллитлараро коррозиланишга мойил қилиб қўяди (338- бетга қаранг).

Кристаллитлараро коррозиланиш процесси тобланган аустенит пўлати қиздирилганда 500 дан 700°С гача бўлган температуралар оралиғидагина вужудга келади. Пўлат 500°С дан паст ва 700°С дан юқори температураларгача қиздирилганда унда кристаллитлараро коррозия процесси содир бўлмайди, чунки 500°С дан пастда хром карбидлари ажралиб чиқмайди, 700°С дан юқорида эса хром доналар чегарасига етарли даражада тез диффузиланиб, доналар чегарасини коррозиябардош қилиб қўяди.

Аустенит синфига оид ва таркибида 0,04% дан ортиқ углерод бўлган зангламас пўлатларгина кристаллитлараро коррозиланишга мойил бўлади. Бундай пўлатларнинг коррозиланишга мойиллигини йўқотиш учун уларга титан ёки ниобий қўшилади. Пўлатга титан ёки ниобий қўшилганда аустенитда кам эрийдиган МС типидаги карбидлар ҳосил бўлади. Қаттиқ эритмада бўлмаган углероднинг ҳаммаси ана шундай карбидлар ҳосил бўлишига кетиб, хромли карбидлар ҳосил бўлиши учун углерод қолмайди. Маълумки, кристаллитлараро коррозия доналар чегарасида хромли карбидлар ажралиб чиқишидан ҳосил бўлади, пўлатда хромли карбидлар йўқ экан, демак, кристаллитлараро коррозия ҳам содир бўлмайди.

Аустенит синфидаги зангламас пўлат коррозиянинг яна бир турига — коррозион дарзлар ҳосил қилишга ҳам мойил бўлади (338- бетга қаранг). Коррозиянинг бундай турига феррит синфидаги зангламас пўлатлар ҳам мойил, аммо уларнинг мойиллиги аустенит синфидаги пўлатларникидан бир қадар кучсиздир. Аустенит-феррит синфидаги пўлатларнинг коррозион дарзлар ҳосил қилишга мойиллиги энг кучсиздир.

Аустенит синфидаги зангламас пўлатларнинг технологик ва механик хоссалари ҳам юқори бўлади. Бу пўлатлар қиздирилган ҳолатда ҳам, совуқ ҳолатда ҳам яхши болғаланади, чўзилади ва ҳоказо.

Хром-никелли зангламас пўлатлар, одатда, 1050—1150°С температурагача қиздирилиб, сўнгра сувда тобланади, бунинг натижасида пўлатнинг коррозиябардошлик хусусияти анча юқори даражага етади, чунки пўлат 1050—1150°С гача қиздирилганда $M_{23}C_6$ карбидлари (хром кар-

бидлари) аустенитда эрийди, тез совитилганда эса ўта тўйинган қаттиқ эритма ҳолати сақланиб қолади, яъни хром карбидлари ажралиб чиқишга улгура олмайди.

Аустенит синфига оид зангламас пўлатлар, кўпинча, пластик деформацияланади, бундай пўлатлар тобланганда эса рекристалланиш процесслари бориб, пластик деформация оқибатларини йўқотади.

Аустенит синфига кирувчи зангламас пўлатлар тобланганда уларнинг қаттиқлиги ортмай, балки камаяди, шунинг учун бу пўлатларни тоблаш процесси қаттиқлаштириш процесси бўлмай, бир оз юмшатиш процессидир.

Аустенит синфига кирувчи баъзи зангламас пўлатларнинг тобланган ҳолатдаги механик хоссалари 50-жадвалда келтирилган.

50-жадвал

Аустенит синфига кирувчи зангламас пўлатларнинг механик хоссалари

Пўлатнинг маркаси	$\sigma_в$, $Мн/м^2$	$\sigma_{оқ}$, $Мн/м^2$	δ, %	ψ, %
00Х18Н10	450	180	40	60
0Х18Н10	480	200	40	55
Х18Н10	500	200	40	55
2Х18Н9	580	220	40	50
Х14Г14Н3Т	600	250	35	50
Х17Г9АН4	650	300	35	50
Х17АГ14	800	400	30	45

Аустенит синфига кирувчи зангламас пўлатларнинг пухталигини ошириш учун улар совуқлайин пластик деформацияланади. Масалан, 50% деформацияланганда уларнинг мустаҳкамлик чегараси 600 дан 1300 $Мн/м^2$ га, қаттиқлиги эса Бринель бўйича 170 дан 340 бирликка етади.



265-расм. Аустенит-мартенсит синфига оид зангламас пўлатнинг микроскопик тузилиши (аустенит + бўшатилган мартенсит), ×500.

Аустенит синфига оид зангламас пўлатлар термик ишланганда уларнинг механик хоссалари унча ўзгармаслигини кўриб ўтдик. Аммо аустенит-мартенсит синфига кирувчи хром-никелли зангламас пўлатларнинг механик хоссалари (пухталиги) термик ишлаш режимларига кучли даражада боғлиқ бўлади, чунки улар термик ишланганда структура ҳолати ўзгаради.

Аустенит-мартенсит синфидаги пўлатларнинг структураси аустенит ва бўшатилган мартенситдан иборат бўлганда уларнинг пухталиги энг юқори даражага етади. Ана шундай структура 265-расмда тасвирланган.

Зангламас пўлатда бундай структура ҳосил қилиш учун пўлат тобланиб, совуқ билан ишлангандан кейин, маълум температурада (51-жадвалга қаранг) бўшатилади, яъни эскиртирилади (чиниқтирилади). Пўлат совуқ билан ишланганда аустенитнинг 40% чамаси мартенситга айланади ($М_Б$ нуқтаси 0°С атрофида бўлади). Совуқ билан ишланган пўлат бўшатилганда, асосан, α-фазада содир бўладиган дисперсион қаттиқлашув ҳисобига пўлатнинг пухталиги ортади.

Аустенит-мартенсит синфига кирувчи зангламас пўлатларни термик ишлаш режимлари ва уларнинг механик хоссалари 51-жадвалда келтирилган.

51-жадвал

Аустенит-мартенсит синфига кирувчи зангламас пўлатларни термик ишлаш режимлари ва уларнинг механик хоссалари

Пўлатнинг маркаси	Тоблаш температураси, °С	Совуқ билан ишлаш температураси °С	Бўшатиш температураси, °С	Механик хоссалари				
				σ_b, *Мн/м²*	$\sigma_{ок}$, *Мн/м²*	δ, %	ψ, %	$a_н$, *кж/м²*
Х15Н9Ю	975	—	—	900	250	30	65	3000
	975	—70	—	1100	900	25	60	1500
	975	—70	500	1300	1100	20	50	1000
Х17Н7Ю	1050	—	750 ва 550	900	700	10	40	500

51-жадвалдан яққол кўриниб турибдики, Х15Н9Ю пўлати 975°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланса, унинг мустаҳкамлик чегараси 900 *Мн/м²*, оқувчанлик чегараси 250 *Мн/м²*, нисбий узайиши 30%, нисбий торайиши 65% ва зарбий қовушоқлиги 3000 *кж/м²* бўлиб қолади. Бу пўлат термик ишлангандан (тобланган дан) кейин унинг структураси 100% аустенитдан иборат бўлади. Мустаҳкамлик чегарасининг ортишига сабаб шуки, намуна синалаётганда унинг чўзилиши натижасида γ-фаза қисман мартенситга айланади.

Х15Н9Ю пўлати юқоридаги тарзда тобланган дан кейин унга —70°С температурада ишлов берилса, унинг механик хоссалари қуйидагича бўлади: σ_b = 1100 *Мн/м²*, $\sigma_{ок}$ = 900 *Мн/м²*, δ = 25%, ψ = 60% ва $a_н$ = 1500 *кж/м²*. Пўлатга бундай ишлов берилгандан кейин унинг структураси 40% мартенсит ва 60% аустенитдан иборат бўлади.

Тобланиб, сўнгра совуқ билан (— 70°С да) ишланган Х15Н9Ю пўлати 500°С гача қиздирилиб бўшатилса, унинг структураси 40% мартенсит ва 60% аустенитдан иборат бўлади: механик хоссалари эса: σ_b = 1300 *Мн/м²*, $\sigma_{ок}$ = 1100 *Мн/м²*, δ = 20%, ψ = 50% ва $a_н$ = 1000 *кж/м²* бўлади (51-жадвалга қаранг). Бу пўлатни совуқ билан ишламай, пластик деформациялаш ёки 800°С гача қиздириб, сўнгра тоблаш йўли билан ҳам аустенитнинг бир қисмини мартенситга айлантириш мумкин.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, аустенит пўлатларида магнит хоссалари бўлмайди, аустенит-мартенсит пўлатларида эса магнит хоссалари бўлади. Бинобарин, пўлатнинг магнит хоссаларига нисбатан қўшимча талаблар бўлмаган ҳолларда аустенит пўлатларидан кўра аустенит-мартенсит пўлатлари ишлатиш маъқулроқдир.

Учинчи синфга, яъни аустенит-феррит синфига оид пўлатлар (49-жадвалга қаранг) биринчи ва иккинчи синфга кирувчи пўлатлардан кўра камроқ ишлатилади, чунки уларнинг хоссалари барқарор бўлмайди, яъни улар таркибида бўладиган озроқ ўзгариш ҳам γ-фаза билан α-фаза миқдорларининг ва, демак, пўлат хоссаларининг ўзгариб кетишига сабаб бўлади. Бундан ташқари, аустенит-феррит синфидаги пўлатлар 400—600°С температураларда мўртлашувга мойилдир.

Хром-никелли зангламас пўлатларнинг коррозиябардошлик хусусияти хромли зангламас пўлатларникидан юқоридир, шунинг учун улар нефть, химия ва озиқ-овқат саноатларида ишлатиладиган ҳар хил аппаратлар тайёрлашда, самолётсозлик ва автомобилсозлик, транспорт машинасозлигида, ҳайкалтарошлик ва архитектурада, шунингдек, уй-рўзғор асбоблари тайёрлашда кенг кўламда ишлатилади.

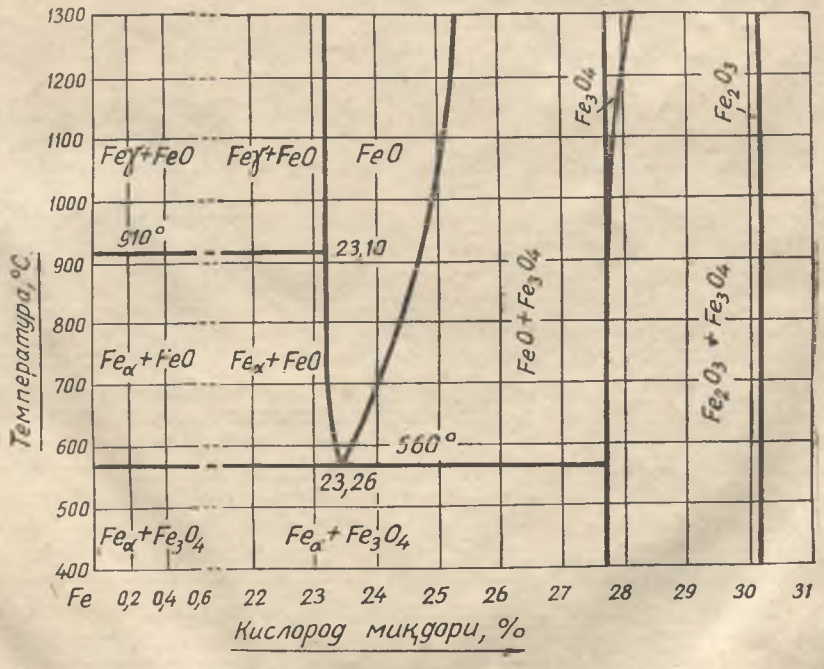
2- §. ОЛОВБАРДОШ ПЎЛАТЛАР

Юқори температураларда узоқ вақт қизиганда унча оксидланмайдиган — куйинди ҳосил қилмайдиган пўлатлар *оловбардош пўлатлар* деб, пўлатларнинг бу хоссаси эса *оловбардошлик* деб аталади.

Пўлатнинг юқори температурада оксидланиши, яъни пўлатда куйинди ҳосил бўлиши газларнинг пўлат сиртига коррозион таъсир этишидан иборат бўлганлиги учун пўлатнинг оловбардошлигини унинг газлар таъсирида коррозиланишга қаршилик кўрсата олиш хусусияти деб қараш керак. Пўлатнинг юқори температураларда газлар таъсирида коррозиланишга қаршилик кўрсатиши шундан иборатки, пўлат сиртида металларнинг оксид пардалари ҳосил бўлиб, бу пардалар пўлатнинг ички қатламларини оксидланишдан ҳимоя қилади.

Пўлатнинг юқори температурада газлар таъсирида коррозиланиш процессининг дастлабки босқичи соф химиявий процесс бўлиб, шундан кейинги босқичлари металл билан кислороднинг химиявий бирикишидан, яъни оксидланиш процессидангина иборат бўлиб қолмай, балки кислород атомларининг оксидланган кўп фазали қатлам орқали диффузиланиш процесидан ҳам иборат бўлади. Агар пўлат сиртида ҳосил бўлган оксид пардаси тиғиз бўлса, куюнди қатлами қалинлигининг ўсиши кислород атомларининг куюнди орқали диффузиланиш тезлигига, атомларнинг диффузиланиш тезлиги эса температурага ва оксид парданинг тузилишига боғлиқ бўлади.

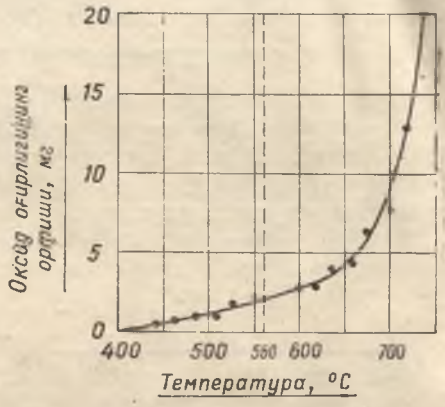
Пўлат қиздирилганда унинг сиртида темирнинг бир неча хил химиявий бирикмаси ҳосил бўлиши мумкин. Бундай химиявий бирикмалар жумласига, масалан, темир (II)-оксид FeO, темир (II, III)-оксид Fe_3O_4 ва темир (III)-оксид Fe_2O_3 киради.



266- расм. Темир—кислород системасининг ҳолат диаграммаси.

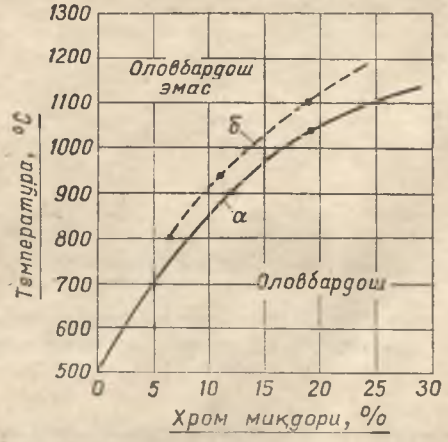
Темир — кислород системасининг ҳолат диаграммасини кўриб чиқайлик. Бундай диаграмма 266-расмда тасвирланган.

Пўлат куюнди қатламининг тузилиши темир — кислород ҳолат диаграммасининг диффузия температурасидаги изотермик қирқимига мувофиқ келади. Эвтектоид температураси (560°С) дан паст температураларда пўлатнинг оксидланган қатлами оксидларнинг икки зонасидан: Fe_2O_3 ва Fe_3O_4 дан иборат бўлади. Бу оксидларда диффузия тезлиги кичик бўлади. 560°С дан юқори температураларда оксидланган қатламнинг структураси учта оксиддан (Fe_2O_3, Fe_3O_4 ва FeO дан) иборат, аммо қатламнинг асосий қисмини темир (II)-оксид ташкил этади. Темирнинг оксидланиш тезлиги эвтектоид температураси (560°С) дан ўтганда ортади, чунки атомларнинг темир (II)-оксид кристалл панжараси* орқали диффузиланиши тезлашади (267-расмга қаранг).



267-расм. Темирнинг оксидланиш тезлигининг температурага қараб ўзгариши (В. И. Архаров).

Пўлатнинг оловбардошлигини ошириш учун пўлат куйиндининг (оксидланган қатламнинг) таркиби ва тузилишини яхши томонга қараб ўзгартирувчи элементлар, масалан, хром, алюминий ёки кремний билан легирланади. Бу элементлар кислород билан темирдан кўра осонроқ бирикади. Масалан, пўлат тегишли миқдордаги хром, алюминий ёки кремний билан легирланса, пўлатнинг сиртида хром, алюминий ёки кремнийнинг зич оксид пардаси ҳосил бўлиб, пўлатнинг ички қатламини янада оксидланишдан сақлайди, чунки атомларнинг бу оксид пардалар орқали диффузиланиши жуда қийинлашади. Пўлат таркибида бу элементлардан бирортасининг миқдори қанчалик кўп бўлса, пўлатнинг оловбардошлиги ва, демак, ишлаш температураси шунчалик юқори бўлади. Масалан, таркибида 10—15% хром бўлган пўлат 900—950°С гача температураларда, таркибида 15—20% хром бўлган пўлат 1000°С гача температураларда, таркибида 25—30% хром бўлган пўлат эса 1100°С гача температураларда оловбардош бўлади.



268-расм. Пўлатнинг оловбардошлик хусусиятига хромнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар (А. П. Гуляев):

а — феррит синфидаги пўлатлар; *б* — аустенит синфидаги пўлатлар.

Пўлатнинг оловбардошлик хусусиятига хромнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 268-расмда тасвирланган.

* Темир (II)-оксиднинг кристалл панжараси натрий хлориднинг кристалл панжараси типидаги куб панжарадир. Панжаранинг элементар катакчасидаги атомлар (ионлар) сони 8 га, панжаранинг параметри эса 4,28—4,30 кХ га тенг.

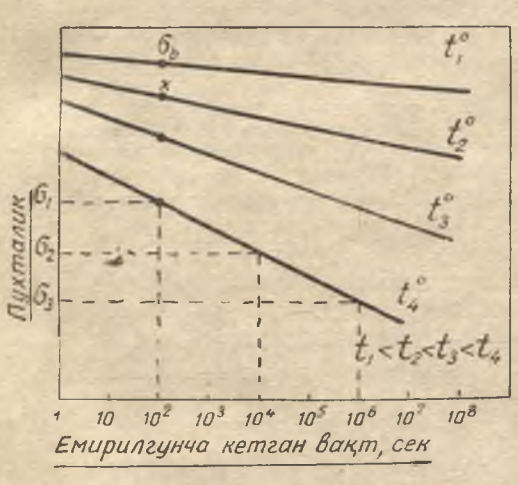
268-расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, пўлат 900°С температурада етарли даражада оловбардош бўлиши учун унинг таркибида камида 10% хром бўлиши, 1100°С температурада етарли даражада оловбардош бўлиши учун эса унинг таркибида камида 25% хром бўлиши керак.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, пўлатнинг оловбардошлик хусусияти унинг структурасига боғлиқ бўлмайди. Масалан, соф хромли (феррит синфига кирувчи) пўлатларнинг оловбардошлиги билан хром-никелли (аустенит синфига кирувчи) пўлатларнинг оловбардошлиги амалий жиҳатдан олганда бир хилдир (268-расмга қаранг).

3-§. ИССИҚБАРДОШ ПЎЛАТЛАР

Пўлатнинг юқори температураларда механик нагрузкаларга бардош бериш хусусияти унинг иссиқбардошлиги деб аталиши юқорида (64 ва 318-бетларда) айтиб ўтилган эди. Демак, иссиқбардош пўлатлар юқори температураларда механик хоссаларини сақлаб қолиши, жумладан, ёйилувчанликка яхши қаршилик кўрсатадиган бўлиши керак.

Юқори температураларда металлни емирувчи кучланиш нагрузканинг қанча вақт таъсир этишига боғлиқдир. Бу кучланиш нагрузка қисқа вақт таъсир этганда катта бўлиб, узоқ вақт таъсир этганда кичик бўлиши мумкин. Иккинчи томондан, нагрузканинг таъсир этиш вақти ўзгармаганда, температура қанчалик юқори бўлса, металлни емирувчи кучланиш шунчалик кичик бўлади. Бинобарин, металлнинг пухталиги температура билан вақтга боғлиқдир.



269-расм. Пўлатнинг пухталиги билан нагрузканинг таъсир этиш вақти орасидаги боғланиш графиги (Н. С. Журков).

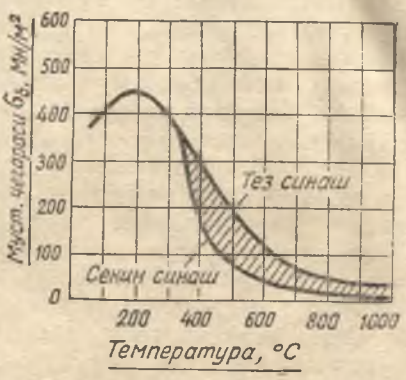
Ҳар хил температуралар учун пўлатнинг пухталиги билан нагрузканинг таъсир этиш вақти орасидаги боғланиш графиги 269-расмда тасвирланган.

Диаграммадан кўриниб турибдики, t_1 температурада (масалан, пўлат учун $t_1=18—20°С$) металларнинг пухталиги нагрузканинг таъсир этиш вақтига жуда кам даражада боғлиқ. Масалан, σ_b дан сал кичик, яъни × ишора билан белгиланган кучланишда металл 10^8 *сек* дан ортиқ вақт ўтгандан кейин емирилади. Юқорироқ температураларда металлнинг пухталиги нагрузканинг таъсир этиш вақтига сезиларли даражада боғлиқ бўлади. Ниҳоят, температура маълум даражага етганда металлга нагрузка таъсир этиш вақтининг ортиши билан металлнинг пухталиги шу қадар тез пасаядики, пухталик қийматини кўрсатишнинг ўзи кифоя қилмай, балки нагрузканинг таъсир этиш вақтини ҳам кўрсатиш керак бўлади. Дарҳақиқат, t_4 температурада (269-расмга қаранг) σ_3 кучланиш металлни 10^6 секунддан кейин узиб юборса, σ_1 кучланиш 10^2 секунддан кейиноқ узиб юборади. Бинобарин, паст температураларда металлнинг пухталигига нагрузканинг таъсир этиш вақтини ҳисобга олмаса ҳам бўлади, аммо юқори температураларда нагрузканинг таъсир

этиш вақти катта аҳамиятга эгадир. Нагрузканинг таъсир этиш вақти ҳисобга олинадиган бўлса, металлнинг пухталигини *узоқ давом этадиган пухталик* (мустаҳкамлик) деб аталувчи характеристика билан баҳолаш керак бўлади (64-бетга қаранг).

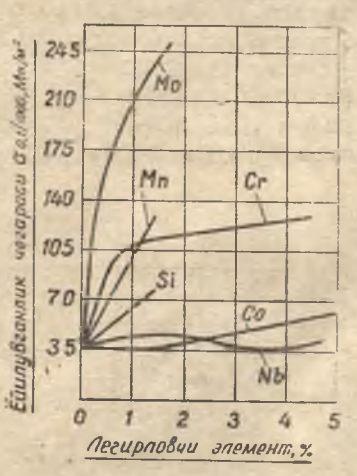
270-расмда темир пухталигининг температурага қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар тасвирланган.

Темирнинг ва темир қотишмаларининг пухталиги 200°С температурада нормал температурадагига қараганда юқори эканлиги диаграммадан яққол кўриниб турибди. Демак, кўрсатилган температурада темирнинг ва темир қотишмаларининг пластиклиги ҳамда қовушоқлиги паст бўлади. Бу ҳодиса *кўкиш тусда синувчанлик* деб аталади. Кўкиш тусда синувчанлик деб аталишига сабаб шуки, бу ҳодиса вужудга келадиган температурада металл сирти кўкиш тусга киради.



270-расм. Темир мустаҳкамлик чегарасининг синаш температурасига қараб ўзгариши. Ёйилувчанликка сабаб бўладиган кучланишлар штрихлаб кўрсатилган (А. П. Гуляев).

270-расмдан кўриниб турибдики, пастки эгри чизиқ 350°С чамаси температурадан бошланади ва темирнинг ниҳоятда кичик, чексиз кичик тезлик билан синашдаги пухталигини, юқоридаги эгри чизиқ эса намуналарнинг узилишини одатдаги тезлик билан, яъни қисқа вақт синашдаги пухталигини кўрсатади. Демак, 350°С дан юқори температураларда темирнинг пухталигига синаш тезлиги сезиларли даражада таъсир этади. Агар кучланишлар юқориги эгри чизиқдаги қийматидан ортиб кетса, намуна нагрузканинг ортиб бориш жараёнида узилади. Агар кучланишлар пастки эгри чизиқдаги қийматидан кичик бўлса, намуна айни кучланишда умуман узилмайди. Агар кучланишлар штрихланган соҳада бўлса, кучланиш юқориги эгри чизиққа қанчалик яқин келса, намуна шунчалик қисқа вақтдан кейин узилади. Штрихлаб қўйилган соҳадаги кучланиш намунани маълум вақт пластик деформациялайди. Бу ҳодиса *ёйилувчанлик* дейилади (62-бетга қаранг).



271-расм. Темирнинг узоқ вақт давом этадиган пухталигига эриган элементларнинг таъсири.

Металлда содир бўладиган ва ёйилувчанлик билан боғлиқ бўлган ҳодисаларнинг қисқача тавсифини келтириб ўтамиз. Пластик деформация натижасида металл пухталанади, юқори температурада эса тескари ҳодиса рўй беради. Демак, ёйилувчанлик вақтида бир-бирига тескари иккита процесс — пластик деформация натижасида металлнинг пухталаниш процесси ва юқори температура таъсири остида унга тескари процесс, яъни пухталанганликнинг йўқолиш процесси содир бўлади.

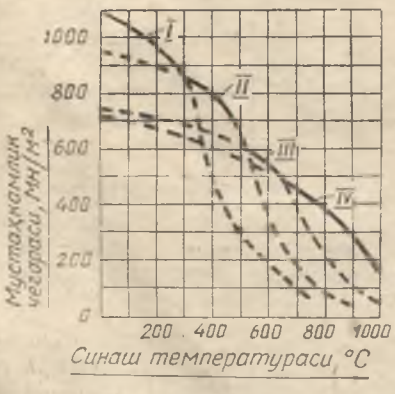
Металлнинг пухталанишига тескари процесс борадиган температурадан пастда ёйилувчанлик процесси амалда кузатилмайди, пухталанганликнинг йўқолиш температурасидан (рекристалланиш температурасидан) юқори температурада эса металл «ёйилади». Агар бирор температурада кучланиш металлнинг шу температурадаги эластиклик чегарасидан кичик бўлса, бу кучланиш металлда фақат эластик деформация вужудга келтиради, бунда пластик деформация бўлмайди, бинобарин, металлда пухталаниш ҳодисаси ҳам, пухталанганликнинг йўқолиш процесси ҳам, ёйилувчанлик ҳодисаси ҳам рўй бермайди. Демак, ёйилувчанлик ҳодисаси рекристалланиш температурасидан юқори температураларда ва эластиклик чегарасидан юқори кучланишларда рўй беради.

Юқорида баён этилганлардан шундай хулоса келиб чиқади: металлда содир бўладиган ёйилувчанликни батамом йўқотиш учун шу металлнинг ё рекристалланиш температурасини металлнинг ишлаш температурасидан юқори қилиш ёки айни температурада металлнинг эластиклик чегарасини ишлаш вақтидаги кучланишидан катта қилиш керак. Аммо буларни ҳамма вақт ҳам амалга ошириб бўлавермайди.

Ёйилувчанлик тезлиги металлнинг таркиби ва тузилишига боғлиқ бўлганлигидан, унинг ёйилувчанлик тезлигини пасайтириш учун металлнинг химиявий таркиби зарур томонга қараб ўзгартирилади, яъни у тегишли элементлар билан легирланади ёки қотишманинг тузилиши термик ишлаш йўли билан ўзгартирилади.

Юқори температураларда нагрузка таъсирида ишлайдиган деталлар суюқланиш температураси юқори бўлган металл ёки қотишмалардан тайёрланиши керак, чунки металл ёки қотишманинг суюқланиш температураси қанчалик юқори бўлса, унинг рекристалланиш температураси ва, демак, иссиқбардошлик хусусияти ҳам шунчалик юқори бўлади.

Металл ва қотишмалар иссиқбардошлигининг қуйидаги характеристикалари қабул қилинган. Бу характеристикалардан бири *ёйилувчанлик чегараси* ($\sigma_{ё.ч.}$) бўлса (64- бетга қаранг), иккинчиси *узоқ давом этадиган пухталик* ($\sigma_{у.п.}$) дир (64- бетга қаранг).



272- расм. Қисқа муддатли мустаҳкамлик чегарасининг синаш температурасига боғлиқ эканлигини кўрсатувчи эгри чизиқлар (А. П. Гуляев):
I — 40ХН; *II* — Х10С2М; *III* — 4Х14Н14В2М; *IV* — Х15Н60.

Юқорида айтиб ўтилганидек, қотишманинг суюқланиш ва, демак, рекристалланиш температураси қанчалик юқори бўлса, унинг иссиқбардошлиги ҳам шунчалик юқори бўлади. Бинобарин, иссиқбардош қотишмалар сифатида рекристалланиш температурасини оширувчи элементларнинг қаттиқ эритмалари олиниши керак. Қотишма бундай элементлар билан қаттиқ эритма ҳосил бўладиган даражада легирланса, қотишманинг барча температуралардаги пухталиги, бинобарин, иссиқбардошлиги ҳам ортади. Темирда эриган баъзи элементлар темирнинг узоқ давом этадиган пухталигига қандай таъсир этиши 271- расмда кўрсатилган.

Легирлашнинг аҳамияти элементларнинг қотишма рекристалланиш температурасини оширувчи юқори концентрланган қаттиқ эритмаси ҳосил қилишнинг ўзидангина иборат бўлиб қолмай, балки қотишмани дисперсион қаттиқла-

шув ҳисобига қўшимча равишда пухталай оладиган ўта тўйинган эритма ҳосил қилишдан ҳам иборатдир.

Қотишманинг иссиқбардошлигини оширишнинг муҳим воситаларидан бири қотишмани осон суюқланувчи фаза ва эвтектикалар ҳосил қилувчи элементлардан тозалашдир. Бундай элементлар жумласига осон суюқланувчи металлар, масалан, қўрғошин, қалай, сурьма, шунингдек, олтингугурт ва баъзи бошқа элементлар киради.

Қотишманинг суюқланиш ва, демак, рекристалланиш температурасини оширувчи элементлар молибден, вольфрам ва хромдир. Аммо бу элементлар γ- фаза соҳасини беркитади, агар бу элементлар миқдори кўп бўлса, феррит синфидаги пўлатлар ҳосил бўлади, бундай пўлатларнинг иссиқбардошлиги эса аустенит синфидаги пўлатларникига қараганда пастроқдир. γ- фаза соҳасини кенгайтириб, аустенит пўлати ҳосил қилиш учун пўлат никель билан легирланади.

Ҳар хил пўлат ва қотишмаларнинг мустаҳкамлик чегарасига юқори температураларнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар 272- расмда тасвирланган.

272- расмда тасвирланган эгри чизиқлар қандай температуралар оралиғида қандай қотишмадан фойдаланиш маъқул эканлигини кўрсатади (туташ чизиқ). 300°С гача бўлган температураларда иссиқбардош пўлатлар ишлатиш умуман маъқул эмас, чунки оддий конструкцион пўлатларнинг (масалан, 40ХН маркали пўлатнинг) 300°С гача бўлган температуралардаги пухталиги иссиқбардош пўлатларникидан юқоридир.

300 дан 500°С гача температуралар оралиғида перлит ва феррит синфидаги легирланган пўлатларнинг (масалан, Х10С2М пўлатининг) пухталиги энг юқори бўлади, шунинг учун бундай температуралар оралиғида нагрузка остида ишлайдиган деталлар учун перлит ёки феррит синфига оид легирланган пўлатлар ишлатиш маъқулдир.

500—650° температуралар оралиғида феррит ва перлит синфидаги легирланган пўлатларнинг пухталиги пасайиб кетади, шунинг учун бундай температураларда нагрузка остида ишлайдиган деталлар аустенит синфига оид иссиқбардош пўлатлардан, масалан, 4Х14Н14В2М пўлатидан тайёрланиши керак.

650—900°С температуралар оралиғида нагрузка остида ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун аустенит синфига кирувчи иссиқбардош пўлатлар ярамайди, чунки уларнинг пухталиги бу температуралар оралиғида паст бўлади. Бу мақсадларда хром-никелли (масалан, Х15Н60 маркали) қотишма ёки кўп легирланган ёхуд никелли қотишмалар ишлатиш лозим. 900 дан 1050°С гача бўлган температураларда нагрузка остида ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун қийин суюқланувчи металларнинг, масалан, молибден, хром ва бошқаларнинг қотишмаларидан фойдаланилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, иш кучланишини пасайтириб, пастроқ температураларда ишлатиладиган қотишмаларни юқори температураларда ҳам ишлатиш, яъни уларнинг ишлатилиш соҳасини кенгайтириш мумкин, бу эса иқтисодий ва технологик жиҳатдан анча фойдали бўлади, масалан 1000°С температураларда нагрузка остида ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун, иссиқбардошлик хусусияти гарчи юқори бўлса-да, аммо технология жиҳатидан олганда қийин ишланадиган ва қиммат турадиган қийин суюқланадиган қотишмалар ўрнига никелли қотишмалар ишлатиш фойдалидир.

Энди, перлит, мартенсит, мартенсит-феррит ва аустенит синфига кирувчи иссиқбардош пўлатларни кўриб чиқишга ўтайлик. Бу синфларга кирувчи пўлатлар, асосан, қозонсозликда ишлатилади.

52-жадвал

Перлит, мартенсит, мартенсит-феррит синфига оид иссиқбардош пўлатларнинг химиявий таркиби

Пўлатнинг синфи	Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
		C	Cr	Mo	W	V	Mn	Ni	Si
Перлит	12МХ	0,09—0,16	0,4—0,6	0,4—0,6	—	—	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
	12ХМФ	0,08—0,15	0,4—0,6	0,25—0,35	—	0,15—0,30	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
	15ХМ	0,12—0,18	0,8—1,1	0,4—0,55	—	—	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
	12Х1МФ	0,08—0,15	0,9—1,2	0,25—0,35	—	0,15—0,30	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
Мартенсит	12Х2МФСР	0,08—0,15	1,6—1,9	0,5—0,7	—	0,20—0,35	0,4—0,7	<0,25	0,4—0,7
	12Х2МФБ	0,08—0,12	2,1—2,6	0,5—0,7	—	0,20—0,35	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
	Х5ВФ	<0,15	4,0—6,0	—	0,4—0,7	0,4—0,6	0,4—0,7	<0,25	0,17—0,37
Мартенсит-феррит	15Х11МФ	0,12—0,19	10—11,5	0,6—0,8	—	0,25—0,4	0,4—0,7	0,4—0,8	0,17—0,37
	1Х12ВНМФ	0,12—0,18	11—13	0,5—0,7	0,7—1,1	0,15—0,3	0,4—0,7	0,5—0,8	0,17—0,37
	1Х12В2МФ	0,1—0,17	11—13	0,6—0,9	1,7—2,2	0,15—0,35	6,4—0,7	0,4—0,8	0,17—0,37

Эслатма. Барча пўлатларда S миқдори 0,04 % ва ундан кам, P миқдори ҳам 0,04 % ва ундан кам.
12Х2МФСР пўлатида 0,002 — 0,005% B ҳам бўлади. 12Х2МФБ пўлатида 0,5 — 0,8% Nb ҳам бўлади.

Перлит, мартенсит ва мартенсит-феррит синфига кирувчи иссиқбардош пўлатлар. Бу синфларга оид пўлатларнинг асоси α-қаттиқ эритма бўлиб, ортиқча фаза ҳар хил тузилишдаги турли хил карбидлардир. Бундай пўлатлар қозонсозликда 500—550°С дан юқори бўлмаган температураларда нагрузка узоқ вақт таъсир этадиган деталлар тайёрлаш учун ишлатилади.

Перлит, мартенсит, мартенсит-феррит синфига оид энг кўп ишлатиладиган иссиқбардош пўлатларнинг химиявий таркиби 52-жадвалда келтирилган.

52-жадвалда келтирилган пўлатлар таркибида углерод миқдори 0,19% дан ортмайди, чунки улардан, асосан, учма-уч пайвандланадиган трубалар тайёрланади.

Перлит синфидаги пўлатларнинг озроқ миқдор молибден билан легирланганлиги уларнинг рекристалланиш температурасини ва, демак, иссиқбардошлик хусусиятини оширади, бу пўлатларга қўшилган ванадий эса пўлат доналарини майдалаштиради, бунинг натижасида ҳам пўлатнинг иссиқбардошлиги ортади.

Перлит синфидаги пўлатларни термик ишлаш уларни маълум температурагача қиздириб, сўнгра мойда тоблаш ёки нормаллаб, сўнгра бўшатишдан иборат; нормаллаш ва бўшатиш температураси Ac_1 критик нуқтадан (760°С дан) 40—10°С паст қилиб олинади.

Мартенсит синфидаги пўлатлар таркибида хром миқдори кўпроқ бўлганлиги учун уларнинг оловбардошлиги ҳам, иссиқбардошлиги ҳам юқоридир. Мартенсит синфидаги пўлатлар ҳавода тобланиши ҳам, мойда тобланиши ҳам мумкин. Улар тоблангандан кейин иш температурасидан юқори температурада бўшатилиши зарур.

Юқорида айтиб ўтилганидек, 52-жадвалда кўрсатилган пўлатлар қозонсозликда, асосан учма-уч пайвандланадиган трубалар тарзида ишлатилади. Агар пўлатнинг пайвандланувчанлигига нисбатан алоҳида талаблар қўйилмайдиган бўлса, бу мақсадда таркибида кўп хром ва кўп кремний бўладиган пўлатлар — сильхромлар ишлатиш ҳам мумкин. Сильхромларнинг химиявий таркиби 53-жадвалда келтирилган.

53-жадвал

Сильхромларнинг химиявий таркиби

Сильхромнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
	C	Cr	Si	Mo	Ni	Mn	S	P
Х6С	≤0,15	5,0—6,5	1,5—2,0	—	≤0,6	≤0,7	≤0,03	≤0,03
Х9С2	0,35—0,5	8,0—9,0	2,0—3,0	—	≤0,6	≤0,7	≤0,03	≤0,03
Х6СМ	≤0,15	5,0—6,5	1,5—2,0	0,45—0,6	≤0,6	≤0,7	≤0,03	≤0,03
Х7МС	≤0,15	6,5—8,0	1,5—2,0	0,45—0,6	≤0,6	≤0,7	≤0,03	≤0,03
Х10С2М	0,35—0,45	9,0—10,5	1,9—2,6	0,7—0,9	≤0,6	≤0,7	≤0,03	≤0,03
Х13Н7С2	0,25—0,37	11,0—14,5	2—3	—	6—7,5	≤0,7	≤0,03	≤0,03

Сильхромлардан, асосан, ички ёнув двигателларининг чиқариш клапанлари тайёрланади. Сильхромлар оловбардошлик хусусиятини 750—1000°С температураларгача сақлаб қолади. Масалан, Х6С пўлати 750°С дан, Х6СМ ва Х7МС пўлатлари 800°С дан, Х9С2 пўлати 850°С дан, Х10С2М пўлати 900°С дан, Х13Н7С2 пўлати эса 1000° дан интенсив равишда оксидлана бошлайди. Сильхромларнинг иссиқбардошлик хусусияти легирланганлик даражасининг ортиши билан ошиб боради. Сильхромларнинг иссиқбардошлик хусусияти Х6С пўлатидан Х13Н7С2 пўлатига томон ортиб боради.

Сильхромларни термик ишлаш уларни 1000—1050°С температурагача қиздириб, сўнгра тоблаш ва 750—780°С температурада бўшатишдан иборатдир.

Аустенит синфига кирувчи иссиқбардош пўлатлар. Иссиқбардош пўлатлар сифатида вольфрам, молибден, кобальт ва титан билан қўшимча равишда легирланган хром-никелли (аустенит синфидаги) пўлатлар кенг кўламда ишлатилади. Бу пўлатлардан ички ёнув двигателларининг клапанлари, газ турбиналарининг кураклари, реактив двигателларнинг баъзи деталлари ва бошқалар тайёрланади.

Аустенит синфига кирувчи пўлатларда қимматли бир қатор хоссалар бор: уларнинг иссиқбардошлик ва оловбардошлик, пластиклик, пайвандланувчанлик хоссалари юқори бўлиб, чизиқли кенгайиш коэффициенти катта, аммо технологик хоссалари перлит ва мартенсит синфига оид пўлатларникига қараганда анча паст; бу пўлатларни босим билан ва кесиб ишлаш анча қийин; пайванд чоклари жуда мўрт; ўта қизиш оқибатида йириклашган доналарини термик ишлаш йўли билан майдалаштириб бўлмайди, чунки уларда фаза қайта кристалланиш процесси содир бўлмайди.

Аустенит синфига кирувчи иссиқбардош пўлатлари икки группага: термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган (дисперсион қаттиқлашмайдиган) пўлатлар группасига ва термик ишлаш йўли билан пухталаб бўладиган (дисперсион қаттиқлашадиган) пўлатлар группасига бўлинади.

Иккинчи группага кирадиган пўлатлар тобланиб, сўнгра бўшатилгандан кейин, карбид, карбонитрид ёки интерметаллид фазалар ажралиб чиқиши ҳисобига пухталанади.

Аустенит пўлатлари таркибидаги хром пўлатда оловбардошлик хусусияти ҳосил қилса, никель аустенитни барқарор ҳолатга келтиради. Мабодо пўлат таркибида никель етишмаса, қисман α-фаза ҳосил бўлиши, натижада пўлатнинг иссиқбардошлик хусусияти пасайиши мумкин.

Аустенит синфига оид иссиқбардош пўлатларнинг химиявий таркиби 54-жадвалда келтирилган. Биринчи группа пўлатлари, яъни дисперсион қаттиқлашмайдиган пўлатлар оловбардош пўлатлар сифатида ҳам, иссиқбардош пўлатлар сифатида ҳам, зангламас пўлатлар сифатида ҳам ишлатилади. Бу пўлатларни термик ишлаш 1050—1100°С гача қиздириб, сўнгра сувда ёки ҳавода совитиш, шундан кейин эса 750°С гача қиздириб бўшатиш, яъни стабиллашдан иборат.

Иккинчи группа пўлатлари, яъни дисперсион қаттиқлашувчи пўлатлар стабил (барқарор) бўлмай, қаттиқ эритма парчаланади, натижада пўлат пухталанади. Иккинчи группа пўлатларини термик ишлаш уларни 1050—1100°С гача қиздириб, сувда совитилгандан кейин 600—750°С температурада бўшатишдан (эскиртиришдан) иборат. Пўлат бўшатилганда (эскиртирилганда) дисперсион қаттиқлашув ҳисобига унинг қаттиқлиги ортади.

Иккинчи группа пўлатларидан ясалган деталларнинг қисқа муддатли (100 соатгача) пухталиги биринчи группа пўлатлариникидан юқори, узоқ давом этадиган пухталиги эса паст бўлади, чунки деталь узоқ вақт ишлаганда ортиқча (пухталовчи) фаза коагулланиб, пўлатнинг иссиқбардошлиги пасаяди.

Анча юқори (900°С ва ундан юқори) температурада ишлайдиган деталлар, масалан, реактив двигателлар турбинасининг кураклари тайёрлаш учун никель ва кобальт асосида тайёрланган қотишмалар ишлатилади. Сўнгги йилларда бу мақсадда қийин суюқланадиган металлардан молибден ва хром асосида тайёрланган қотишмалар ҳам ишлатилмоқда.

Аустенит синфидаги иссиқбардош пўлатларнинг химиявий таркиби

54-жадвал

Пўлатлар группаси	Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида												
		C	Cr	Ni	Mn	W	V	Si	Nb	B	Al	N	Mo	Ti
Дисперсион қаттиқлашмайдиган	1Х14Н16Б (ЭИ-694)	0,07–0,12	13—15	14—17	1—2	—	—	⩽0,8	0,9—1,3	—	—	—	—	—
	1Х14Н18В2Б (ЭИ-695)	0,07–0,12	13—15	18—20	1—2	2,0—2,7	—	⩽0,8	0,9—1,3	—	—	—	—	—
	Х18Н10Т	⩽0,12	17—19	9—11	1—2	—	—	⩽0,8	—	—	—	—	—	(С*—0,02)5—0,7
	Х18Н12Т	⩽0,12	17—19	11—13	1—2	—	—	⩽0,8		—	—	—	—	(С*—0,02)5—0,7
	0Х18Н12Б	⩽0,08	17—19	11—13	1—2	—	—	⩽0,8	8С**—1,2	—	—	—	—	—
	1Х23Н18	⩽0,20	22—25	17—20	1—2	—	—	⩽0,8	—	—	—	—	—	—
	Х25Н16Г7АР (ЭИ-835)	⩽0,12	23—26	15—18	5—7	—	—	⩽0,8	—	~0,002	—	0,3–0,45	—	—
	Х25Н20С2 (ЭИ-283)	⩽0,20	24—27	18—21	1—2	—	—	⩽2—3	—	—	—	—	—	—
Дисперсион қаттиқлашувчи	4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ-481)	0,34–0,40	11,5–13,5	7—9	7,5–9,5	—	1,2—1,5	⩽0,8	0,25–0,45	—	—	—	1,1—1,4	—
	Х12Н20Т3Р (ЭИ-696)	⩽0,10	10—12,5	18—21	1—2	—	—	⩽0,8	—	~0,002	—	—	—	2,6—3,2
	4Х14Н14В2М (ЭИ-69)	0,4—0,5	13—15	13—15	1—2	2,0—2,7	—	⩽0,8	—	—	—	—	0,2—0,4	—
	0Х14Н28В3Т3ЮР (ЭИ-786)	⩽0,08	13—15	26—29	1—2	2,8—3,5	—	⩽0,8	—	~0,002	0,5—1,2	—	—	2,4—3,2

Эслатма. Барча пўлатларда S 0,02% ва ундан кам, P 0,35% ва ундан кам.
* Пўлат таркибидаги углерод миқдори.
** Пўлат таркибидаги углерод миқдори 8 га кўпайтирилади.

55- жадвал

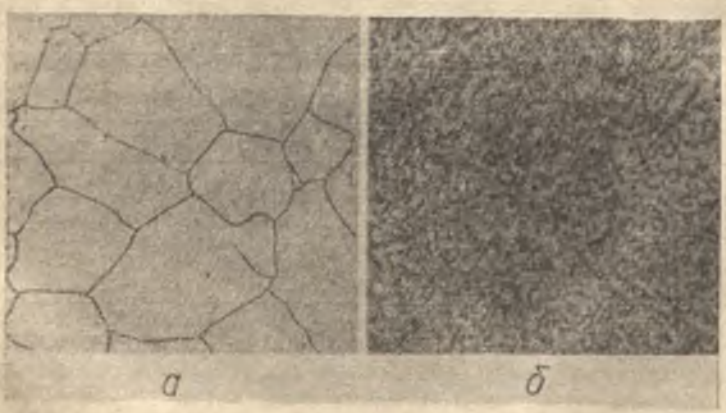
Нимоникларнинг (никелли дисперсион қаттиқлашувчи қотишмаларнинг) химиявий таркиби (ГОСТ 5632-61)

Қотишманинг маркаси	Элементларнинг миқдори, % ҳисобида																	
	C	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Fe	Mo	W	V	Co	Ce	B	Nb	Cu	S	P	Ni
ХН77ТЮ (ЭИ-437А)	≤0,06	≤0,6	≤0,4	19—22	2,3—2,7	0,55—0,95	≤4,0	—	—	—	—	≤0,01	—	—	—	≤0,03	≤0,02	қолгани
ХН77ТЮР (ЭИ-437Б)	≤0,06	≤0,6	≤0,4	19—22	2,3—2,7	0,56—0,95	≤4,0	—	—	—	—	≤0,01	≤0,01	—	—	≤0,03	≤0,02	
ХН70ВМТЮ (ЭИ-617)	≤0,12	≤0,6	≤0,5	13—16	1,8—2,3	1,7—2,3	≤5,0	2—4	5—7	0,1—0,5	—	≤0,02	≤0,02	0,02	0,07	≤0,009	≤0,015	
Нимоник 90	≤0,10	≤0,6	≤0,5	18—21	2,0—2,8	0,8—1,2	≤1,0	—	—	—	15—21	—	—	—	—	≤0,03	≤0,02	
Нимоник 100	0,3	≤0,6	≤0,5	10—12	1—2	4—6	2,0	45—5,5	—	—	18—22	—	—	—	—	≤0,03	≤0,0,2	

Никель асосида тайёрланадиган қотишмалар икки группага; *нихромлар* группаси билан *нимониклар* группасига бўлинади. Нихромлар никель ва хром ёки никель, хром ва темир қотишмаларидир. Бу қотишмаларда углерод ва иккинчи фазалар ҳосил қила оладиган бошқа элементлар миқдори жуда кам бўлади. Нихромларнинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган куб бўлиб, структураси қотишма таркибидаги элементларнинг никелдаги қаттиқ эритмасидан иборат. Бу группа қотишмаларининг пухталиги ва иссиқбардошлиги юқори бўлмайди, шу сабабли улар юқори температурада нагрузка таъсири остида ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун эмас, балки оловбардошлиги юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар, шунингдек, электр билан қиздириш элементлари тайёрлаш учун ишлатилади.

Иссиқбардошлиги юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар, масалан, реактив двигателлар турбиналарининг кураклари иккинчи группа қотишмаларидан — нимониклардан тайёрланади. Нимоник, асосан, тўрт элементнинг (никель, хром, титан ва алюминийнинг қотишмасидир).

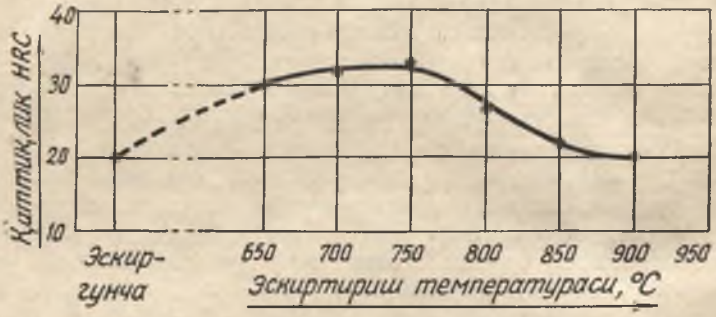
Нимоникдан ясалган деталлар 1150°С температурагача қиздирилиб, сўнгра тобланса, γ-қаттиқ эритма ҳосил бўлади, бу қаттиқ эритманинг кристал панжараси параметри 3,57 Å га тенг бўлган ёқлари марказлашган кубдир, γ-қаттиқ эритма қиздирилганда бир неча босқичда парчаланади. Биринчи босқичда қаттиқ эритма кристалл панжараси ичида титан ва алюминий атомлари қайта тақсимланади, натижада бу атомлар концентрацияси ортади. Титан ва алюминий атомларининг қайта тақсимланиш процесси қотишма паст (500—600°С гача) температураларда бўшатилгандагина эмас, балки тоблаш вақтида ҳам содир бўлади. Иккинчи босқичда титан ва алюминий атомларининг концентрацияси ортган жойларда иккинчи фаза пайдо бўлади. Бўшатишнинг (эскиртиришнинг) маълум босқичида кристалл панжараси бир хил, аммо панжара параметрлари бошқа-бошқа (биринiки 3,58 Å, иккинчисиники эса 3,60 Å) бўлган икки фаза мавжуд бўлади. Бу фазаларнинг бири—таркибида титан ва алюминий кам бўлгани γ-фаза деб, иккинчиси — таркибида титан ва алюминий кўп бўлгани эса γ′-фаза деб аталади. γ′-фаза 600—800°С температураларда ҳосил бўлади, бу фазанинг таркиби ва зарраларининг ўлчами бўшатиш температурасига ва унинг қанча давом этишига боғлиқдир. Масалан, нимоник 700°С температурада бир неча соат давомида бўшатилса, бутун қотишма ҳажмининг 10%га яқини



273- расм. Нимоникнинг микроскопик тузилиши:

а — тобланган ҳолатдагиси (γ-қаттиқ эритма); *б* — тобланиб, сўнгра 900° С да 300 соат давомида бўшатилган ҳолатдагиси (γ-қаттиқ эритма билан η-фаза).

γ′-фазадан иборат бўлиб, бу фаза заррачаларининг ўлчами тахминан 400 Å ни ташкил этади. γ-фазанинг кристалл панжараси билан γ′-фазанинг кристалл панжараси бир-бирига яқин бўлганлиги учун улар юқори температурада бўшатилганда ҳам унда когерент боғланиш сақланиб қолади, янада юқори температурада бўшатилганда эса γ′-фаза айни температурада барқарор бўлган η-фазага, яъни Ni_3Ti га айлана олади. Бу ўзгаришлар нимоникнинг микроскопик тузилишига ва каттиқлигига таъсир этмай қолмайди. Нимоникнинг микроскопик тузилиши 273-расмда, нимоник қаттиқлигининг бўшатиш (эскиртириш) температурасига боғлиқ эканлигини кўрсатувчи эгри чизиқ эса 274-расмда тасвирланган.



274-расм. Нимоник қаттиқлигининг бўшатиш температурасига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқ (Л. Н. Зимина).

Нимоник 1100—1200°С температурагача қиздирилиб, ҳавода совитилгандан (тобланган дан) кейин 700—750°С температурада 10—16 соат давомида бўшатилса, унинг иссиқбардошлиги энг юқори бўлади.

Энг кўп ишлатиладиган нимоникларнинг химиявий таркиби 55-жадвалда келтирилган.

55-жадвалда келтирилган қотишмаларнинг иссиқбардошлик хоссалари 56-жадвалда берилган.

56-жадвал

Нимоникларнинг (никелли дисперсион қаттиқлашувчи баъзи қотишмаларнинг) иссиқбардошлик хоссалари

Қотишманинг маркаси	Қисқа муддатли пухталиги σ_b, Мн/м²			Узоқ давом этадиган пухталиги σ_{100}, Мн/м²			Узоқ давом этадиган пухталиги σ_{1000}, Мн/м²		
	600°	700°	800°	600°	700°	800°	600°	700°	800°
ХН77ТЮ (ЭИ-437А)	880	680	550	580	360	140	—	280	100
ХН77ТЮР (ЭИ-437Б)	950	850	560	680	420	200	—	350	120
ХН70ВМТЮ (ЭИ-617)	990	900	750	—	500	290	—	380	—
Нимоник 90	1000	800	630	—	430	210	—	340	140
Нимоник 100	1150	1050	750	—	500	290	—	420	200

56-жадвалдан кўриниб турибдики, иссиқбардошлик хоссалари энг юқори қотишма нимоник 100 қотишмасидир.

Нимониклардан ташқари, темир-никелли ва кобальтли қотишмалардан ҳам фойдаланилади. Бундай қотишмалардан баъзиларининг химиявий таркиби 57-жадвалда келтирилган.

57- жадвал

Темир-никелли ва кобальтли баъзи қотишмаларнинг химиявий таркиби

Қотишманинг тури	Қотишманинг маркаси	Элементларнинг миқдори, % ҳисобида								
		C	Cr	Ni	Co	Mo	Al	W	Ti	Fe
Темир-никелли қотишмалар	ХН35ВТ (ЭИ 612)	<0,12	14—16	34—38	—	—	—	2,8—3,5	1,1—1,5	қолгани
	ХН35ВТЮ (ЭИ-787)	<0,08	14—16	33—37	—	—	0,7—1,4	2,8—3,5	2,4—3,2	қолгани
Кобальтли қотишмалар	ЭИ-416	0,35—0,45	18—21	18—22	қолгани	3,5—5,8	—	3,8—5,8	—	<2
	Виталлиум	0,2—0,35	25—00	1,5—3,5	қолгани	4,5—6,5	—	—	—	<2

4-§. ЕЙИЛИШГА ЧИДАМЛИ ПЎЛАТЛАР

Машинасозликда ейилишга чидамли пўлат сифатида энг кўп ишлатиладигани Г13 маркали пўлатдир. Бу пўлатнинг таркибида 1,0—1,3% углерод, 13—14% марганец, 0,5% ва ундан кам кремний, 0,03% ва ундан кам олтингугурт, 0,03% ва ундан кам фосфор бўлади, бу пўлат *Гатфильд пўлати* деб аталади ва аустенит синфига киради. Ейилишга чидамлилик хоссасининг юқори бўлиши билан бирга, қаттиқлигининг паст, қовушоқлигининг эса юқори бўлиши Гатфильд пўлати учун хосдир.

Гатфильд пўлати 1000—1100°С температурагача қиздирилиб, сўнгра сувда тобланса, унинг структураси аустенитдан иборат бўлади. Тобланган Гатфильд пўлатининг механик хоссалари тахминан мана бундай: $\sigma_b = 800 - 1000$ *Мн/м*², $\sigma_{оқ}$ 250—400 *Мн/м*², $\delta = 40—50\%$, $HB = 180—220$. Г13 пўлати тез (сувда) совитилганда соф аустенит структура ҳосил бўлишининг сабаби шуки, пўлат тез совитилганда карбидлар ажралиб чиқишга улгура олмай қолади. Гатфильд пўлати 300°С дан юқори температурада бўшатилса, унинг пластиклик хоссалари пасаяди.

Гатфильд пўлатининг ейилишга чидамлилик хоссасининг юқори бўлиши бу пўлат пластик деформацияланганда аустенитнинг пухталанишидан (унда наклёп ҳосил бўлишидан) келиб чиқади. Гатфильд пўлатининг пластик деформация вақтида пухталаниш хоссаси худди шу қаттиқликдаги бошқа пўлатларникидан анча юқори бўлади. Бинобарин, Г13 пўлатидан ясалган деталнинг ейилиши пластик деформация билан боғлиқ бўлмаса, масалан, соф абразив ейилиш бўлса, ейилишга чидамлилик жиҳатидан олганда худди шундай қаттиқликдаги бошқа пўлатлардан Гатфильд пўлатининг афзаллиги қолмайди. Ейилиш пластик деформация билан боғлиқ бўлган деталлар тайёрлаш учун эса Гатфильд пўлати тенги йўқ материалдир.

Гатфильд пўлатининг қаттиқлиги нисбатан паст бўлишига қарамай, уни ҳатто тезкесар пўлатдан ясалган кесувчи асбоб билан ҳам кесиб ишлаб бўлмайди, чунки Г13 пўлати кесиш процессида пухталанади. Г13 пўлатини фақат қаттиқ қотишма ёки олмосли кесув асбоблари билангина кесиб ишлаш мумкин. Шу сабабли Г13 пўлатидан деталлар қуйиш, сўнгра эса силлиқлаш йўли билан тайёрланади.

Г13 пўлатидан экскаватор ковшининг деталлари, темир йўл стрелкалари ва катта босим остида ейилишга ишлайдиган бошқа деталлар тайёрланади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, пўлатда графитнинг бўлиши унинг ишқаланиш вақтида ейилишга чидамлилигини оширади, чунки бундай пўлатдан ясалган деталнинг ейилиш процессида графит заррачалари ишқаланиш юзасига чиқиб қолади ва ёпишиш текисликлари бўйича ажралиб, жуда юпқа япроқчалар ҳосил қилади-да, ишқаланаётган юзаларнинг ғадир-будурликлари оралиғини тўлдириб, сурков материали вазифасини ўтайди. Бинобарин, ейилишга чидамли пўлат сифатида графитланувчи пўлатлардан ҳам фойдаланиш мумкин.

Пўлатда графит цементитнинг қисман парчаланиши ҳисобига ҳосил бўлади, шу сабабли, бундай пўлатларда легирловчи элементлар сифатида углерод билан кремний миқдори кўпроқ бўлиши керак, чунки бу элементлар пўлатнинг графитланиш хоссасини оширади.

Графитланувчи баъзи пўлатларнинг химиявий таркибини келтириб ўтамиз (58-жадвал).

Графитланувчи пўлатларнинг қуйма ёки қиздириб туриб прокатланган ҳолатдаги структураси пластинкасимон перлит ва ортиқча карбидлардан иборат бўлади. Бундай пўлатларда тегишли миқдорда

58-жадвал

Графитланувчи пўлатларнинг химиявий таркиби

Пўлатнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида						
	C	Si	Mn	Cu	Ti	Ni	Cr
ЭИ-293	1,5—1,75	0,75—0,95	0,2—0,4	—	—	≤0,12	≤0,08
ЭИ-336	1,5—1,7	0,7—1,0	0,15—0,4	0,4—0,6	—	≤0,12	≤0,08
ЭИ-366	1,3—1,45	1,0—1,25	0,4—0,5	—	0,2—0,4	≤0,12	≤0,08

Эслатма. Бу пўлатларда S билан P дан ҳар бирининг миқдори 0,03 % ва ундан кам бўлиши керак.

графит ҳосил қилиш учун улар графитлаш мақсадида юмшатилади, натижада пластинкасимон перлит донадор перлитга айланади. Пўлатни графитловчи юмшатиш режими мана бундай: пўлат 820—840°С температурагача қиздирилиб, шу температурада 5 соат чамаси тутиб турилади, сўнгра 720—700°С гача печь билан бирга совитилиб, шу температурада 5—15 соат тутиб турилади-да, ортиқча цементитнинг бир қисмидан графит ажратиб чиқарилади. Шундан кейин пўлат 600°С гача печь билан бирга, нормал температурагача эса ҳавода совитилади. Ана шундай термик ишланган пўлат структураси донадор перлитдан ва майда графит доналаридан иборат бўлади.

Графитланган пўлатдан ясалган деталлар юмшатилган ҳолатда ҳам, тобланиб, сўнгра бўшатилган ҳолатда ҳам ишлатилиши мумкин. Графитланган пўлатдан қизимайдиган штамплар, калибрлар, қуйма тирсакли валлар ва катта босим остида ишқаланишга ишлайдиган бошқа деталлар тайёрланади, бу деталлар тобланиб, сўнгра бўшатилади. Графитланган пўлат юмшатилган ҳолатда латунь ва бронзалар ўрнига ишлатилади.

Ниҳоят, ейилишга чидамлилик хоссалари юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар тайёрлаш учун ғоваклари мой билан тўлдирилган металлокерамик материаллардан ҳам фойдаланилади.

5-§. ЭЛЕКТР ҚАРШИЛИГИ ЮҚОРИ БЎЛГАН ҚОТИШМАЛАР

Маълумки, ўтказгичлар электр қаршилиги имкони борича паст металлардан, яъни тоза металлар — мис, алюминий, кумуш ва темирдан тайёрланади, электр печлари ва асбобларининг қиздириш элементлари, шунингдек, турли хил реостатлар тайёрлаш учун эса, аксинча, электр қаршилиги юқори бўлган материаллар — қотишмалар ишлатилади. Бунинг сабаби шуки, қотишмалардаги қаттиқ эритмалар шу қотишмаларнинг электр қаршилигини ошириб юборади, тоза металларда эса қаттиқ эритмалар бўлмайди. Бинобарин, электр қаршилиги юқори бўлган қотишмалар қаттиқ эритмалар ҳосил қилувчи металлардан тайёрланиши керак. Электр печлари ва асбобларининг қиздириш элементлари тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишмалар *қиздириш элементлари қотишмалари* деб, реостатлар тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишмалар эса *реостат қотишмалари* деб аталади.

Электр қаршилиги юқори бўлган қотишмаларнинг солиштирма электр қаршилиги юқори бўлиши; қотишма электр қаршилигининг температура коэффициенти имкони борича кичик бўлиши, яъни температура кўтарилганда қотишманинг электр қаршилиги жуда кам ортиши ва, ниҳоят, қотишманинг оловбардошлик хоссаси юқори бўлиши керак.

Реостат қотишмаларининг оловбардош бўлиши шарт эмас, чунки реостат сими 500°С дан юқори температурагача қизимайди. Иш температураси анча катта бўладиган қиздириш элементлари эса оловбардошлик хоссаси юқори қотишмалардан ясалиши керак, чунки қиздириш элементининг хизмат қилиш муддати шу элемент ясалган қотишманинг оловбардошлик хоссасига боғлиқдир.

Реостат қотишмалари жумласига мис — никель қотишмаларидан никелин ва константан, мис — марганец қотишмаларидан эса манганин киради. Реостат қотишмаларининг химиявий таркиби ва баъзи хоссалари 59-жадвалда келтирилган.

59-жадвал

Реостат қотишмаларининг химиявий таркиби ва баъзи хоссалари
(ГОСТ 492-52)

Қотишманинг номи ва маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				Баъзи хоссалари		
	Ni	Mn	бошқа қўшимчалар	Cu	нормал температурадаги электр қаршилиги ρ, ом. мм²/м	электр қаршилигининг температура коэффициенти	максимал иш температураси, °С
Копель (МНМц 43—0,5)	42,0—44,0	0,1—1,0	≤0,6	қолгани	0,50	0,00014	500
Константан (МНМц 40—1,5)	39—41	1—2	≤0,9	қолгани	0,48	0,00002	500
Манганин (МНМц 3—12)	2,5—3,5	11,5—13,5	≤0,9	қолгани	0,43	0,00003	200

Эслатма. Бу қотишмаларда қўшимчалар тарзида Fe, Si, Rb, S, C, P, As элементлари бўлади; бу элементлар миқдори ГОСТ да кўрсатилганидан ортмаслиги керак.

Реостат симлари мис—никель қотишмаларидан (никелин ва константандан) тайёрлангани маъқул, чунки мис билан никель қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийди. Бундай қотишмаларнинг электр қаршилиги энг юқори бўлади, электр қаршилигининг температура коэффициенти эса нолга яқинлашиб боради, яъни температура ўзгарганда уларнинг электр қаршилиги қарийб ўзгармайди (275-расм). 275-расмда мис — никель қотишмаларининг ҳолат диаграммаси келтирилган ва баъзи хоссаларининг қотишмадаги никель концентрациясига қараб ўзгариш эгри чизиқлари тасвирланган.

Қиздириш элементлари тайёрлаш учун асосий қисми никелдан иборат қотишмалар, яъни нихромлар ва асосий қисми темирдан иборат қотишмалар — фехраль, хромаль, мегапир, № 1, № 2, № 3, № 4 қотишмалар (Корнилов қотишмалари) ишлатилади.

Қиздириш элементлари тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишмаларнинг химиявий таркиби ва баъзи хоссалари 60-жадвалда келтирилган.

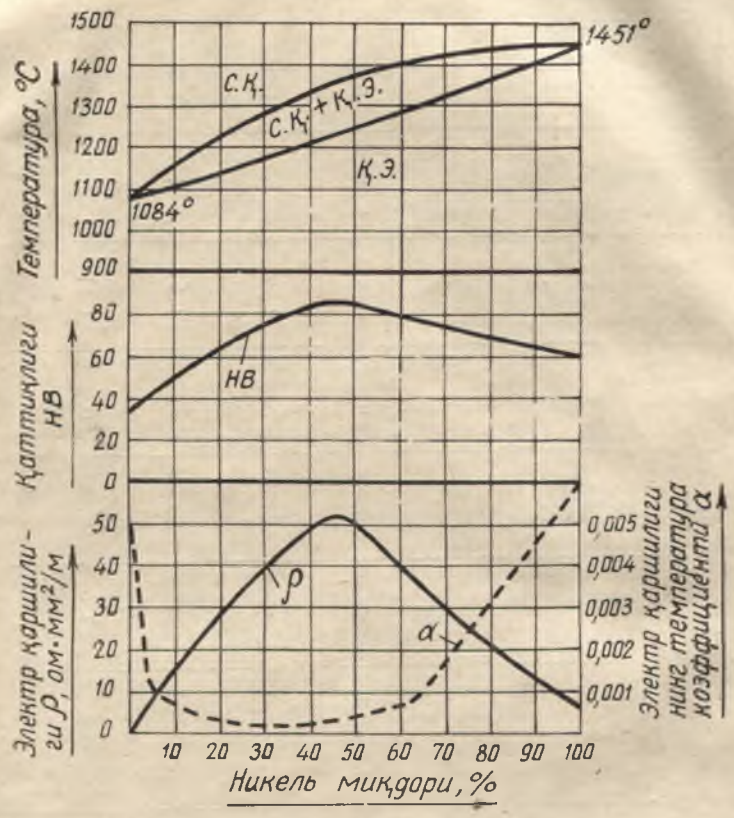
Фехраль, хромаль, мегапир ва бошқаларнинг, яъни асосан темирдан иборат қотишмаларнинг афзалликлари шундан иборатки, уларнинг оловбардошлик хоссалари ва электр қаршилиги юқори бўлади, аммо бу қотишмалар йирик донали бўлиб, етарли даражада қовушоқ эмас, шу сабабли уларни ҳатто қиздирилган ҳолатда ҳам сим қилиб чўзиш ва прокатлаш ниҳоятда қийин. Улар қуйма қиздириш элементлари тайёрлаш учун ишлатилади. Нихромлар, яъни асосан никелдан иборат

60-жадвал

Қиздириш элементлари қотишмаларининг химиявий таркиби ва баъзи хоссалари
(ГОСТ 9232-59)

Қотишманинг номи ва маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида									Нормал температурадаги электр қаршилиги ρ, ом·мм²/м	Электр қаршилигининг температура коэффициенти	Энг юқори иш температураси, °С
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Al	Fe	S	P			
Фехраль (Х13Ю4)	≤0,15	≤0,7	≤0,1	12—15	≤0,6	3,5—5,5	қолгани	≤0,025	≤0,035	1,26	$5 \cdot 10^{-5}$	1000
№1 қотишма (1Х17Ю5)	≤0,12	≤0,7	≤0,2	16—19	≤0,6	4,6—6,0	қолгани	≤0,025	≤0,035	1,30	$1 \cdot 10^{-5}$	1000
№2 қотишма (1Х25Ю5)	≤0,12	≤0,7	≤1,2	23—27	≤0,6	4,5—6,5	қолгани	≤0,025	≤0,035	1,40	—	1150
Нихром (Х15Н60)	≤0,15	≤1,5	0,4—1,3	15—18	55—61	≤0,2	қолгани	≤0,025	≤0,035	1,1	$1,7 \cdot 10^{-5}$	1050
Нихром (Х20Н80)	≤0,15	≤0,7	0,4—1,3	20—23	75—78	≤0,2	≤1,0	≤0,025	≤0,030	1,11	$1 \cdot 10^{-5}$	1100
Нихром (Х20Н80Т3)	≤0,08	≤,05	≤1,0	19—23	қолгани	0,4—0,1	≤2,5	≤0,015	≤0,020	1,27	—	1100

Эслатма. Х20Н80Т3 қотишмасида титан миқдори 2,0—2,9 % бўлиши керак.



275- расм. Мис — никель қотишмаларининг ҳолат диаграммаси ва бу қотишмаларнинг баъзи хоссаларини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

қотишмалар анча пластик бўлади, аммо анча қимматга тушади, чунки улар учун кўп миқдорда никель керак.

Таркибидаги хром ва алюминий миқдори кўп бўлмаган қотишмалардан симлар тайёрланади.

6- §. АЛОҲИДА МАГНИТ ХОССАЛАРИГА ЭГА БЎЛГАН ҚОТИШМАЛАР

Бу қотишмаларнинг асосий характеристикалари магнитланиш эгри чизиғида (29- расм, 42- бетга қаранг) кўрсатилган магнит хоссаларидир.

Ферромагнит қотишмалар учун энг муҳим характеристикалар қолдиқ магнит индукцияси (B_r), коэрцитив куч (H_c) ва магнит киритувчанлик $\left(\mu = \frac{B}{H}\right)$ дир. Коэрцитив куч ва магнит киритувчанлик катталигига кўра, ферромагнит қотишмалар икки турга бўлинади. Буларнинг бири *магнит жиҳатидан қаттиқ* қотишмалар бўлса, иккинчиси *магнит жиҳатидан юмшоқ* қотишмалардир. Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмаларда коэрцитив куч катта, магнит киритувчанлик эса нисбатан кичик бўлади ва бундай қотишмалар доимий магнитлар учун ишлатилади. Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмаларда, аксинча, коэрцитив куч кичик, магнит киритувчанлик эса юқори бўлади, бундай қотишмалардан трансформатор, электр генератори ва электр двигателларининг ўзаклари тайёрланади.

Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби ва магнит хоссалари

Номи	Маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида										Магнит хоссалари (камида)	
		C	Cr	W	Mo	Co	Ni	Al	Cu	Si	Fe	қолдиқ магнит индукцияси, гс	коэрцитив кучи, э
		Хромли пўлатлар (ГОСТ 6862-54)											
	ЕХ	0,95—1,1	1,3—1,6	—	—	—	≤0,3	—	—	≤0,4	қолгани	9000	58
	ЕХ3	0,90—1,1	2,8—3,6	—	—	—	≤0,3	—	—	≤0,4	»	9500	60
		Вольфрамли пўлат (ГОСТ 6862-54)											
	Е7В6	0,68—0,78	0,3—0,5	5,2—6,2	—	—	≤0,3	—	—	≤0,4	қолгани	10000	62
		Кобальтли пўлатлар (ГОСТ 6862-54)											
	ЕХ5К5	0,9—1,05	5,5—6,5	—	—	5,5—6,5	≤0,6	—	—	≤0,4	қолгани	8500	100
	ЕХ9К15М	0,9—1,05	8,0—10,0	—	1,2—1,7	13,5—16,5	≤0,6	—	—	≤0,4	»	8000	170
		Темир—никель—алюминий қотишмалари (ГОСТ 4402-48)											
Ални I	АН1	—	—	—	—	—	22	11	—	0,15	қолгани	7000	250
Ални 2	АН2	—	—	—	—	—	21,5	13	3,5	0,15	»	6000	430
Ални 3	АН3	—	—	—	—	—	23,5	15,5	4	0,15	»	5000	500
Алниси	АНК	—	—	—	—	—	33	13,5	—	1,0	»	4000	750
Алнико	АНКо1	—	—	—	—	12	18	10	6	0,15	»	6800	500
Алнико15	АНКо2	—	—	—	—	15	20	9	4	0,15	»	7500	600
Алнико18	АНКо3	—	—	—	—	18	19	10	3	0,15	»	9000	650
Магнико	АНКо4	—	—	—	—	24	13,5	9	3	0,15	»	12300	500

Эслатма. 1. Хромли, вольфрамли ва кобальтли пўлатларнинг термик ишланганлан кейинги магнит хоссалари кўрсатилган.
2. Хромли, вольфрамли ва кобальтли пўлатларда кўпи билан 0,4 % Мп, 0,03 % S ва 0,03 % Р бўлишига йўл қўйилади.

Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмалар. Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмалар жумласига легирланмаган (таркибида 1,2—1,5% углерод бўлган) пўлатлар, легирланган пўлатлар ва махсус қотишмалар киради. Легирланмаган (кўп углеродли) пўлатлар тобланиб, структураси мартенситга айлантирилгандан кейин уларда коэрцитив куч ва қолдиқ магнит индукцияси етарли даражада катта [масалан, H_c=4800—5040 *а/м* (60—63 *э)* ва B_r= 0,8—0,85 *тл* (8000—8500 *га*)] бўлиб қолади. Аммо бундай пўлатларнинг тобланиш чуқурлиги кичик бўлганлигидан улар кичикроқ (қалинлиги 4—7 *мм* ли) магнитлар тайёрлаш учун ишлатилади. Кўп углеродли пўлатдан ясалган магнитларнинг камчилиги шундан иборатки, пўлат эскирган сари унинг магнит хоссалари ўзгариб боради.

Муҳим асбоблар ва ўлчов аппаратлари учун ишлатиладиган, шунингдек, катта ўлчамли магнитлар, одатда, хром, вольфрам, молибден ҳамда кобальт билан легирланган пўлатлардан, шунингдек, махсус қотишмалардан, масалан, темир — никель — алюминий қотишмаларидан тайёрланади.

Хромли (ЕХ ва ЕХ3 маркали) пўлатларнинг магнит хоссалари углеродли пўлатларники кабидир, аммо хромли пўлатларнинг тобланиш чуқурлиги углеродли пўлатларникидан катта, шунинг учун улар катта ўлчамли магнитлар тайёрлаш учун ишлатилиши мумкин.

Кобальтли (ЕХ5К5 ва ЕХ9К15М маркали) пўлатларнинг магнит хоссалари (коэрцитив кучи) бошқа пўлатларникига қараганда анча юқори бўлади. Аммо кобальт нодир элемент бўлганлигидан, кобальтли пўлатларнинг ишлатилиши чекланган.

Темир—никель—алюминий қотишмаларида (АН1, АН2, АНК, АНКо1 ва бошқаларда) 32000—40000 *а/м* (400—500 *э*) лик коэрцитив куч ҳосил қилиш мумкин. Бу қотишмаларда магнит хоссаларининг ғоят даражада юқори бўлиши улардан оғирлиги ва ўлчамлари анча кичик, аммо қуввати жуда катта магнитлар тайёрлашга имкон беради.

Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмаларнинг химиявий таркиби ва магнит хоссалари 61-жадвалда келтирилган.

Доимий магнитлар учун ишлатиладиган пўлатларда юқори магнит хоссалари пайдо қилиш учун улар мураккаб тарзда термик ишланади. Пўлатларни бундай термик ишлаш режими 62-жадвалда келтирилган.

62-жадвал

Пўлатнинг маркаси	Термик ишлаш температураси, °С ҳисобида			
	нормаллаш (ҳавода биринчи тоблаш)	иккинчи тоблаш (сувда ёки мойда)	нолдан паст температура ишлов бериш	бўшатиш
ЕХ	1000	830—850	—70	100
ЕХ3	1050	840—860	—70	100
Е7В6	1200—1250	820—860	—70	100
ЕХ5К5	1150—1200	930—950	—70	100
ЕХ9К15М	1200—1230	1030—1050	—70	100

Пўлат юмшатилганда йирик карбид фазалар ҳосил бўлиши ва пўлатни одатдаги тоблаш учун қиздиришда бу карбидлар аустенитда эримаслиги мумкин, шунинг учун уни нормаллаш, яъни маълум температурагача қиздириб, ҳавода тоблаш зарур, акс ҳолда пўлатда юқори магнит хоссалари пайдо қилиб бўлмайди. Пўлатга нолдан паст температурада ишлов берилганда парамагнит қолдиқ аустенит мартенситга

айланади, натижада пўлатнинг магнит хоссалари юқори бўлади. Пўлатни 100°С температурада бўшатиш коэрцитив куч қийматини вақт жиҳатида барқарор ҳолга келтиради, аммо уни бир оз пасайтиради.

АН типидаги қотишмалар (масалан, АН2) 1200°С гача қиздирилиб, сўнгра қайнаётган сувда тобланади ва 500°С температурада бўшатилади, АНКо типидаги қотишмалар (масалан, АНКо4) эса 1300°С гача қиздирилиб, сўнгра магнит майдонида секундига 5°С тезлик билан совитилади. АНКо4 қотишмаси магнит майдонида тобланганда нима бўлишини кўриб чиқайлик. Маълумки, қотишманинг Кюри нуқтасида парамагнит ҳолатидан ферромагнит ҳолатига ўтиш процесси бу қотишмада спонтан магнитланиш соҳалари пайдо бўлишидан иборат. Агар шу пайтда қотишмага кучли магнит майдони таъсир эттирилса, қотишманинг ниҳоятда майда ҳажмларида ташқи магнит майдони куч чизиқлари бўйлаб жойланишга интилаётган спонтан магнитланиш соҳаларининг бурилишидан пластик деформация вужудга келади. Бу вақтда қотишма температураси, яъни Кюри нуқтаси қанчалик юқори бўлса, пластик деформация шунчалик осон боради. Кобальт эса қотишманинг Кюри нуқтасини кучли даражада оширади. Шу сабабли қотишмага юқори температурада магнит майдони таъсир эттириш катта самара беради, чунки бундай ишлов берилган қотишма анизотроп магнит хоссаларга эга бўлиб қолади.

Пўлат магнитлар болғалаш, сўнгра юмшатиб, механик кесиб ишлаш йўли билан тайёрланади, темир — никель — алюминий қотишмаларини кесиб ишлаш мумкин бўлмайди, шунинг учун магнит бу қотишмалардан қуйиш ёки кукун металлургияси усулида тайёрланиб, сўнгра силлиқланади.

Сўнгги йилларда магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмалар соҳасида катта ютуқлар қўлга киритилди. Магнит энергияси катталиги худди ўзидек электромагнитникидан катта қотишма ҳосил қилиш мумкинлиги назарий жиҳатдан исботланган. Бундай доимий магнит синхрон генераторларда ва электр двигателларида ишлатилиши мумкин, бундай магнит ишлатилган генератор ёки электр двигатели анча пухта, енгил ва тежамли бўлади. Доимий магнитнинг юқори сифатли бўлиши авиация, атом энергетикаси, ракета техникаси, радиолакация, асбобсозлик ва бошқа соҳалар учун ниҳоятда муҳимдир.

Трактор ва автомобиллар учун анизотроп барий ферритдан [темир (II)-оксид билан барий оксид асосида] магнит майдонида прессланган арзон ва кучли магнитлар ишлатилади. Бундай магнитларнинг максимал магнит энергияси 46080—54720 *тл·а/м*. (3—3,8 млн. *гс·э*) га, коэрцитив кучи $144 \cdot 10^3$— $176 \cdot 10^3$ *а/м* (1800 — 2200 *э*) га, қолдиқ магнит индукцияси эса 0,32 — 0,38 *тл* (3200 — 3800 *гс*) га етади.

Марганец висмутид МпВі нинг жуда майин кукунидан прессланган магнитларнинг магнит хоссалари жуда юқори бўлади. Масалан, 16,6% марганец ва 83,35% висмутдан иборат кукунни магнит майдонида қиздириб туриб, кичикроқ босим остида пресслаш йўли билан тайёрланган қотишманинг коэрцитив кучи $272 \cdot 10^3$ *а/м* (3400 *э*), қолдиқ магнит индукцияси 0,43 *тл* (4300 *гс*), максимал магнит энергияси эса 115960 *тл·а/м* (4,25 млн. *гс·э*) га тенг бўлади.

Сўнгги вақтларда доимий магнитлар тайёрлаш учун, текстураланган, кесиб ишланиши анча осон хилма-хил қотишмалар, масалан, викаллой деб аталадиган қотишмалар ишлаб чиқарилмоқда. Бундай викаллой турларидан бири 52% кобальт, 14% ванадий ва 34% темирдан иборат бўлиб, унинг коэрцитив кучи $4 \cdot 10^4$ *а/м* (500 *э*) га, қолдиқ магнит индукцияси эса 1 *тл* (10 000 *гс*) га яқиндир.

Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмалар. Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмаларнинг аксича, магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмалар мувозанат ҳолатига имкони борича яқинлаштирилиши, уларда йирик доналар ҳосил қилиниши, қотишма кристалл панжарасини ўзгартирувчи манбаларга барҳам берилиши керак. Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмаларда коэрцитив куч қийматининг кичик бўлиши билан бирга, заиф, ўртача ва кучли магнит майдонларида магнит киритувчанлиги юқори, ўзгарувчан ток билан магнитлашда гистерезисга ва уюрма токларга (Фуко токларига) кетадиган нобудгарчиликлар кам бўлиши керак.

Магнит жиҳатидан юмшоқ пўлат ва бошқа қотишмалар учун энг зарарли қўшимчалар углерод, олтингугурт, кислород ва азотдир, бу қўшимчалар ферритда деярли эримайди ва тегишлича цементит ва сульфид заррачалари, шунингдек, металлмас қўшилмалар тарзида бўлади. Углероднинг зарарли таъсири айниқса катта. Бу қўшимчалар миқдори ҳатто жуда оз бўлганда ҳам магнит жиҳатидан юмшоқ материалнинг магнит киритувчанлиги пасайиб, гистерезисга кетадиган нобудгарчилик ошади. Бинобарин, магнит жиҳатидан юмшоқ энг маъқул материал тоза металлар, биринчи навбатда эса техникавий тоза темир, яъни таркибида жуда кам (кўпи билан 0,04%) углерод бўлган пўлатдир.

Саноатимизда ишлаб чиқариладиган техникавий темирнинг химиявий таркиби ва магнит характеристикалари 63-жадвалда келтирилган.

63-жадвал

Техникавий темирнинг химиявий таркиби ва магнит хоссалари

Темирнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида						Магнит хоссалари			
	C	Mn	Si	S	P	Cu	коэрцитив кучи H_c, э	максимал магнит киритувчанлиги μ_{max}, гс/э	магнит индукцияси, гс	
									B_{10}	B_{25}
Э	⩽0,04	⩽0,2	⩽0,2	⩽0,3	⩽0,025	0,15	1,2	3500	15000	16200
ЭА							1,0	4000		
ЭАА							0,8	4500		

Техникавий темирнинг магнит хоссалари унинг структура ҳолатига ҳам боғлиқ бўлади, масалан, наклёп темирнинг магнит хоссаларини пасайтиради, темир доналарининг йириклашуви эса унинг магнит хоссаларини яхшилайди. Техникавий темирнинг доналарини йириклаштириш учун у юқори температурада юмшатилади. Техникавий темир электромагнит ўзаклари ва қутблари, реле, магнит экранлари ва бошқа деталлар тайёрлаш учун ишлатилади. Техникавий темирнинг магнит киритувчанлиги катта, коэрцитив кучи эса кичик, аммо электр қаршилиги паст ва, демак, уюрма токларга кетадиган нобудгарчилик катта бўлади, шу сабабли электр машиналари ва трансформаторлар учун бундай темир ярамайди.

Трансформаторлар ва электр машиналари учун электротехника пўлати ишлатилади. Электротехника пўлати темир билан кремнийнинг феррит синфига оид қотишмаси, яъни кремнийнинг ферритдаги қаттиқ эритмасидир. Бу қаттиқ эритманинг кристалл панжараси кремний атомлари борлиги туфайли ўзгарганлигидан, қотишманинг коэрцитив кучи техникавий тоза темирникига қараганда анча катта бўлади. Аммо қо-

тишмани қиздириш йўли билан унинг доналарини шу қадар йириклаштириш мумкинки, қотишма совитилганда доналар йириклигича қолади, натижада коэрцитив кучнинг қиймати одатдаги темирникидан ортиқ бўлмайди.

Электротехника пўлатида α-қаттиқ эритма (феррит) таркибидаги кремний пўлатнинг электр қаршилигини оширади, бунинг натижасида эса Фуко токларига кетадиган нобудгарчилик камаяди.

Электротехника пўлати юпқа (трансформатор ва генераторлар учун 0,35—0,5 *мм*, юқори частоталар учун эса 0,05—0,2 *мм* қалинликдаги) тунукалар тарзида тайёрланади.

Таркибида 3% ва ундан ортиқ кремний бўлган электротехника пўлати анча мўрт бўлади. кремний миқдори камайтирилса, пўлат пластик ҳолатга келади, аммо Фуко токларига кетадиган нобудгарчилик ортади.

Электротехника пўлати одатдаги пўлатларга қараганда бошқача, яъни «Э» ҳарфи ва бу ҳарфдан кейин қўйиладиган иккита рақам билан маркаланади. «Э» ҳарфидан кейинги биринчи рақам пўлат таркибидаги кремний миқдорини билдиради (0,8—1,8% Si 1 рақами билан, 1,8—2,8% Si 2 рақами билан, 2,8—3,8% Si 3 рақами билан, 3,8—4,8% Si эса 4 рақами билан кўрсатилади). «Э» ҳарфидан кейинги иккинчи рақам пўлат электротехникавий хоссаларининг даражасини* ифодалайди. Электротехника пўлатининг маркасида иккинчи рақамдан кейин битта ёки иккита ноль бўлиши ҳам мумкин. Пўлат маркасида битта ноль бўлса, бу ноль пўлатнинг совуқлайин прокатланиб, текстураланганлигини** иккита ноль бўлса, бу ноллар пўлатнинг совуқлайин прокатланиб, кам текстураланганлигини билдиради. Масалан, Э12 марка 1% (0,8—1,8%) кремнийли, электротехникавий хоссалари иккинчи даражали, қиздириб туриб прокатланган электротехника пўлатини, Э120 марка худди шундай, аммо совуқлайин прокатланиб, текстураланган, Э1200 марка эса совуқлайин прокатланиб, кам текстураланган электротехника пўлатини кўрсатади. Пўлат маркасининг охирида «А» ҳарфи ёзилган бўлса, гистерезисга кетадиган нобудгарчиликнинг айниқса кичик эканлигини билдиради.

Фақат Э3 ва Э4 маркали қотишмаларгина феррит синфига оид бўлиб, уларнинг магнит хоссалари юқори, аммо уларнинг ўзи анча мўрт бўлади. Бу қотишмалар *трансформатор темири* дейилади. Э1 ва Э2 маркали қотишмаларнинг магнит хоссалари пастроқ, аммо механик хоссалари юқорироқ бўлиб, *динамо пўлати* деб аталади. Трансформатор темиридан, асосан, трансформаторларнинг ўзаклари, динамо пўлатидан эса, асосан, динамомашиналарнинг деталлари тайёрланади.

Қиздириб туриб прокатланган электротехника пўлатини текстуралаш учун у совуқлайин прокатланади бунда прокатка йўналиши бўйлаб пўлатнинг магнит хоссалари ортади. Пўлатни совуқлайин прокатлаш олдидан у 800°С температурагача қиздирилиб юмшатилади, бунда пўлат таркибидаги углероднинг миқдори 0,02% ва ундан кам бўлиб қолади. Совуқлайин прокатланган пўлатда ҳосил бўлган наклёпни йўқотиш ва пўлат доналарини йириклаштириш учун у 1100—1200°С температурагача водород иштирокида ёки вакуумда охирги марта юмшатилади. Пўлатнинг юмшатишдан олдинги деформация даражаси юқори (45—60%) бўлса, бундай пўлатда текстураланган структура, агар

* Рақам қанчалик катта бўлса, пўлатнинг электротехникавий хоссалари шунчалик юқори бўлади.

** Барча кристаллари бир хил тарзда жойлашган структура ҳосил қилиш текстуралаш деб аталади.

деформация даражаси паст (7—10% дан кичик) бўлса, кам текстураланган структура ҳосил бўлади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, электротехника пўлат тунукаси қанчалик юпқа бўлса, гистерезисга кетадиган нобудгарчилик шунчалик кам бўлади. Электротехника пўлатининг 0,35—0,5 *мм* қалинликдаги тунукалар тарзида тайёрланишининг сабаби ҳам ана шу.

Электротехника пўлатидан деталлар тайёрлаш процессида пўлат ҳатто оз даражада пластик деформацияланганда (тунукалар кесилганда ёки эгилганда) ҳам унинг магнит хоссалари пасаяди. Пўлатнинг магнит хоссаларини тиклаш учун уни 750—800°С гача қиздириб, соатига тахминан 50°С тезликда совитиш йўли билан юмшатиш тавсия этилади.

Энди электротехника пўлатининг электромагнит хоссаларига оид маълумотларни келтириб ўтамиз (64-жадвал).

64-жадвал

Электротехника пўлати тунукаларининг электромагнит хоссалари (ГОСТ 805-54)*

Пўлатнинг маркаси	Тунуканинг қалинлиги, *мм*	Магнит майдони кучланганлигининг ҳар хил қийматларидаги магнит индукцияси, 10^4 *гс*						Солиштирма нобудгарчиликлар, *вт/кГ*					Солиштирма электр қаршилиги ρ, *ом·мм²/м*
		B_5	B_{10}	B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{300}	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$	$P_{...}$	$P_{7,5/400}$	$P_{10/400}$	
		камида						кўпи билан					
ЭІ	1,00	—	—	15,0	16,2	17,5	19,7	5,80	13,4	—	—	—	0,25
ЭІІ	0,50	—	—	15,0	16,2	17,5	19,7	3,30	7,9	—	—	—	0,25
Э12	0,50	—	—	14,9	16,1	17,4	19,6	2,80	6,8	—	—	—	0,25
Э21	0,50	—	—	14,8	15,9	17,3	19,4	2,50	6,1	—	—	—	0,40
Э31	0,50	—	—	14,6	15,7	17,0	19,0	2,00	4,5	—	—	—	0,50
Э31	0,35	—	—	14,6	15,7	17,0	19,0	1,60	3,6	—	—	—	0,50
Э41	0,50	—	13,0	14,5	15,6	16,8	18,8	1,60	3,6	—	—	—	0,58
Э41	0,35	—	13,0	14,5	15,6	16,8	18,8	1,35	3,2	—	—	—	0,58
Э42	0,50	—	12,9	14,4	15,5	16,7	18,7	1,40	3,2	—	—	—	0,58
Э42	0,35	—	12,9	14,4	15,5	16,7	18,7	1,20	2,8	—	—	—	0,58
Э43	0,50	—	12,8	14,3	15,4	16,6	18,7	1,25	2,9	—	—	—	0,58
Э43	0,35	—	12,8	14,3	15,4	16,6	18,7	1,05	2,5	—	—	—	0,58
Э310	0,50	—	15,7	17,0	18,0	19,0	19,8	1,25	2,8	3,8	—	—	0,50
Э310	0,35	—	15,7	17,0	18,0	19,0	19,8	1,00	2,2	3,2	—	—	0,50
Э320	0,50	—	16,5	18,0	18,7	19,2	20,0	1,15	2,5	3,5	—	—	0,50
Э320	0,35	—	16,5	18,0	18,7	19,2	20,0	0,90	1,9	2,9	—	—	0,50
Э330	0,50	—	17,0	18,5	19,0	19,5	20,0	1,05	2,3	3,2	—	—	0,50
Э33	0,35	—	17,0	18,5	19,0	19,5	20,0	0,80	1,7	2,6	—	—	0,50
Э34	0,35	11,8	13,0	14,5	—	—	—	—	—	—	13,0	23,0	0,50
Э340	0,35	14,6	15,7	17,0	—	—	—	—	—	—	12,0	21,0	0,47
Э340	0,20	14,0	15,5	16,7	—	—	—	—	—	—	7,0	12,0	0,47
Э44	0,35	11,8	12,9	14,3	—	—	—	—	—	—	10,7	19,0	0,57
Э44	0,20	11,8	12,8	14,2	—	—	—	—	—	—	7,2	12,5	0,57
Э44	0,15	11,6	12,8	14,1	—	—	—	—	—	—	6,8	11,7	0,57
Э44	0,10	11,5	12,7	14,0	—	—	—	—	—	—	6,0	10,5	0,57

Эслатма. 1. *В* нинг индекси магнит майдонининг 1 *см* га тўғри келадиган ампер ўрамлар (*ав/см*) ҳисобидаги кучланганлигини билдиради.

2. *Р* даги индекснинг сурати индукциянинг синусоидал ўзгаришидаги максимал қийматини 10 *гс* ҳисобида, махражи эса қайта магнитланиш частотасини *гц* ҳисобида ифодалайди.

* 1958 йилнинг 1 июлидан ГОСТ 802-58 га алмаштирилган.

65- жадвал

Легирланмаган пермаллойларнинг магнит хоссалари

Никелнинг миқдори, %	Бошланғич магнит киритувчанлиги $\mu_б$, *гс/э*	Максимал магнит киритувчанлиги μ_{max}, *гс/э*	Ўртача коэрцитив кучи H_c, *э*
78,5	7000—14000	100000—200000	0,025
60,0	2500—3700	130000—270000	0,030
55,0	2000—3200	50000—60000	0,075
45,0	1700—2500	16000—23000	0,25

Эслатма. Пермаллой тунукасининг қалинлиги 0,05 дан 2,5 *мм* гача.

66- жадвал

Легирланган пермаллойларнинг магнит хоссалари

Пермаллойнинг маркаси	Бошланғич магнит киритувчанлиги $\mu_б$, *гс/э*	Максимал магнит киритувчанлиги μ_{max}, *гс/э*	Коэрцитив кучи H_c, *э*
79НМ	20000	100000	0,03
79НМА	32000	150000	0,02
80НХС	35000	120000	0,02
50НХС	3000	28000	0,15

Эслатма. 1. Пермаллой тунукасининг қалинлиги 0,2 *мм*. 2. Марка белгисидаги олдинги икки рақам никелнинг процент билан ифодаланган миқдорини, Н ҳарфидан кейинги ҳарфлар легирловчи элементларни, А ҳарфи қотишманинг юқори сифатли эканлигини билдиради.

гс/э); $\mu_{max} = 0{,}15$ *тл·м/а* (117000 *гс/э*); $H_c = 1{,}6$ *а/м* (0,02 *э*); $B_r = 0{,}335$ *тл* (3350 *гс*); $\rho = 8{,}1 \cdot 10^{-7}$ *ом·м* (0,81 *ом·мм²/м*).

Альсифер пермаллойларга қараганда анча арзон туради, аммо мўрт бўлганлиги учун ундан тунукалар тайёрлаб бўлмайди, шу сабабли у магнит-диэлектриклар ишлаб чиқариш учун кукун ҳолида ишлатилади.

Оксифер (феррит). Сўнгги йилларда электротехникада оксиферлар (ферритлар) деб аталадиган янги магнит материаллари кенг кўламда ишлатилмоқда. Бу материаллар темир (III)-оксид (F_2O_3) билан бошқа металларнинг оксидлари (ZnO, MnO, NiO ва бошқалар) аралашмаларидан тайёрланади. Ферритларда металл хоссалари бўлмаганлигидан, уларни батафсил кўриб чиқиш металлшунослик вазифасига кирмайди.

Пермендюр. Пермендюр — тўйиниш индукцияси юқори қотишма. 50% Co, 1,8% V ва қолгани темирдан иборат пермендюрнинг магнитга тўйиниши 2,38 *тл* (23800 *гс*) га тенг. Пермендюр кичикроқ фазода қувватли куч чизиқлари оқими тўплаш зарур бўлганда фойдаланиладиган асбоблар учун ишлатилади.

Перминвар. Бундай қотишмаларга 45НК қотишмаси (45% никель, 25% кобальт ва қолгани темирдан иборат қотишма), 45НКМ қотишмаси (45% никель, 25% кобальт, 7,5% молибден ва қолгани темирдан иборат қотишма), 70НК қотишмаси (70% никель, 7% кобальт ва қолгани темирдан иборат қотишма) мисол бўла олади. Майдоннинг кучланганлиги 0 дан 80 — 160 *а/м* гача (0 дан 1 — 2 *э* гача) ўзгарганда ҳам перминвар қотишмаларининг магнит киритувчанлиги ўзгармайди. 45НК учун $\mu_б = 0{,}0004$ *тл·м/а* (365 *гс/э*), $\mu_{max} = 0{,}0022$ *тл·м/а* (1800 *гс/э*); 45НКМ учун $\mu_б =$

ганда пухталанишга мойиллиги кучли даражада пасаяди. 45Г17Ю3 пўлати алюминий билан легирланган, тежамли ва технологик хоссалари юқори ана шундай пўлатдир. 45Г17Ю3 маркали пўлатнинг механик хоссаларини келтириб ўтамиз: $\sigma_в = 700$ *Мн/м²* (70 *кГ/мм²*), $\sigma_{ок} = 350$ *Мн/м²* (35 *кГ/мм²*), $\delta = 35\%$, $a_н > 1000$ *кж/м²* (10 *кГ м/см²*).

68-жадвалда келтирилган пўлатларнинг ҳаммаси коррозиябардош пўлатлар эмас. Магнитланмаслик ва коррозиябардошлик хоссалари юқори бўлиши талаб этиладиган ҳолларда Х18Н12 типидаги зангламас пўлатлар ёки рангдор қотишмалар ишлатиш тавсия этилади.

Магнитланмайдиган чўян ҳам рангдор қотишмалар ўрнини боса оладиган материалдир. Магнитланмайдиган чўян рангдор қотишмаларга қараганда арзон туриши билан бирга, унинг электр қаршилиги юқори бўлади, бу эса уюрма токларга кетадиган нобудгарчиликни камайтиради. Магнитланмайдиган чўян гистерезисга кетадиган нобудгарчилиги энг кам, магнит киритувчанлиги жуда паст [$\mu = 0{,}15 \cdot 10^{-5} — 0{,}13 \cdot 10^{-5}$ *тл·м/а* (1,2—1,1 *гс/э*)] бўлиши талаб этиладиган деталлар учун ишлатилади. Бундай деталлар (электромагнит деталлари, магнит сепараторларининг деталлари ва бошқалар) структураси аустенит билан графитдан иборат чўяндан ясалади.

Магнитланмайдиган чўян аустенитни барқарор ҳолатга келтирувчи элементлар билан кўп миқдорда легирланиши керак. Бундай элементлардан энг яхшиси никелдир. Чўян 25% никель билан легирланса, чўяннинг структураси аустенит билан графитдан иборат бўлади, чунки никель аустенит ҳосил қилиш билан бирга, чўянда графитланиш процессини келтириб чиқаради. Магнитланмайдиган бундай чўянни кесувчи асбоблар билан ишлаш қийин бўлмайди. 10% миқдордаги марганец ҳам чўянда аустенит структура ҳосил қилади, аммо у карбид ҳосил қилувчи элемент бўлганлигидан, чўяннинг графитланишига салбий таъсир этади, натижада чўяннинг кесиб ишланувчанлиги ёмонлашиб кетади. Бинобарин, магнитланмайдиган чўян сифатида ё никель-марганецли чўян ёки графитловчи элементлар — мис ва алюминий қўшилган марганецли чўян ишлатилади. Қуйида никель-марганецли ва марганецли магнитланмайдиган чўянларнинг химиявий таркибини келтириб ўтамиз:

никель-марганецли чўян 10 ёки 5% Ni, 5 ёки 8% Mn, 3% чамаси C, 2,5% Si, қолгани Fe;

марганецли чўян — 10% Mn, 2% гача Cu, 0,5% гача Al, 3,5% C ва 3% Si, қолгани Fe.

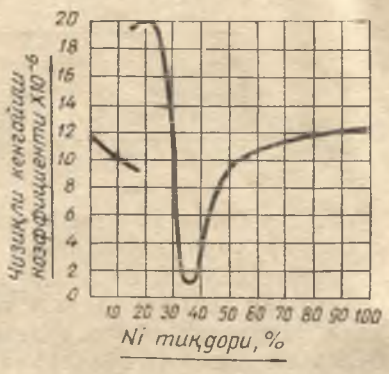
7-§. АЛОҲИДА ИССИҚЛИК ВА ЭЛАСТИКЛИК ХОССАЛАРИГА ЭГА БЎЛГАН ҚОТИШМАЛАР

Алоҳида иссиқлик хоссаларига эга бўлган қотишмалар. Асбобсозликда чизиқли кенгайиш коэффициенти нолга яқин қийматга ёки катта қийматга тенг бўлган қотишмалар талаб этилади. Бу талабларни қондириш учун, чизиқли кенгайиш коэфициенти тегишлича бўлган муайян таркибли қотишмалар тайёрланади.

Металлга бошқа бир металл қўшилса, унинг чизиқли кенгайиш коэффициенти ўзгаради. Бунда икки компонет ўзаро механик аралашма ҳосил қилса, қотишманинг чизиқли кенгайиш коэффициенти аддитив равишда, агар компонентлар қаттиқ эритма ҳосил қилса, қотишманинг чизиқли кенгайиш коэффициенти, тоза компонентлар чизиқли кенгайиш

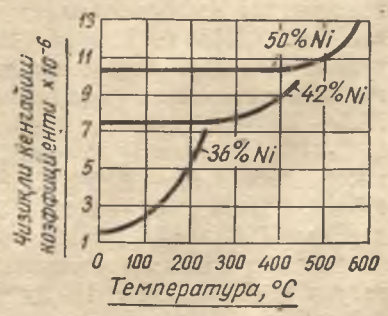
коэффициентларининг қийматлари билан чегараланган соҳаларда, эгри чизиқ қонуни билан ўзгаради. Аммо иккита система, яъни темир—никель ва темир—платина системалари борки, уларда чизиқли кенгайиш коэффициентларининг ўзгариши умумий қоидаларга бўйсунмайди. Темир—никель қотишмаларида чизиқли кенгайиш коэффициентининг никель миқдорига қараб ўзгариши мураккаб тарзда боради (276-расм, бу расмдаги эгри чизиқнинг узилган жойи α-қаттиқ эритманинг β-қаттиқ эритмага ўтишини ифодалайди).

Бу диаграммадан кўриниб турибдики, 0 дан 100°С гача температуралар оралиғида темирнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти ўрта ҳисобда $12 \cdot 10^{-6}$ га, таркибида 25% никель бўлган қотишманики эса $20 \cdot 10^{-6}$ га тенг. Таркибида 36% никель бўлган қотишманинг чизиқли кенгайиш коэффициенти темирникидан деярли 8 баравар кичик ($\alpha \leqslant 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ *град*$^{-1}$) бўлиб, бу қотишма *инвар** деб аталади.—80° дан + 100°С гача бўлган температуралар оралиғида инварнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти қарийб ўзгармайди, шу сабабли бу қотишма асбобларнинг ана шу температуралар оралиғида ўз ўлчамларини ўзгартирмаслиги керак бўлган деталлари тайёрлаш учун ишлатилади. Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, —80° дан паст ва + 100°С дан юқори температураларда инварнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти кескин ўзгаради. Бинобарин, бундай температураларда ишлайдиган деталлар тайёрлаш учун инвардан фойдаланиш ярамайди.



276-расм. 0° дан 100° гача бўлган температураларда темир — никель қотишмалари чизиқли кенгайиши коэффициентининг никель миқдорига қараб ўзгариши (Шевенар ва бошқалар).

Темир—никель қотишмалари чизиқли кенгайиш коэффициентининг температурага қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 277-расмда тасвирланган. Бу эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, таркибида 42% никель бўлган қотишманинг чизиқли кенгайиш коэффициенти 0 дан +300°С температурагача, таркибида 50% никель бўлган қотишманинг чизиқли кенгайиш коэффициенти эса 0 дан +500°С температурагача ўзгармайди. Демак, температуралар оралиғининг қотишма чизиқли кенгайиш коэффициенти кескин ўзгара бошлайдиган юқори чегараси шу қотишма таркибидаги никель миқдорига боғлиқ экан, яъни никель миқдори қанчалик кўп бўлса, бу чегара (температура) шунчалик юқори бўлади.



277-расм. Темир—никель қотишмалари чизиқли кенгайиши коэффициентининг температурага қараб ўзгариши (А. П. Гуляев).

Таркибида 48% никель бўлган темир—никель қотишмаси *платинит* деб аталади. Платинитнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти платинаники ва шишаники каби, яъни тахминан $9 \cdot 10^{-6}$ га тенгдир. Бу қотишма симларни шишага кавшарлаш учун, масалан, чўғла ма лампаларда ишлатилади.

---

* *Инвар (invar)* сўзи инглизча бўлиб, унинг таржимаси ўзгармас демакдир.

Инвар таркибидаги никелнинг бир қисми кобальтга алмаштирилса, *суперинвар** деб аталадиган қотишма ҳосил бўлади. Суперинварнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти инварникидан ҳам кичик ($\alpha < 10^{-6}$ *град*$^{-1}$).

Юқорида кўриб ўтилган қотишмаларнинг — инвар, платинит ва суперинварнинг химиявий таркиби 69- жадвалда келтирилган.

69- ж а д в а л

Қотишманинг номи	Қотишманинг маркаси	Элементларнинг тахминий миқдори, % ҳисобида		
		Ni	Co	Fe
Инвар	Н36	36	—	қолгани
Платинит	Н48	48	—	»
Суперинвар	Н31К6	30—32	4—6	»

Инвар билан суперинвар аниқ асбоблар, масалан, геодезик ва оптик асбоблар учун ишлатилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, инвардан тайёрланган деталнинг ўлчамлари дастлаб (деталь тайёрлангандан кейин) кичрайиб, сўнгра ортади. Инвардан ясалган деталь ўлчамларининг ўзгариши жуда кичик бўлса-да, аммо ўлчамларини мутлақо ўзгартирмаслиги талаб этиладиган деталлар учун катта аҳамиятга эгадир. Инвардан ясалган деталларнинг ўлчамларини ўзгармайдиган қилиш учун бундай деталлар термик ишланиб, уларни тайёрлаш вақтида ҳосил бўлган ички қолдиқ кучланишлар йўқотилади, чунки деталь ўлчамларининг ўзгариши ана шу кучланишлар релаксацияси натижасида содир бўлади.

Алоҳида эластиклик хоссаларига эга бўлган қотишмалар. Камертонлар, соат пружиналари ва бошқа аниқ асбобларнинг деталлари тайёрлаш учун температура ўзгарганда эластиклик модули ўзгармайдиган қотишмалар талаб этилади. Х8Н36 (ЭИ-25) ва Н35ХМВ маркали қотишмалар ана шундай қотишмалардандир. Х8Н36 маркали қотишма *элинвар* деб аталади. Х8Н36 маркали қотишманинг таркибида 0,4% ва ундан кам С, 7,3 — 8,3% Cr, 35,5 — 37,5% Ni, 0,5% ва ундан кам Si, 0,3 — 0,8% Mn, 0,03% дан кам S, 0,04% дан кам P ва қолгани Fe; Н35ХМВ маркали қотишманинг таркибида эса 1,14 — 1,26% C, 8,5 — 9,5% Cr, 34,3 — 35,7% Ni, 2 — 4% W, 1,8 — 2,2% Mo, 0,2 — 0,4% Si, 0,8 — 0,9% Mn, 0,03 дан кам S ва 0,04% дан кам P бўлади.

Элинвар типидаги қотишмалар нормал эластиклик модулининг температура коэффициенти $18 \cdot 10^{-6} — 23 \cdot 10^{-6}$ атрофида, яъни углеродли пўлатларникидан 10 баравар, аустенит синфидаги пўлатларникидан эса 20 баравар кичик бўлади. Бу қотишмаларнинг нормал эластиклик модули $16 \cdot 10^4 — 17 \cdot 10^4$ *Мн/м*^{2} ($16 \cdot 10^3 — 17 \cdot 10^3$ *кГ/мм*^{2}), чизиқли кенгайиш коэффициенти $7 \cdot 10^{-6} — 8 \cdot 10^{-6}$, электр қаршилиги $0{,}9 \cdot 10^{-6}$ *ом·м* (0,9 *ом·мм*^{2}*/м*), мустаҳкамлик чегараси 700—900 *Мн/м*^{2} (70 — 90 *кГ/мм*^{2}) ва нисбий узайиши 15 — 20% га тенгдир.

* *Суперинвар* сўзи латинча *super* (супер) сўзи билан инглизча *invar* (инвар) сўзидан олинган бўлиб, унинг маъноси *юқори сифатли инвар* демакдир.

IX БОБ

РАНГДОР МЕТАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Бу бобда техникада ишлатиладиган рангдор металлар ва уларнинг қотишмалари — алюминий ва унинг қотишмалари, мис ва унинг қотишмалари, магний ва унинг қотишмалари, рух ва унинг қотишмалари, титан ва унинг қотишмалари, шунингдек, босмахона қотишмалари, подшипник қотишмалари, кавшарлар, жуда осон суюқланувчи қотишмалар, титан ва унинг қотишмалари, атом энергетикаси қотишмалари ва кукун қотишмалари билан танишиб чиқилади.

1-§. АЛЮМИНИЙ ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Алюминий. Алюминий 657—660°С да суюқланадиган, 1800—2000°С да қайнайдиган жуда енгил (солиштирма оғирлиги 2,7 га тенг) металл бўлиб, Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг III группасида туради (тартиб номери 13).

Алюминийнинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган куб. Тозалик даражасига қараб, алюминий кристалл панжарасининг параметри 4,041 дан 4,047Å гача ўзгаради; атомининг радиуси 1,43Å.

Қуйма алюминийнинг механик хоссалари қуйидагича: $\sigma_в = 90—120$ *Мн/м²* (9 — 12 *кГ/мм²*); $\sigma_{ок} = 50 — 90$ *Мн/мм²* (5—9 *кГ/мм²*); $\sigma_э = 30—50$ *Мн/м²* (3 — 5 *кГ/мм²*); $\delta = 10 — 25\%$; $\psi = 80\%$; $HB = 25 — 35$; $E = 69500 — 73000$ *Мн/м²* (6950 — 7300 *кГ/мм²*).

Алюминийнинг солиштирма электр қаршилиги $\rho = 2{,}92 \cdot 10^{-8}$ *ом·м* (0,0292 *ом·мм²/м*); иссиқ ўтказувчанлик коэффициенти $\lambda = 206{,}23$ *вт/м·град* (0,503 *кал/см·сек·град*); чизиқли кенгайиш коэффициенти $\alpha = 23{,}8 \cdot 10^{-6}$.

Алюминийнинг кислородга яқиндошлиги катта бўлишига қарамай, у ҳавода ва баъзи бошқа муҳитларда жуда оз коррозиланади, чунки унинг сиртида зич алюминий оксид (Al_2O_3) пардаси ҳосил бўлиб, металлнинг ички қисмларини коррозиланишдан сақлайди. Алюминий қанчалик тоза бўлса, унинг коррозиябардошлик хоссаси шунчалик юқори бўлади.

Техникада ишлатиладган алюминий маркаларининг химиявий таркиби 70-жадвалда келтирилган.

Мавжуд технология асосида ишлаб чиқариладиган алюминийда албатта бўладиган (доимий) қўшимчалар темир билан кремнийдир. Техникавий тоза алюминийда бу қўшимчаларнинг бўлиши зарарли, чунки улар металлнинг пластиклигини пасайтиради.

Темир алюминийда амалий жиҳатдан олганда эримайди, балки мўрт химиявий бирикма ($FeAl_3$) ҳосил қилади. Демак, жуда оз миқдорда темир аралашган алюминийда ҳам бу бирикма бўлади ва Fe — Al ҳолат диаграммасида $Al + FeAl_3$ таркибли эвтектика ҳосил қилади.

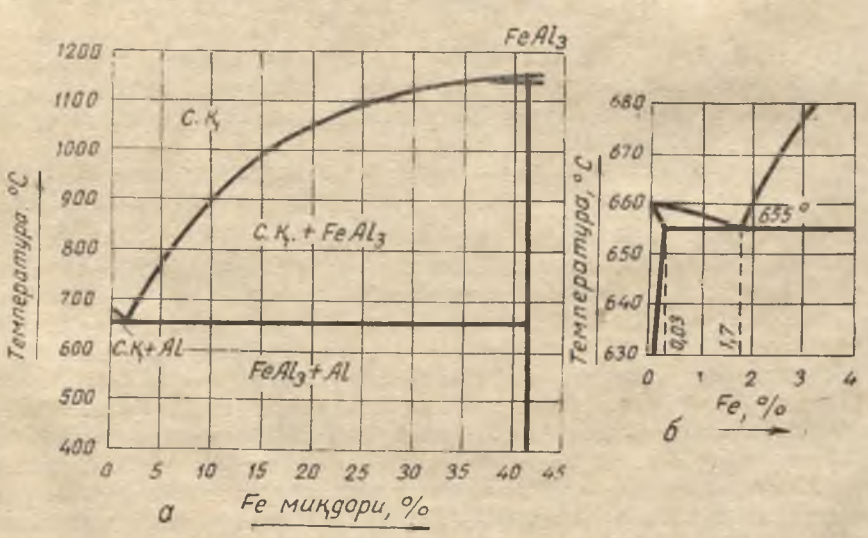
70-жадвал

Техникада ишлатиладиган алюминий маркаларининг химиявий таркиби (ГОСТ 3549-55)

Алюминийнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	Al	Si	Fe	Cu	қўшимчалар йиғиндиси
АВ 0000	≥99,996	≤0,0015	≤0,0015	≤0,001	≤0,004
АВ000	≥99,99	≤0,0025	≤0,003	≤0,005	≤0,01
АВ00	≥99,97	≤0,015	≤0,015	≤0,005	≤0,03
АВ0	≥99,93	≤0,04	≤0,10	≤0,01	≤0,07
А000	≥99,8	≤0,10	≤0,12	≤0,01	≤0,20
А00	≥99,7	≤0,16	≤0,16	≤0,01	≤0,30
А0	≥99,6	≤0,20	≤0,25	≤0,01	≤0,40
А1	≥99,5	≤0,30	≤0,30	≤0,015	≤0,50
А2	≥99,0	≤0,50	≤0,50	≤0,02	≤1,0
А3	≥98,0	≤1,0	≤1,1	≤0,05	≤2,0

Эслатма. Марқадаги АВ ҳарфлари тозалиги юқори алюминийни, А ҳарфи тозалиги ундан камроқ алюминийни, бу ҳарфлардан кейинги рақамлар эса алюминийнинг гарантияланган тозалигини билдиради.

Алюминий — темир қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми 278-расмда тасвирланган.



278-расм. Алюминий—темир қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми (*а*) ва пастки чап бурчаги (*б*).

Al+$FeAl_3$ эвтектикада 7% $FeAl_3$ (1,7% Fe) бўлади. Алюминий — темир қотишмаларининг структураси алюминий билан қора тусли $FeAl_3$ қўшилмаларидан иборат (279-расм).

Кремний алюминий билан химиявий бирикма эмас, балки эвтектик механик аралашма ҳосил қилади. Эвтектика таркибида 11,7% кремний бўлади. Кремнийнинг алюминийда эрувчанлиги нормал температурада 0,05% дан ошмайди, эвтектик температурада эса 1,65% га етади. Кремний кристаллари мўрт ва жуда қаттиқ (*НВ*=800) бўлади.

Алюминий — кремний қотишмаларининг ҳолат диаграммаси 280- расмда тасвирланган.

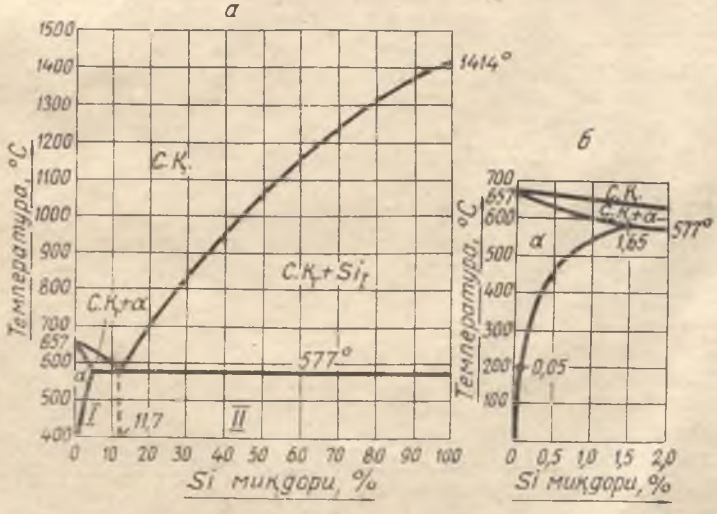
Алюминийда кремний ҳам, темир ҳам бўлса, темир, кремний ва алюминийнинг учлама химиявий бирикмаси, яъни икки компонентли қотишмаларда бўлмайдиган янги фазалар ҳосил бўлади. Бу фазалар α(Al—Fe—Si) ва β (Al—Fe—Si) билан белгиланади. Демак, техникавий алюминийда $FeAl_3$, α(Al—Fe—Si), β(Al—Fe—Si) ва Si фазалар мавжуд бўлиши мумкин экан. Қандай химиявий бирикма ҳосил бўлиши қотишма таркибидаги темир ва кремний миқдорига ҳамда уларнинг ўзаро нисбатига боғлиқдир. Бу бирикмалар алюминийнинг пластиклигини пасайтиради, шу сабабли алюминийнинг юқори сортларида темир билан кремний миқдорлари йиғиндиси (Fe+Si) 0,095—0,45% дан, қотишмалар тайёрлаш учун кетадиган пастроқ сортларида эса 1—2% дан ортмаслиги керак.



279- расм. Техникавий қуйма алюминийнинг микроскопик тузилиши. × 200.

Тоза алюминий электр симлари ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади, алюминийнинг энг кўп миқдори эса қотишмалар тайёрлаш учун кетади.

Алюминий қотишмалари. Ҳозирги замон техникасида алюминийнинг хилма-хил қотишмалари ишлатилади. Бу қотишмалар алюминийга Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Fe ва бошқа элементлардан алоҳида-алоҳида ёки маълум комбинацияда қўшиб суюқлантириш йўли билан тайёрланади.



280- расм. Алюминий—кремний қотишмаларининг ҳолат диаграммаси (*а*) ва диаграмманинг пастки чап бурчаги (*б*).

Алюминий қотишмаларига легирловчи элементлар сифатида Ni, Cr, Co ва бошқа элементлар, модификаторлар, яъни қотишма хоссаларини яхшилайдиган (структурасини майда донали қиладиган) элементлар сифатида эса оз миқдорда Na, Be, Ti, Ce, Nb элементлари ҳам қўшилади.

Алюминийнинг энг муҳим қотишмалари икки компонентли системалар, масалан, Al—Cu, Al—Si ва Al—Mg системаларига киради. Аммо

техникада алюминий қотишмаларининг асосини ташкил этувчи бинар системаларга юқорида айтиб ўтилган легирловчи элементлардан қўшиш йўли билан ҳосил қилинган мураккаб (легирланган) қотишмалар учрайди.

Алюминийнинг Al—Si дан бошқа энг муҳим бинар қотишмаларида интерметалл бирикмалар ва қаттиқ эритмалар ҳосил бўлади. Қаттиқ ҳолатда иккинчи компонент алюминийда маълум чегарагача эрий олади. Иккинчи компонентнинг алюминийда эрувчанлиги температура пасайган сари камаяди. Қаттиқ ҳолатда мис, магний ва баъзи бошқа металларнинг алюминийда, температурага қараб, маълум чегарагача эрий олиш хоссаси термик ишлаш йўли билан бу қотишмаларни пухталашга имкон беради (397-бетга қаранг).



281- расм. Компоненти маълум чегарагача эрийдиган икки компонентли система қотишмаларининг технологик хоссалари (А. А. Бочвар).

Алюминийнинг техникавий қотишмалари иккита группага — *деформацияланадиган* қотишмалар группаси билан *қуйиш учун ишлатиладиган* қотишмалар группасига бўлинади. Бу иккала группа эвтектик температурада қаттиқ эритманинг тўйиниш чегараси жиҳатидан бир-биридан фарқ қилади.

Таркибидаги компонент миқдори юқори температурада эрувчанлик чегарасига тўғри келадиган миқдордан кам бўлган қотишмаларнинг юқори температурадаги пластиклиги энг катта, пухталиги эса энг кичик бўлади (281- расмга қаранг). Бинобарин, бундай қотишмаларни қиздириб туриб, босим билан ишлаш осон.

281- расмдан кўриниб турибдики, эвтектик структура қотишманинг пластиклигини ва, демак, прессланиш, болғаланиш, прокатланиш хоссаларини пасайтириб юборади. Таркибида озроқ миқдорда эвтектика бўлган қотишмани босим билан ишлаб бўлмайди. Тоза металларнинг ва эвтектик қотишмаларнинг суюқ ҳолатда оқувчанлик хоссаси энг юқори бўлади.

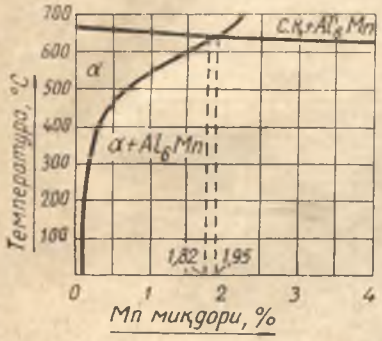
Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларини термик ишлаш йўли билан пухталаш мумкин, аммо қотишма қанчалик кўп легирланган, яъни унинг структурасида эвтектика қанчалик кўп бўлса, бу қотишманинг пухталаниш даражаси шунчалик паст бўлади.

Алюминийнинг деформацияланадиган қотишмалари. Деформацияланадиган қотишмалар ҳам, ўз навбатида, иккига — термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган ва термик ишлаш йўли билан пухталанадиган қотишмаларга бўлинади.

Термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган қотишмалар. Бу қотишмалар алюминийнинг ўзидан сал пухтароқ, анча пластик, коррозиябардош ва яхши пайвандланувчан бўлади. Алюминий қотишмаларининг бу турлари чуқур штамповка қилиш йўли билан тайёрланадиган буюмлар учун ишлатилади. Зарур бўлган тақдирда бу қотишмалар пластик деформация (нагартовка) қилиш орқали пухталанади.

Термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган қотишмалар жумласига Al—Mn ва Al—Mg системасидаги қотишмалар киради. Al—Mn системасидаги қотишма АМц билан, Al—Mg системасидаги қотишма эса АМг билан маркаланади.

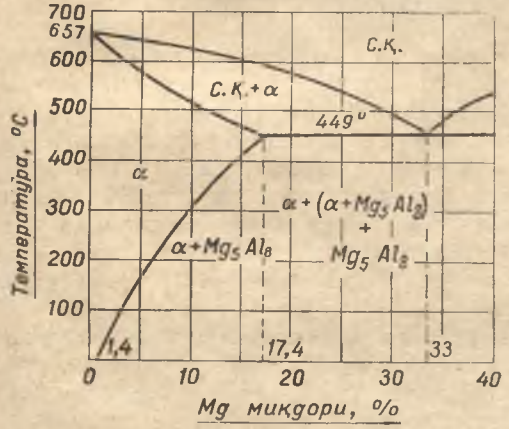
Al—Mn ва Al—Mg системаларининг ҳолат диаграммалари 282 ва 283- расмларда тасвирланган.



282- расм. Al — Mn қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Al—Mn системасида Al_6Mn бирикмасининг алюминийда эрувчанлиги ўзгарувчан бўлса-да, аммо қотишмада албатта бўладиган Fe иштирокида учлама бирикма — $Al_6(Mn,Fe)$ ҳосил бўлади, бу бирикма эса алюминийда эримайди. Марганец, бошқа элементларнинг аксича, қотишманинг коррозиябардошлик хоссасини оширади. Бинобарин, алюминий — марганец қотишмалари пухталик ва коррозиябардошлик жиҳатидан тоза алюминийдан афзал туради.

283- расмдаги диаграммадан яққол кўриниб турибдики, таркибида 1,4% гача Mg бўлган алюминий — магний қотишмаларини термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайди, таркибида 3% дан ортиқ Mg бўлган қотишмаларни эса термик ишлаб, озроқ пухталаш мумкин. Магний қотишманинг коррозиябардошлигини ошириш билан бирга (агар магний миқдори 3% дан ортиқ бўлмаса), унинг пухталигини ҳам оширади, пластиклик хоссасини пасайтирмайди, қотишмани анча енгил қилади.



283- расм. Al — Mg қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Алюминийнинг термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган баъзи қотишмаларининг химиявий таркибини келтириб ўтамиз (71- жадвал).

71- жадвал

Алюминийнинг термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган баъзи қотишмаларининг химиявий таркиби (ГОСТ 4784-49)

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	Mn	Mg	Si	Fe	Cu
АМц	1,0—1,6	<0,05	<0,6	<0,7	<0,2
АМг	0,15—0,4	2,0—2,8	<0,4	<0,4	<0,1
АМг3	0,3—0,6	3,2—3,8	0,5—0,8	<0,5	<0,5
АМг5	0,3—0,6	4,0—5,5	<0,5	<0,5	<0,5
АМг7	0,3—0,6	6,0—7,5	<0,5	<0,5	<0,5

Эслатма. Қотишма маркасининг охиридаги рақам магнийнинг % ҳисобидаги ўртача миқдорини билдиради.

Алюминийнинг термик ишлаш йўли билан пухталаб бўлмайдиган қотишмалари истеъмолчиларга листлар, трубалар, чивиқлар ва шу кабилар тарзида юмшоқ (юмшатилган), озроқ (чала) наклёпланган ёки кучли даражада наклёпланган, яъни нагартовка қилинган ҳолда юборилади.

72-жадвалда АМц қотишмасининг уч хил ҳолатдаги механик хоссалари келтирилган.

72-жадвал

АМц қотишмасининг механик хоссалари

Қотишманинг маркаси	Механик хоссалари			
	σ_b, кГ/мм²	$\sigma_{оқ}$, кГ/мм²	δ, %	НВ
АМцМ	13	5	23	30
АМцП	16	13	10	40
АМцН	22	18	5	55

Эслатма. Марканинг охиридаги М ҳарфи қотишманинг юмшатилганлигини, П ҳарфи чала наклёпланганлигини, Н ҳарфи эса кучли наклёпланганлигини билдиради.

Термик ишлаш йўли билан пухталанадиган қотишмалар. Алюминийнинг термик ишлаш йўли билан пухталанадиган қотишмаларидан энг кўп ишлатиладигани дуралюминийдир*. Дуралюминий таркибидаги асосий қўшимчалар Cu билан Mg бўлганлигидан уни Al—Cu—Mg системасидаги қотишмалар жумласига киритиш мумкин. Дуралюминий таркибида темир билан кремний албатта бўладиган алюминийдан тайёрланганлиги учун бу элементлар дуралюминийда ҳам бўлади, яъни улар доимий қўшимчалардир.

Алюминий қотишмаларининг коррозиябардошлигини ошириш учун унга атайлаб Mn қўшилади.

Дуралюминий таркибидаги элементлар қотишмани эскиртирадиган ва алюминийда эрийдиган $CuAl_2$, $CuMgAl_2$ ва Mg_2Si бирикмалари, шунингдек, эримайдиган бирикмалар (темирли ва марганецли бирикмалар) ҳосил қилади. Бинобарин, дуралюминийнинг юмшатилган ҳолатдаги структураси қаттиқ эритма билан ҳар хил интерметалл бирикмалардан, тобланган ҳолатдаги структураси эса қаттиқ эритма билан темирнинг эримайдиган бирикмаларидан иборат бўлади. Дуралюминий 500°С чамаси температурагача қиздирилиб, сўнгра тоблангандан кейин $CuAl_2$ ва Mg_2Si бирикмаларининг кўп миқдори алюминийда эриб, қаттиқ эритма ҳосил қилади.

Дуралюминийнинг микроскопик тузилиши 284-расмда тасвирланган.

Дуралюминийнинг бир неча хил маркаси ишлаб чиқарилади, аммо Д1, Д6, Д16 маркалари энг кўп тарқалган, ана шу маркаларнинг химиявий таркибини келтириб ўтамиз (73-жадвал).

---

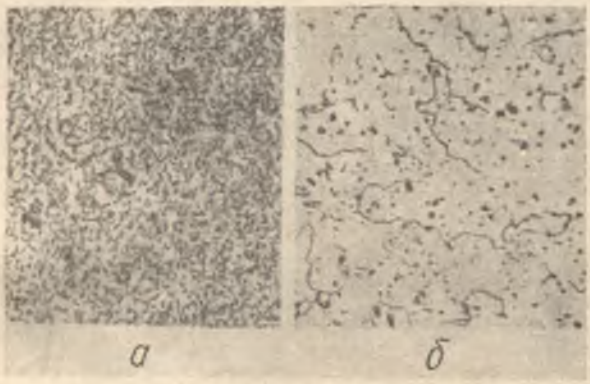
* *Дуралюминий* сўзи латинча *durus* — қаттиқ сўзи билан *алюминий* сўзидан ясалган бўлиб, қаттиқ алюминий демакдир. Дуралюминий бошқача қилиб, дуралюмин, дюралюминий, дюраль деб ҳам аталади.

73-жадвал

Дуралюминий маркаларининг химиявий таркиби

(ГОСТ 4784-49)

Дуралюминийнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Ni	бошқа қўшимчалар
Д1	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	≤0,7	≤0,7	≤0,3	≤0,1	≤0,1
Д6	4,6—5,2	0,65—1,0	0,5—1,0	≤0,5	≤0,5	≤0,3	≤0,1	≤0,1
Д16	3,8—4,5	1,2—1,8	0,3—0,9	≤0,5	≤0,5	≤0,3	≤0,1	≤0,1



284-расм. Дуралюминийнинг микроскопик тузилиши:
а — юмшатилган дуралюминий × 200; *б* — тобланган дуралюминий × 100.

Д1 маркали қотишма *нормал дуралюмний* деб, Д6 ва Д16 маркали қотишмалар эса *супердуралюмний* деб аталади. Д6 маркали дуралюминийда нормал дуралюминийдагига қараганда миснинг миқдори кўпроқ, Д16 маркали дуралюминийда эса магний миқдори кўпроқ бўлади, бинобарин, Д6 қотишмасида асосий пухталовчи фаза $CuAl_2$, Д16 қотишмасида эса $CuMgAl_2$ дир. Д6 ва Д16 қотишмаларининг тобланиб, сўнгра эскиртилгандаги пухталиги Д1 қотишмасиникидан юқори бўлади. Агар алюминий қотишмасига мис билан магнийдан ташқари, рух ҳам қўшилса, қотишманинг тобланиб, эскиртирилгандаги пухталиги янада ошади. Бундай қотишма Al — Cu—Mg—Zn системасидаги қотишмалар жумласига киради. Бу қотишма дуралюминий эмас, чунки дуралюминий Al—Cu—Mg системасидаги қотишмадир.

Al—Cu—Mg—Zn системасига кирувчи қотишмалардан саноатда энг кўп ишлатиладигани В95 маркали қотишма бўлиб, унинг таркибида 1,4—2,0% Cu, 0,2—0,6% Mn, 1,8—2,8% Mg, 5,0—7,0% Zn, 0,1—0,25% Cr, 0,5% дан кам Fe ва 0,5% дан кам Si бўлади. В95 маркали қотишмада ҳам, худди дуралюминийдаги каби, $CuMgAl_2$ бирикма пухталовчи фаза, яъни тоблаш температурасигача қиздирилганда алюминийда эрувчи фазадир.

Прессланган профиллар тайёрлаш учун ишлатиладиган дуралюминий ва В95 қотишмасининг механик хоссалари 74-жадвалда келтирилган.

74 - жадвал

Прессланган профиллар тайёрлаш учун ишлатиладиган дуралюминий ва В95 қотишмасининг механик хоссалари (АМТУ 258-55)

Қотишманинг маркаси	Прессланган профилнинг ҳолати	Қалинлиги, *мм* ҳисобида	Механик хоссалари		
			σ_b, *кГ/мм²*	$\sigma_{ок}$, *кГ/мм²*	δ, %
Д1	Тобланиб, табиий эскиртирилган	<10,0	36	22	12
		10,1—20	38	23	12
		>20	41	25	10
	Юмшатилган	Барча ўлчамлар	<25	—	12
Д6	Тобланиб, табиий эскиртирилган	<5,0	40	30	10
		5,1—10	42	30	10
		10,1—20	43	31	11
		20,1—40	45	32	10
		>40	49	36	10
	Юмшатилган	Барча ўлчамлар	<25	—	12
Д16	Тобланиб, табиии эскиртирилган	<5,0	40	30	10
		5,1—10	42	30	10
		10,1—20	43	31	11
		20,1—40	45	32	10
		>40	49	36	10
	Юмшатилган	Барча ўлчамлар	<25	—	12
В95	Тобланиб, сунъий эскиртирилган	<10,0	51	44	6
		10,1—20	54	45	6
		20,1—40	57	47	6
		>40	58	50	6
	Юмшатилган	Барча ўлчамлар	<28	—	10

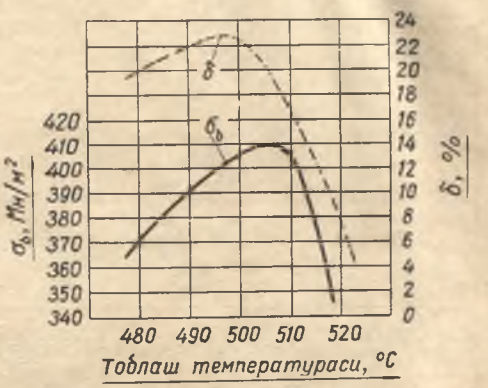
Тобланиб, сўнгра эскиртирилган дуралюминийнинг механик хоссалари тоблаш температурасига кучли даражада боғлиқ бўлади, бу боғланишни ифодаловчи эгри чизиқлар 285- расмда тасвирланган.

285- расмдаги эгри чизиқдан яққол кўриниб турибдики, тоблаш температураси маълум чегарагача (тахминан 510°С гача) кўтарилган сари дуралюминийнинг эскиртирилгандан кейинги пухталиги ортиб боради ва температура шу чегарага етганда қотишманинг пухталиги максимум бўлади. Дуралюминийнинг тобланиш температураси шу чегарадан ортса, яъни у ўта қиздирилса, қотишманинг доналари йириклашади, доналар чегараси оксидланади ва суюқланади, натижада унинг пухталиги ҳам, пластиклиги ҳам кескин равишда пасаяди. Шунинг учун, дуралюминийни термик ишлашда тоблаш температураси режимига қатъий риоя қилиш зарур.

Шуни ҳам айтиш керакки, дуралюминийнинг ва В95 қотишмасининг коррозиябардошлик хоссаси паст бўлади. Бу қотишмаларни коррозиядан ҳимоя қилишнинг энг кўп тарқалган усули улар сиртига тоза алюминий қоплаш, яъни қуйма дуралюминий ёки қуйма В95 қотишмаси сиртига алюминий тунука ўраб, уни қиздирилган ҳолда прокаткалаш усулидир. Бу усул *плакирлаш* деб аталади. Яхшилаб плакирланган қо-

тишманинг коррозиябардошлик хоссаси тоза алюминийники каби бўлади. Қотишмага қопланган тоза алюминий қаватининг қалинлиги прокатланган лист қалинлигининг ёки сим ёхуд чивиқ диаметрининг 4—8 процентини ташкил этади. Аммо плакирланган қотишманинг пухталиги плакирланмаган қотишманикига қараганда бир қадар паст бўлади, чунки тоза алюминийнинг пухталиги дуралюминий ёки В95 қотишмаси пухталигидан пастроқдир.

Алюминийнинг деформацияланадиган қотишмалари жумласига дуралюминий ва В95 қотишмасидан ташқари, унинг болғалаш, штамплаш, прокатлаш йўли билан деформацияланадиган қотишмалари ҳам киради. Бу қотишмалар АК билан маркаланади. АК қотишмаларида механик хоссаларининг юқори бўлиши билан бирга, қиздирилган ҳолдаги пластиклиги ҳам яхши бўлиши керак. Болғаланадиган, штампланадиган ёки прокатланадиган деталлар тайёрлаш учун ё нормал дуралюминийдан ёки таркиби жиҳатидан дуралюминийга яқин турадиган бошқа қотишмалардан, масалан, АК5, АК6, АК8 қотишмаларидан фойдаланилади. Болғаланган ёки штампланган ҳолатда ишлатиладиган нормал дуралюминий АК1 билан белгиланади.



285- расм. Тобланиб, сўнгра эскиртирилган дуралюминий механик хоссаларининг тоблаш температурасига қараб ўзгариши (А. П. Гуляев)

АК қотишмаларининг химиявий таркиби 75-жадвалда, механик хоссалари эса 76- жадвалда келтирилган.

75-жадвал

АК қотишмаларининг химиявий таркиби

(ГОСТ 4784-49)

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % хисобида				
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe
АК1	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	<0,7	<0,7
АК6	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	0,6—1,2	<0,6
АК8	3—5	0,3—0,7	0,5—1,1	0,5—1,1	<1,0
АК5	0,2—0,6	0,5—0,8	0,15—0,35	0,6—1,2	<0,8

Эслатма. Марканинг охиридаги рақам қотишманинг номерини билдиради.

Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари. Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари ичида энг кўп тарқалгани Al—Si системасидаги қотишмалар, яъни силуминлардир. Қуйиш учун ишлатиладган қотишмалар сифатида алюминийнинг мис билан, магний билан ва рух билан ҳосил қилган қотишмаларидан ҳам фойдаланилади. Аммо Al—Cu, Al—Mg, Al—Zn ва бошқа системаларга кирувчи эвтектик концентрацияли кўпчилик қотишмаларнинг механик хоссалари жуда паст бўлади, шунинг учун уларнинг ишлатилиши ҳақида гап ҳам

76-жадвал

АК қотишмаларининг механик хоссалари (АМТУ 241-49)

Қотишманинг маркаси	Ҳолати	Буюмнинг тури	Толалари йўналиши бўйлаб механик хоссалари (камида)			
			σ_b, кГ/мм²	$\sigma_{оқ}$, кГ/мм²	δ, %	НВ
АК1 (Д1)	Тобланиб, табиий эскиртирилган	Штамповка Поковка	38 36	20 —	12 10	95 95
АК6	Тобланиб, сунъий эскиртирилган	Штамповка Поковка	39 37	28 —	10 6	100 95
АК8	Тобланиб, сунъий эскиртирилган	Штамповка Поковка	44 42	32 —	10 8	120 120
АК5	Тобланиб, сунъий эскиртирилган	Штамповка Поковка	30 28	22 —	12 10	85 —

бўлиши мумкин эмас. Al—Si системаси бундан мустасно. Бу системанинг эвтектик қотишмаси таркибида кремний миқдори нисбатан кам (11,7%) бўлиб (280-расмга қаранг), механик хоссалари етарли даражада юқоридир. Силуминнинг кенг кўламда ишлатилишига сабаб ҳам ана шу.

Алюминийнинг юқорида тилга олинган қотишмалари шаклдор (фасон) қуймалар олиш учун ишлатилади, шу сабабли бу қотишмалар суюқ ҳолатда яхши оқувчан, кам киришадиган, модификацияланганда ва термик ишланганда пухталиги ошадиган, кесувчи асбоблар билан яхши ишланадиган бўлиши керак. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, қуйиш техникасининг ҳозирги тараққиёти жуда мураккаб шаклли, катта ва жуда аниқ ўлчамли, кўпинча, кесиб ишлаш учун қўйим қолдирмаса ҳам бўладиган қуймалар олишга имкон беради. Прецизион* қуйиш, доимий қолипларга қуйиш, босим остида қуйиш йўли билан олинадиган қуймалар ана шундай қуймалардир.

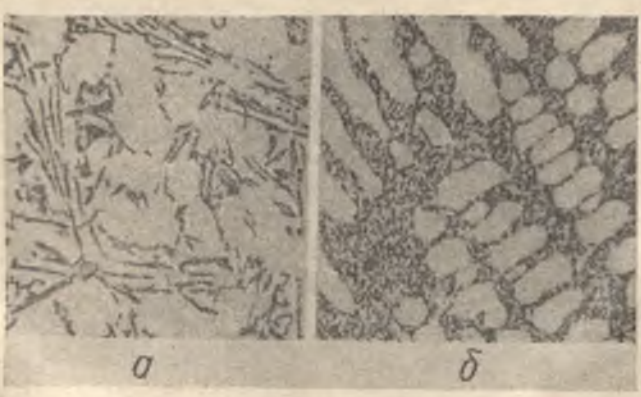
Алюминий қотишмаларидан босим остида қуйилган деталларнинг зичлиги деформацияланган қотишманинг зичлигига яқинлашиб боради. Алюминий қотишмаларидан қуйилган деталлар термик ишланганда (тобланиб, сўнгра эскиртирилганда) уларнинг механик хоссалари анча яхшиланади. Масалан, алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари термик ишланиб, сўнгра сунъий равишда эскиртирилса, уларнинг мустаҳкамлик чегараси ва нисбий узайиши икки баравар ортади. Қуйма қотишмаларни тоблаш учун қиздириш температураси деформацияланган қотишмаларникига қараганда бир оз юқори бўлади, бундан ташқари, қуйма қотишмаларни тоблаш температурасида ортиқроқ тутиб туришга тўғри келади, чунки алюминийнинг қуйиш учун иш-

* *Прецизион* сўзи французча *precision* сўзидан олинган бўлиб, унинг таржимаси *аниқ* демакдир. Бу ерда юқори аниқликда қуйиш маъносида.

латиладиган қотишмаларининг, кўпинча, доналар чегарасида жойлашган дағал интерметалл бирикмаларини алюминийда эритиш ва улар концентрациясини донанинг бутун ҳажмида бир текис қилиш зарур, бунга эса қуйма қотишмани юқорироқ температурагача қиздириш ва шу температурада ортиқроқ вақт тутиб туриш йўли билангина эришиш мумкин.

Алюминийнинг қуйма қотишмалари тоблангандан кейин табиий равишда қарийб эскирмайди. Қотишма 150—180°С температурада 10—20 соат ёки юқорироқ температурада 10—20 соатдан камроқ вақт ичида сунъий равишда эскиртирилса, унинг пухталиги энг юқори бўлиб қолади. Алюминийнинг қуйма қотишмалари, деформацияланган қотишмалари каби, $CuAl_2$, $MgSi$, $CuMgAl_2$, Al_3Mg_2 ва бошқа бирикмаларнинг алюминийда эриши ва қотишма тобланганда ўта тўйинган қаттиқ эритма ҳосил бўлиши туфайли пухталанади. Қотишма термик ишлангандан кейин ҳам пухталигининг, ҳам пластиклигининг ортишига сабаб шуки, юқорида айтиб ўтилган бирикмалар куйма термик ишланишидан олдин доналар чегарасида бўлади, термик ишлаш процессида алюминийда эрийди. Баъзи ҳолларда қотишма тобланганда кейин эскиртирилмаса ҳам унинг механик хоссалари яхшиланишига сабаб ана шу. Қотишма эскиртирилганда унинг пухталиги янада ортади, аммо пластиклик хоссаси, кўпинча, пасаяди. Бу айтилганларнинг ҳаммаси алюминийнинг мураккаб қотишмаларига оиддир. Фақат алюминий билан кремнийдан иборат бинар қотишмалар тоблаш ва сўнгра эскиртириш натижасида оз пухталанади. Агар алюминий билан кремнийнинг 730—740°С ли суюқ қотишмаларига қолипга қуйишдан 10—12 мин. олдин 62,5% NaCl, 25% NaF ва 12,5% KCl аралашмасидан озроқ қўшилса, бу қотишмаларнинг пухталиги ва пластиклиги анча яхшиланади. Алюминий билан кремний қотишмасининг механик хоссаларини яхшилаш учун қўшиладиган бундай моддалар комплекси *модификатор* деб, модификатор қўшиш процесси эса *модификациялаш* деб аталади.

Масалан, таркибида 12—13% Si бўлган одатдаги силуминнинг модификацияланмаган қуймаси структура жиҳатидан олганда эвтектикадан кейинги қотишмадир, яъни бундай силуминнинг микроструктураси йирик эвтектика (Al+Si) билан бирламчи кремний ажралмаларидан иборатдир (286-расм, *а*). Агар бу силуминни қуйишдан олдин унга озроқ миқдорда модификатор қўшилса, унинг структураси жуда ўзгариб

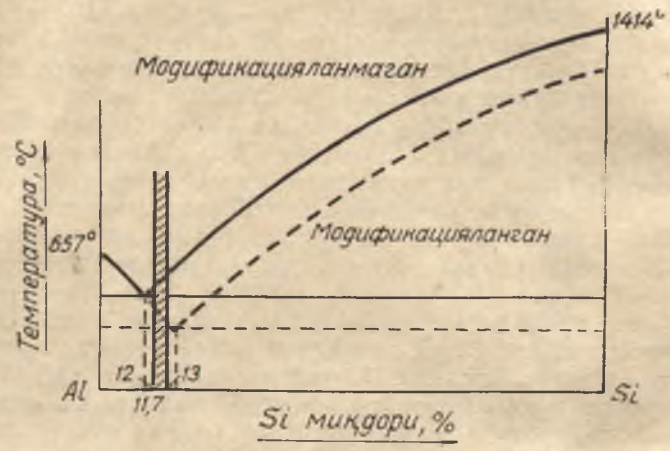


286- расм. Силуминнинг микроскопик тузилиши:

а — модификацияланмаган силумин (йирик эвтектика + бирламчи кремний ажралмалари); *б* — модификацияланган силумин (майда донали эвтектика + бирламчи алюминий ажралмалари).

кетади. Қотишма эвтектикагача бўлган қотишмага айланади, унинг структураси майда донали эвтектика билан бирламчи алюминий ажралмаларидан иборат бўлади (286- расм, *б*).

Алюминий — кремний қотишмасига суюқ қотишма огирлигининг 1 проценти қадар модификатор қўшилса, кремнийнинг ажралиб чиқиш ва эвтектиканинг кристалланиш температураси пасаяди (287- расм).



287- расм. Al—Si қотишмаларнинг кристалланишига модификаторнинг таъсирини кўрсатувчи схема.

Юқорида айтиб ўтилганидек, бунда эвтектиканинг кристалланиш температураси пасайиб, кристалланиш маҳсулоти майда донали бўлиб қолади. Қотишма структурасининг майда донали бўлиши ва мўрт бирламчи кремний ажралиб чиқмаслиги натижасида қотишманинг механик хоссалари яхшиланади. Масалан, таркибида 13% Si бўлган модификацияланмаган силуминнинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 140$ *Мн/м²* (14 *кГ/мм²*), нисбий узайиши $\delta = 3\%$ бўлади, силумин модификациялангандан кейин унинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 180$ *Мн/м²* (18 *кГ/мм²*) ва нисбий узайиши $\delta = 8\%$ бўлиб қолади. Кўрамизки, таркибида 10—13%Si бўлган алюминий — кремний бинар қотишмасининг қуйилиш хоссалари юқори бўлгани билан механик хоссалари унча эмас. Бинобарин, бундай қотишмалар механик хоссалари юқори бўлиши талаб этилмайдиган мураккаб шаклли деталлар қуйиш учун ишлатилади. Механик хоссалари юқори бўлиши талаб этиладиган деталлар қуйиш учун таркибида 4—10% Si бўлган ва озроқ миқдор мис, магний ҳамда марганец қўшилган махсус силуминлар ишлатилади.

Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларидан асосий маркаларининг химиявий таркиби 77- жадвалда, механик хоссалари эса 78- жадвалда келтирилган.

АЛ2 маркали қотишма нормал силумин бўлиб, АЛ4 ва АЛ9 маркали қотишмалар таркибидаги кремний миқдори камроқ, аммо озроқ миқдорда магний ва марганец қўшилган силуминлардир. АЛ4 ва АЛ9 маркали силуминлар таркибидаги Mg ва Mn элементлари қотишманинг механик хоссаларини яхшилайди. АЛ3, АЛ5 ва АЛ6 маркали қотишмалар кам кремнийли, аммо мис, магний ва марганец билан қўшимча легирланган силуминлар бўлиб, бу қотишмаларнинг қуйилиш хоссалари нормал силуминникига қараганда пастроқ, лекин механик хоссалари юқорироқдир (78- жадвалга қаранг).

77-жадвал

Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларининг химиявий таркиби (ГОСТ 2685-53)

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида												
	Асосий компонентлари						Қўшимчалар (кўпи билан)						
	Mg	Si	Mn	Cu	бошқа компонентлар	Al	Fe			қўшимчалар йиғиндиси			
							Е	К	Б	Е	К	Б	
АЛ2	—	10,0—13,0	—	—	—	қолгани	0,8	1,0	1,5	2,2	2,3	2,8	
АЛ3	0,2—0,8	4,0—6,0	0,2—0,8	1,5—3,5	—	»	1,0	1,2	1,5	1,3	1,5	1,8	
АЛ4	0,17—0,3	8,0—10,5	0,25—0,5	—	—	»	0,6	0,9	1,5	1,1	1,4	1,7	
АЛ5	0,35—0,6	4,5—5,5	—	1,0—1,5	—	»	0,6	1,0	1,5	1,0	1,3	1,7	
АЛ6	—	4,5—6,0	—	2,0—3,0	—	»	1,1	1,4	—	1,8	2,0	—	
АЛ7	—	—	—	4,0—5,0	—	»	1,0	1,0	—	2,2	2,2	—	
АЛ8	9,5—11,5	—	—	—	—	»	0,3	0,3	—	1 1	1,1	—	
АЛ9	0,2—0,4	6,0—8,0	—	—	—	»	0,6	1,0	1,5	1 0	1,4	1,9	
АЛ11	0,1—0,3	6,0—8,0	—	—	Zn10—14	»	0,8	1,2	—	1,8	2,0	—	
АЛ12	—	—	—	9,0—11,0	—	»	1,0	1,2	—	2,8	3,0	—	

Эслатма. 1. Маркадаги А ҳарфи алюминий қотишмаси эканлигини, Л ҳарфи қотишманиш қуйиш учун ишлатилишини, рақамлар эса қотишманинг тартиб номерини билдиради. 2. *Е* ҳарфи ер қолипга, *К* ҳарфи кокилга, *Б* ҳарфи эса босим остида қуйиш усулини билдиради.

АЛ8 маркали қотишма Al—Mg системасидаги қотишма бўлиб, *магналий** деб аталади. Бу қотишма пухталиги юқори, солиштирма оғирлиги бошқа қотишмаларникига қараганда кичик, коррозиябардошлик хоссаси юқори, аммо қуйилиш хоссалари пастроқ қотишмадир.

Таркиби жихатидан дуралюминийга яқин келадиган АЛ7 маркали қотишманинг механик хоссалари юқори, қуйилиш хоссалари эса пастдир. Бу қотишма анча механик куч таъсир этадиган кичикроқ ва оддийроқ шаклли деталлар қуйиш учун ишлатилади.

АЛ7 қотишмасининг аксича, АЛ12 маркали қотишманинг қуйилиш хоссалари юқори, механик хоссалари эса пастдир. Бу жиҳатдан олганда, нормал силумин АЛ12 қотишмасидан устун туради.

Алюминийнинг иссиқбардош қотишмалари. Кўпгина деталлар, масалан, ички ёнув двигателларининг поршенлари, цилиндр головкалари ва шу кабилар юқори (200—350°С) температурада ишлайди. Бинобарин, бундай деталлар иссиқбардош қотишмалардан тайёрланиши керак. Улар чўяндан ҳам тайёрланиши мумкин, аммо ички ёнув двигателларининг илгарилама-қайтар ҳаракатда бўладиган деталлари учун чўян ўрнига енгил қотишмалар ишлатиш муҳим аҳамиятга эга. Алюминий қотишмалари ана шундай енгил қотишмалардандир. Алюминийнинг деформацияланадиган ва қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларини иссиқбардош қилиш учун улар мис, магний, никель, титан, темир билан легирланади. Бу элементлар қотишма структурасида қийин суюқланадиган барқарор скелет, яъни тўр хосил қилади. Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларида ҳам, деформацияланадиган қотишмаларида ҳам темир зарарли қўшимчадир, чунки Al—Si қотишмаларида темир алюминий ва кремний билан бирикиб, пластин-

* *Магналий* сўзи *магний* билан *алюминий* сўзларидан ясалган.

78-жадвал

Алюминийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмаларининг механик хоссалари (ГОСТ 2685-53 ва ТУ)

Қотишманинг маркаси	Қуйиш усули	Термик ишлаш тури	Механик хоссалари (камида)		
			σ_b кГ/мм²	$l=5d$ узунликдаги намунанинг нисбий узайиши δ, %	НВ, шар диаметри 10 мм, нагрузка 1000 кГ
АЛ2	Е	—	15	4	50
	К	—	16	2	50
АЛ3	Е	—	12	—	65
	К	—	16	0,5	65
АЛ4	Е; К	—	15	2,0	50
АЛ5	Е; К	Эскиртирилган	16	0,5	65
АЛ6	Е; К	Юмшатилган	15	1,0	45
АЛ7	Е	Тобланиб, қисман эскиртирилган	22	3	70
	К	Тобланиб, қисман эскиртирилган	23	3	70
АЛ8	Е	Тобланган	28	9	60
АЛ9	Е	Тобланиб, қисман эскиртирилган	20	2	60
	К	Тобланиб, қисман эскиртирилган	21	2	60
АЛ11	Е	—	20	2	80
	К	—	25	1,5	90
АЛ12	Е; К	Тобланиб, тўла эскиртирилган	17	—	100

Эслатма. *Е* ҳарфи ер қолипга, *К* ҳарфи кокилга қуйилганлигини билдиради.

касимон бирикма ҳосил қилади, бу бирикма эса қотишманинг пластиклигини пасайтириб юборади. Алюминийнинг деформацияланадиган қотишмаларида темир мис билан бирикиб, алюминийда эримайдиган бирикма (Cu_2FeAl) ҳосил қилади ва, демак, эскириш процессида қотишмани пухталовчи мис миқдорини камайтиради. Аммо алюминийнинг иссиқбардош қотишмаларига темир никель билан бир вақтда атайлаб қўшилади. Қотишмада темир $FeNiAl_9$ типидаги мураккаб бирикма ҳосил қилади. Қотишма таркибининг бундай мураккаб бўлиши юқори температураларда қотишма пухталагининг жуда секин пасайишига сабаб бўлади.

Алюминийнинг иссиқбардош қотишмаларининг химиявий таркиби 79-жадвалда келтирилган.

79-жадвал

Алюминийнинг иссиқбардош қотишмаларининг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							
	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Si	Ti	Al
АК2	3,5—4,5	0,4—0,7	≤0,21	1,8—2,3	0,5—1,0	≤0,8	—	қолгани
АК4	1,9—2,5	1,4—1,8	≤0,2	1,0—1,5	1,1—1,6	≤0,8	0,05—0,12	»
АЛ1	3,75—4,5	1,25—1,75	Zn≤0,3	1,75—2,25	≤0,8	≤0,7	—	»

Алюминийнинг иссиқбардош қотишмалари хоссаларини яхшилаш учун улар тобланиб, сўнгра сунъий равишда эскиртирилади. Қотишма

тобланганда ортиқча фазалар алюминийда эриб, қаттиқ эритма ҳосил қилади, эскиртирилганда эса қотишманинг структураси барқарор ҳолатга келади. АК2 ва АК4 қотишмаларини термик ишлаш уларни 510—520°С гача қиздириб тоблаш, сўнгра 100—180°С температурада 15—20 соат давомида сунъий эскиртиришдан ва 250°С дан юқорироқ температурада бўшатишдан (структурасини барқарор қилиш учун) иборат.

Ички ёнув двигателларининг поршенлари учун ишлатиладиган иссиқбардош қотишмаларнинг иссиқ ўтказувчанлиги имкон борича юқори, ишқаланиш коэффициенти билан солиштирма оғирлиги мумкин қадар кичик бўлиши муҳим аҳамиятга эга. АК2 ва АК4 қотишмаларининг баъзи физикавий хоссаларини келтириб ўтамиз.

Қотишманинг маркаси	Солиштирма оғирлиги	18—400° температуралар оралиғида чизиқли кенгайиш коэффициенти	Иссиқ ўтказувчанлиги
АК2	2,8	$22 \cdot 10^{-6}$	0,37
АК4	2,8	$22 \cdot 10^{-6}$	0,40

АЛ1 маркали қотишманинг 260—315°С температуралардаги пухталиги АК2 қотишманикига қараганда юқори, аммо пластиклиги пастроқ бўлади, АК4 қотишмаси эса пухталик жиҳатидан ҳам, пластиклик жиҳатидан ҳам АЛ1 ва АК2 қотишмаларидан устун туради, буни 80-жадвалдан кўриш мумкин.

80-жадвал

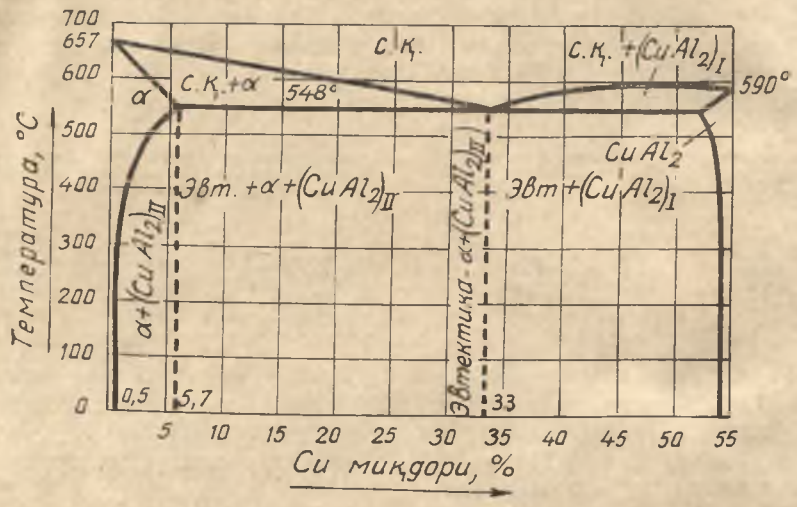
Алюминийнинг иссиқбардош қотишмаларининг юқори температурадаги механик хоссалари

Қотишманинг маркаси	Қотишманинг хоссалари	Температура, °С			
		20	150	260	315
АЛ1	σ_b, $Мн/м^2$	280	260	105	63
	δ, %	0	1	10	30
АК2	σ_b, $Мн/м^2$	440	340	80	50
	δ, %	17	10	32	50
АК4	σ_b, $Мн/м^2$	430	360	310	150
	δ, %	18	20	15	20

Алюминий қотишмаларини термик ишлаш. Компонентлари маълум чегарагача эрий оладиган ва эрувчанлиги температуранинг пасайиши билан камаядиган қотишмаларнигина термик ишлаш йўли билан пухталаш мумкин. Алюминий — мис системасига оид қотишмалар ана шундай қотишмалар жумласига киради. Алюминий — мис қотишмаларини термик ишлаш алюминийда $CuAl_2$ бирикмаси эрувчанлигининг ўзгаришига асосланган. Алюминий — мис қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми 288-расмда тасвирланган.

288-расмдаги диаграммадан кўриниб турибдики, нормал температурада алюминийда 0,5% чамаси, эвтектик температура (548°С) да эса 5,7% мис эрийди. Таркибида 5,7% гача мис бўлган ҳар қандай қотишмани маълум температурагача қиздириб, бир фазали ҳолатга, яъни $CuAl_2$ бирикманинг иккиламчи кристалларини α-қаттиқ эритмага ўтказиш ва қотишмани тез совитиш йўли билан бу ҳолатни

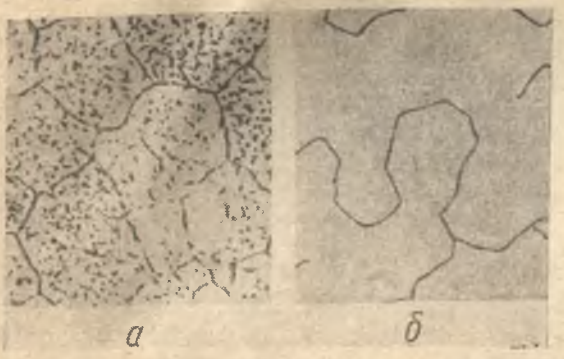
сақлаб қолиш мумкин. Ҳосил қилинган қаттиқ эритма таркибидаги мис миқдори 0,5% дан ортиқ бўлса, эритма ўта тўйинган эритма бўлади. Ўта тўйинган бундай қаттиқ эритма барқарор бўлмай, ундан $CuAl_2$ бирикма ажралиб чиқади ва эритма таркибида 0,5%, яъни мувозанатдаги системага мувофиқ миқдордагина мис қолади. Ўта тўйинган эритмада бўладиган бундай ўзгариш процесси қотишманинг *эскириши (чиниқиши)* деб аталади. Эскириш процесси нормал температурада борса, *табиий эскириш* деб, температура оширилган шароитда олиб борилса, *сунъий эскиртириш* деб аталади. Бинобарин, алюминий қотишмаларини термик ишлаш процесси икки босқичдан — бир компонентнинг иккинчи компонентда энг кўп эриш температурасидан юқорироқ температурагача қиздириб, сўнгра тез совитиш (тоблаш) ва табиий эскириш ёки сунъий эскиртириш босқичларидан иборат.



288- расм. Al — Cu қотишмалари ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Эскиришнинг бошланғич даврида ўта тўйинган қаттиқ эритмада мис атомлари кристалл панжаранинг муайян жойларига тўпланади, натижада кристалл ичида миснинг (эриган компонентнинг) концентрация юқори бўлган зона (Гинье — Престон зонаси) вужудга келади. Бу процесс нормал ёки 100°С дан паст температурада содир бўлади (эскиришнинг биринчи босқичи). 100 дан 200°С гача температурада Гинье — Престон зоналарида $CuAl_2$ таркибли бирикма ҳосил бўлиб, кристалл панжара қайта тузилади, бу панжара бошланғич панжарадан (ўта тўйинган қаттиқ эритма панжарасидан) ўзгача, аммо у билан когерент боғланган бўлади. Бу процесс эскиришнинг иккинчи босқичини ташкил этади. 200°С дан юқори температураларда $CuAl_2$ нинг кристалл панжараси бошланғич панжарадан ажралади (эскиришнинг учинчи босқичи).

Қотишманинг пухталиги эскиришнинг биринчи ва иккинчи босқичларида энг юқори бўлиб, эскиришнинг учинчи босқичида қотишманинг пухталиги пасая боради. Демак, қотишмани эскиртиришда эскиришнинг учинчи босқичигача етказмаслик керак.



289- расм. Таркибида 4 % Cu бўлган алюминий қотишмасининг микроскопик тузилиши × 100:
а — тоблашдан олдинги қотишма; *б* — тобланғандан кейинги қотишма.

Қотишма тобланганда унда содир бўладиган фаза ўзгаришларини қотишманинг тоблашдан олдинги ва тобланғандан кейинги микроскопик тузилишидан яққол кўриш мумкин. Таркибида 4% мис бўлган қотишманинг тоблашдан олдинги микроскопик тузилиши 289-расм, *а* да, тобланғандан кейинги микроскопик тузилиши эса 289- расм, *б* да тасвирланган.

289- расм, *а* да қаттиқ эритма фонида $CuAl_2$ қўшилмалари кўриниб турибди, 289- расм, *б* да эса қотишма структурасининг бир жинсли қаттиқ эритмадан иборатлигини кўрамиз. Демак, қотишма тоблаш температурасигача қиздирилганда $CuAl_2$ батамом эриб, бир жинсли ва ўта тўйинган қаттиқ эритма ҳосил қилади, қотишма тез совитилганда эса қотишманинг бу ҳолати сақланиб қолади.

Энди алюминий—мис қотишмаси эскиртирилганда унинг хоссаларида қандай ўзгаришлар бўлишини кўриб чиқайлик.

Таркибида 4% мис бўлган қотишма тобланишидан олдин унинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 200$ *Мн/м²* (20 *кГ/мм²*) бўлади, тобланғандан



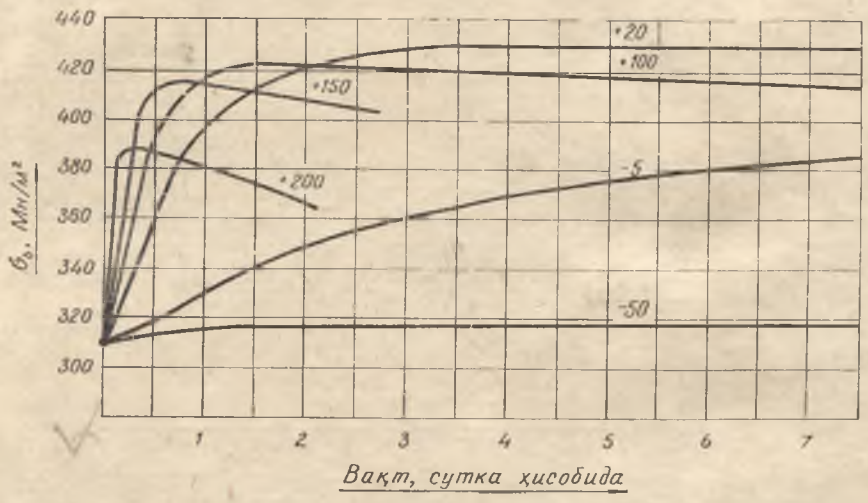
290- расм. Алюминий қотишмаси эскира борган сари пухталигининг ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқ (А. П. Гуляев).

кейин эса мустаҳкамлик чегараси бир оз ошади, яъни тахминан $\sigma_b = 250$ *Мн/м²* (25 *кГ/мм²*) га етади. Қотишма эскиртирилганда унинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 400$ *Мн/м²* (40 *кГ/мм²*) га етади. Алюминий қотишмаси табиий равишда (нормал температурада) эскира борган сари мустаҳкамлик чегарасининг ўзгариш эгри чизиғи 290- расмда тасвирланган. Бу расмдаги эгри чизиқдан яққол кўриниб турибдики, қотишманинг пухталиги бу қотишма тобланғандан 4 — 5 сутка ўтгач максимал қийматга эришади.

Қотишма пухталигининг ғоят даражада секин ўсишига тўғри келадиган дастлабки вақт (2—3 соат) *инкубацион давр* деб аталади. Бу давр технология жиҳатидан муҳим аҳамиятга эга, чунки бу даврда қотишмани пластик деформациялаш мумкин бўлади, инкубацион даврни ўтган қотишмани пластик деформациялаб (парчинлаб, эгиб ва шу каби операцияларни бажариб) бўлмайди.

Алюминий қотишмасининг эскириш тезлиги температурага кучли даражада боғлиқ бўлади, бу боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар 291-расмда тасвирланган.

291- расмдан яққол кўриниб турибдики, эскириш температураси қанчалик юқори бўлса, қотишмада эскириш вақтида ҳосил бўладиган энг юқори пухталиги шунчалик паст бўлади. Нормал температурадан паст



291- расм. Ҳар хил температураларда дуралюминийнинг эскиришини (мустаҳкамлик чегараси нинг ўзгаришини) кўрсатувчи эгри чизиқлар (С. М. Воронов).

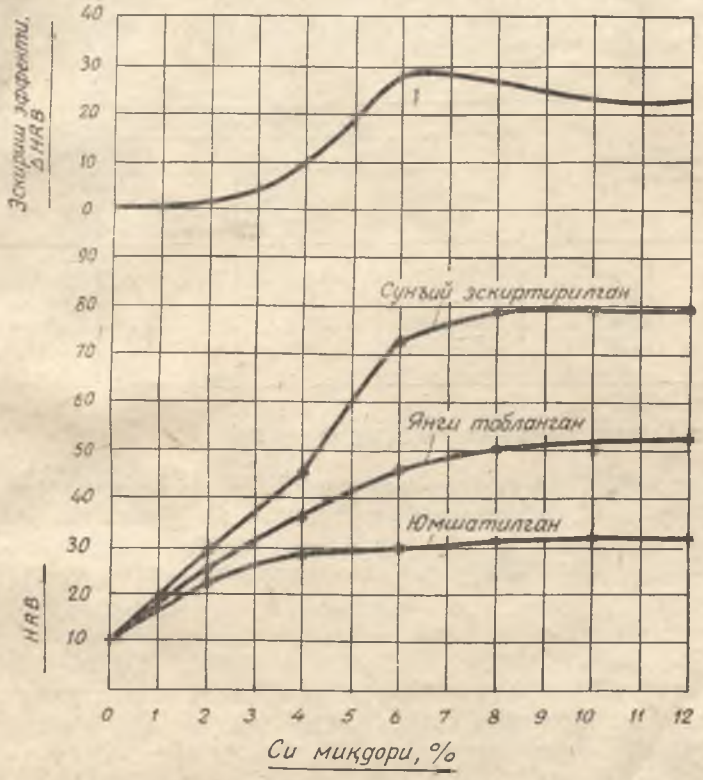
температураларда қотишманинг эскириши секинлашади. — 50°С температурада қотишма деярли эскирмайди, яъни қотишманинг тобланган ҳолати қарийб сақланиб қолади. Бинобарин, тобланган парчин михларни ишлатиш (парчинлаш) вақти кечиктирилса, уларни — 50°С дан паст температурада сақлаб, исталган вақтда ишлатиш мумкин.

Табиий равишда эскирган қотишма 200—250°С температурада қисқа вақт тутиб турилса, бу қотишманинг пухталиги янги тобланган ҳолатдагисига қайтади; бу ҳодиса *қайтиш* деб аталади. Демак, алюминий қотишмаларининг табиий эскириши барқарор бўлмас экан.

Энди алюминий қотишмалари таркибининг термик ишлаш вақтида содир бўладиган процессларга қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

292- расмда алюминий — мис қотишмасининг қаттиқлигига миснинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар тасвирланган. Расмдан кўриниб турибдики, қотишма таркибида миснинг миқдори маълум чегарагача ортиб борган сари эскириш эффекти, яъни янги тобланган қотишма қаттиқлиги билан эскиртирилган қотишма қаттиқлиги орасидаги фарқ секин-аста ортиб боради. Таркибида 2% ва ундан кам мис бўлган қотишма эскирмайди, чунки қаттиқ эритманинг ўта тўйиниш даражаси қотишма эскирганда унинг хоссаларини ўзгартириб юбориш учун етарли бўлмайди.

292- расмнинг энг юқорисидаги эгри чизиқдан эскириш эффектининг энг юқори қиймати 6,5% мисли қотишмага тўғри келиши кўриниб турибди, бу эса юқори температурада миснинг алюминийда максимал миқдорда эришига тахминан мос келади. Алюминий қотишмасидаги темир эскириш эффектини камайтиради, бунинг сабаби шуки, темир алюминийда эримайдиган учлама бирикма Cu_2FeAl ҳосил қилади. Маълумки, қотишманинг термик ишлаш натижасида пухталаниш дара-



292- расм. Алюминий — мис қотишмасининг қаттиқлигига мис миқдорининг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

жаси ҳосил бўладиган $CuAl_2$ миқдорига тўғри пропорционал. Қотишмада темир миқдори қанчалик кўп бўлса, Cu_2FeAl ҳосил бўлиши учун шунча кўп мис кетади ва $CuAl_2$ шунчалик кам ҳосил бўлади, бинобарин, қотишманинг эскириш эффекти шунчалик пасаяди. Демак, термик ишланадиган алюминий — мис қотишмаларида темирнинг бўлиши зарарли экан.

Алюминийнинг мис билан ҳосил қилган қотишмаларидан бошқа баъзи қотишмаларини ҳам термик ишлаш йўли билан пухталаш мумкин. Бундай қотишмалар жумласига, масалан, Al — Si, Al — Mg, Al—Zn системаларидаги қотишмалар киради. Шу сабабли алюминийнинг термик ишлаш йўли билан пухталанадиган қотишмаларида Si, Mg ва Zn ҳам асосий элементлардир.

Al—Cu, Al—Si, Al—Mg, Al—Zn дек бинар қотишмаларда термик ишлаш эффекти учлама, тўртлама ва ундан ҳам мураккаб қотишмалардагидан камроқ бўлади. Бундай мураккаб қотишмалардан ҳозирги вақтда ишлатила-

диганлари Al—Mg—Si системасидаги қотишмалар (авиаль) ва Al—Cu—Mg системасидаги қотишмалар, яъни дураламинийлардир. Авиалда қотишма тоблаш температурасигача қиздирилганда эрийдиган, эскириш вақтида эса ажралиб чиқадиган фаза Mg_2Si дир. Дуралюминийларда, миснинг миқдорига ва мис билан магний орасидаги нисбатга қараб, ё $CuAl_2$ ёки Al_3Mg_2 ёхуд $CuMgAl_2$ ва $CuMg_5Al_5$ ҳосил бўлиши мумкин. Бу ҳамма бирикмаларнинг алюминийда эрувчанлиги ўзгарувчандир.

Энди Al—Cu—Mg ва Al—Cu—Mg—Zn системаларига кирувчи баъзи қотишмаларни термик ишлаш режимини келтириб ўтамиз (81-жадвал).

81-жадвал

Қотишманинг маркаси	Термик ишлаш режими			
	тоблаш		эскиртириш	
	температура, °С	совитувчи муҳит	температура, °С	вақт
Д1	495—505	Сув	20	>4 сутка
Д6	498—503	»	20	>4 »
Д16	490—500	»	20	>4 »
В95	465—475	»	120—140	20—10 соат

2-§. МИС ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Мис. Мис 1083°С да суюқланадиган, 2560°С да қайнайдиган, солиштирма оғирлиги 8,93 га тенг металл бўлиб, Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг I группасида туради (тартиб номери 29).

Миснинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган куб бўлиб, параметри 3,608 Å га тенг; мис атомининг радиуси 1,28 Å га баравардир.

Юмшатилган миснинг механик хоссалари қуйидагича: $\sigma_b = 240$ *Мн/м²* (24 *кГ/мм²*); $\sigma_{ок} = 70$ *Мн/м²* (7 *кГ/мм²*); $\delta = 50\%$; $\psi = 75\%$; $HB = 35$; $E = 11 \cdot 10^4 — 12 \cdot 10^4$ *Мн/м²* (11000—12000 *кГ/мм²*). Мис пластик деформацияланганда унинг пухталиги ортиб, пластиклик хоссалари пасаяди, яъни наклёпланган мис учун $\sigma_b = 400 — 500$ *Мн/м²* (40 — 50 *кГ/мм²*); $\sigma_{ок} = 380$ *Мн/м²* (38 *кГ/мм²*); $HB = 120$; $\delta = 6\%$; $\psi = 35\%$ бўлиб қолади.

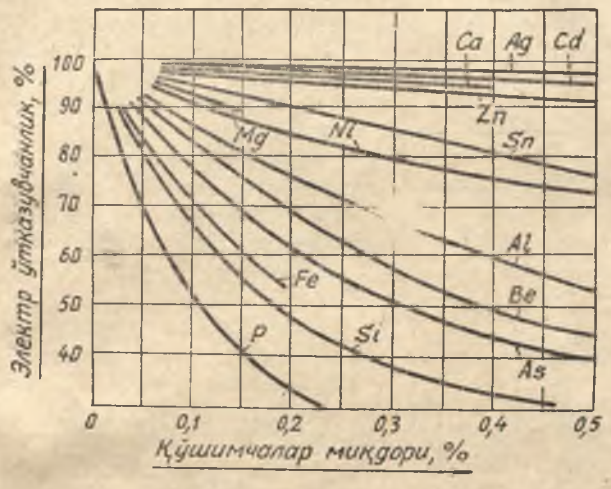
Миснинг солиштирма электр қаршилиги $\rho = 1{,}69 \cdot 10^{-8}$ *ом·м* (0,0169 *ом·мм²/м*), чизиқли кенгайиш коэффициенти $\alpha = 16{,}4 \cdot 10^{-6}$, иссиқ ўтказувчанлик коэффициенти $\lambda = 378{,}43$ *вт/м·град* (0,923 *кал/см·сек·град*).

Мис иссиқ ўтказувчанлиги ва электр ўтказувчанлиги жиҳатидан кумушдангина қолишади. Атмосферада мис батамом коррозиябардош бўлганлиги учун мисдан тайёрланган буюмлар бузилмасдан жуда узоқ вақт сақланади.

Мис техникада энг кўп тарқалган рангдор металл бўлиб, тоза ҳолатда, асосан, электротехникада ишлатилади. Миснинг анчагина миқдори мис қотишмалари тайёрлаш учун кетади.

Қўшимчаларнинг ҳаммаси миснинг электр ўтказувчанлигини пасайтиради (293-расм). Пластик деформация (наклёп) ҳам миснинг электр ўтказувчанлигига салбий таъсир кўрсатади (294-расм)). Шу сабабли, юқори пухталик талаб этилмайдиган электр симлари юмшатилган (деформацияланмаган) мисдан тайёрланади. Пухта бўлиши талаб этиладиган осма электр симлари тайёрлаш учун нагартовка қилинган ёки пухталовчи элементлар, масалан, кадмий оз миқдорда (1%) қўшилган мис ишлатилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, мутлақо тоза (100% ли) мис олиб бўлмайди. Илмий тадқиқотлар учун электролиз йўли билан тозалиги жуда юқори (99,999% ли) мис олиш мумкин, аммо техникада ишлатиладиган мис таркибида 0,1—0,5% қўшимчалар ҳамма вақт бўлади.



293- расм. Миснинг электр ўтказувчанлигига қўшимчаларнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

Техникада ишлатиладиган мис маркаларининг химиявий таркиби 82- жадвалда келтирилган.

82- жадвал

Техникада ишлатиладиган миснинг химиявий таркиби

Миснинг маркаси	Химиявий таркиби, % ҳисобида			
	Cu	Bi	Pb	қўшимчалар йиғиндиси
М1	99,9	<0,002	<0,005	<0,1
М2	99,7	<0,002	<0,01	<0,3
М3	99,5	<0,003	<0,05	<0,5

Техникада ишлатиладиган мисда бўладиган қўшимчалар Bi, Pb, Sb, As, Fe, Ni, Sn, P, O элементлари бўлиб, булар ичида энг зарарлиси висмутдир, шу сабабли мис таркибида 0,003% дан ортиқ миқдорда висмут бўлишига рухсат этилмайди. Зарарлилиги жиҳатидан висмутдан кейинги ўринда қўрғошин туради, мисда бу элементнинг миқдори 0,05% дан ошмаслиги керак. Висмут ҳам, қўрғошин ҳам мисда эримай, осон суюқланувчан эвтектикалар ҳосил қилади (295 ва 296-расмлардаги диаграммаларга қаранг).

Мис — висмут қотишмасининг кристалланиш процесси, амалий жиҳатдан олганда, висмутнинг суюқланиш температураси (270°С) да, мис—қўрғошин қотишмаларининг кристалланиш процесси эса қўрғошиннинг суюқланиш температураси (327°С) да тугалланади. Мис — висмут қотишмасининг структураси Cu+Bi дан иборат бўлади. Бу қотишмада вис-

мут илгари ажралиб чиққан мис кристалларини қобиқ тарзида ўраб олади, шунинг учун бу қотишма висмутнинг суюқланиш температурасидан юқори температурагача қиздирилганда миснинг бирламчи кристаллари орасидаги боғланиш бузилади. Бинобарин, мис — висмут қотишмасини қиздириб туриб прокатлаб бўлмайди. Бу айтилганларнинг ҳаммаси мис — қўрғошин қотишмаларига ҳам оиддир.



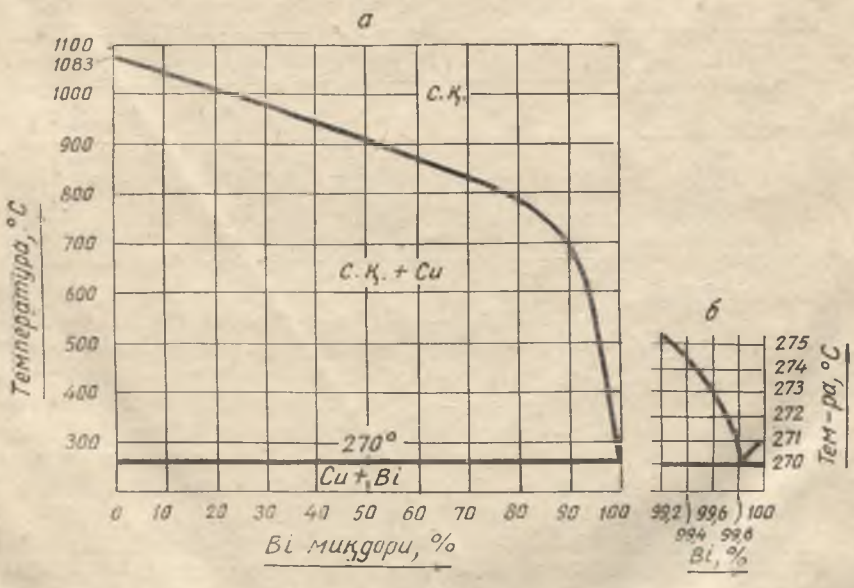
294- расм. Миснинг электр ўтказувчанлигига наклёпнинг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқ.

Энди мис хоссаларига кислород ва олтингугуртнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Кислород мисда эримайди ва миснинг бир қисмини оксидлаб, мис (I)-оксидга айлантиради, мис эса бу оксид билан аралашиб, таркибида 3,4% Cu_2O (0,38% кислород) бўлган эвтектика ($Cu+Cu_2O$) ҳосил қилади (297-расм).

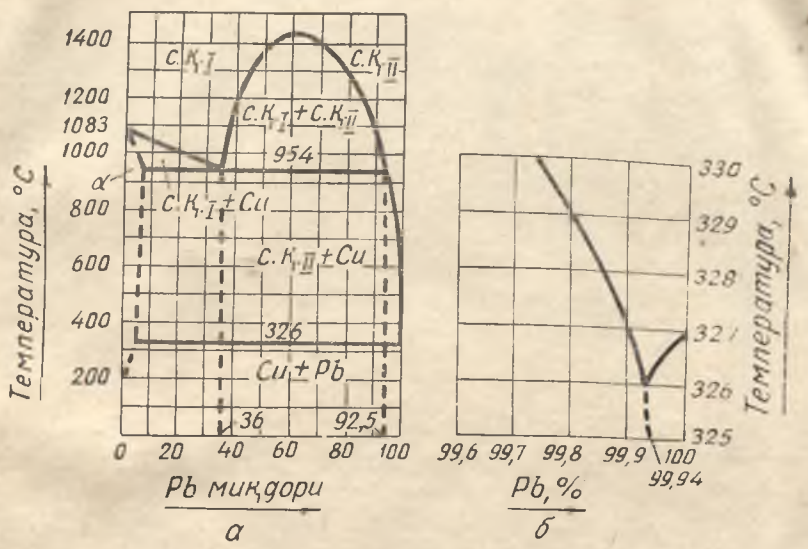
$Cu+Cu_2O$ эвтектика мисни босим билан ишлаш учун қиздирш температурасидан юқори (1065°C) температурада суюқланади, шу сабабли кислород, висмут билан қўрғошиннинг аксича, мисда чўғланган ҳолатда синувчанлик хоссаси ҳосил қилмайди.

Қуйма мисда эвтектика доналар чегарасида жойлашади ва нуқтавий тузилишга эга бўлади. Бундай мис қотишмаси деформацияланганда (босим билан ишланганда) эвтектика емирилиб, мис (I)-оксид алоҳида-алоҳида қўшилмалар тарзида бўлиб қолади.



295- расм. Cu — Bi қотишмаларининг ҳолат диаграммаси:
а — умумий кўриниши; *б* — пастки ўнг бурчаги.

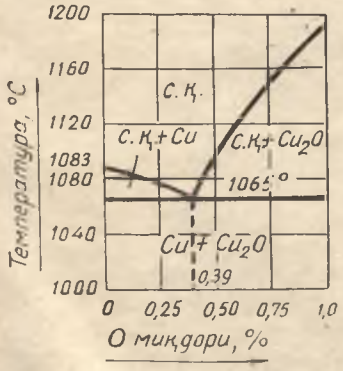
Таркибида кислород бўлган мис қайтарувчи газ муҳитда, яъни таркибида H_2, CO, CH_4 ва шу каби газлар бўлган муҳитда қиздириб ишланганда мисда дарзлар ҳосил бўлади, чунки юқори температурада водород ва қайтарувчи бошқа газлар мисга диффузиланиб, мисдаги кислород билан бирикади, яъни мисни қайтаради-да, сув буғи ёки CO_2 ҳосил қи-



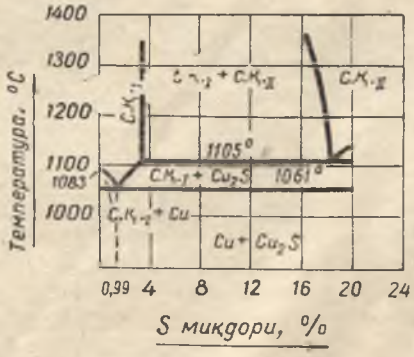
296- расм. Cu — Pb қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси:
а — умумий кўриниши; *б* — пастки ўнг қисми.

лади, сув буги ёки CO_2 эса юқори босимни вужудга келтиради. Баён этилган ҳодиса «водород касаллиги» деб аталади.

Олтингугурт мис билан бирикиб, Cu_2S таркибли сульфид ҳосил қилади. Мис бу сульфид билан аралашиб, таркибида 4,9% CuS (0,99% S) бўлган



297- расм. Мис—кислород системасининг ҳолат диаграммаси.

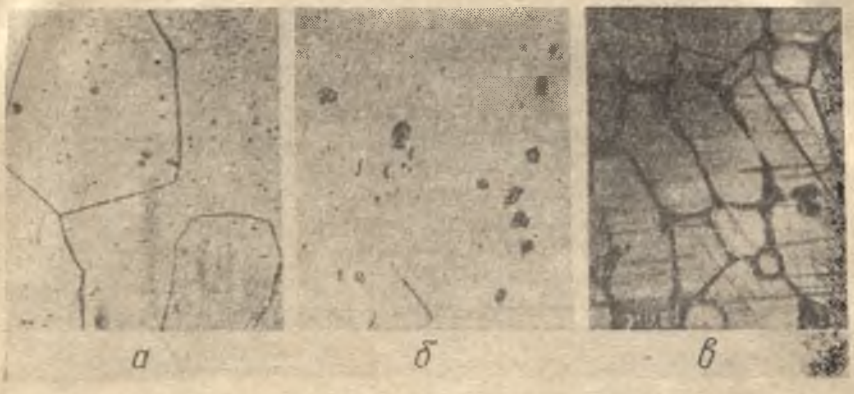


298- расм. Мис—олтингугурт системасининг ҳолат диаграммаси.

эвтектика (Cu + Cu_2S) ҳосил қилади (298- расм). Cu + Cu_2S эвтектика ҳам, худди Cu + Cu_2O эвтектика каби, мисни босим билан ишлаш учун қиздириш температурасидан юқори (1067°) температурада суюқланади, шу сабабли олтингугурт мисда чўғланган ҳолатда синувчанлик хоссаси ҳосил қилмайди.

Аммо Cu + Cu_2S эвтектика анча мўрт бўлади. Бинобарин, мисга ҳатто жуда оз миқдорда олтингугурт аралашган бўлса ҳам, бундай мис мўрт бўлиб қолади. Миснинг микроскопик тузилиши 299-расмда тасвирланган.

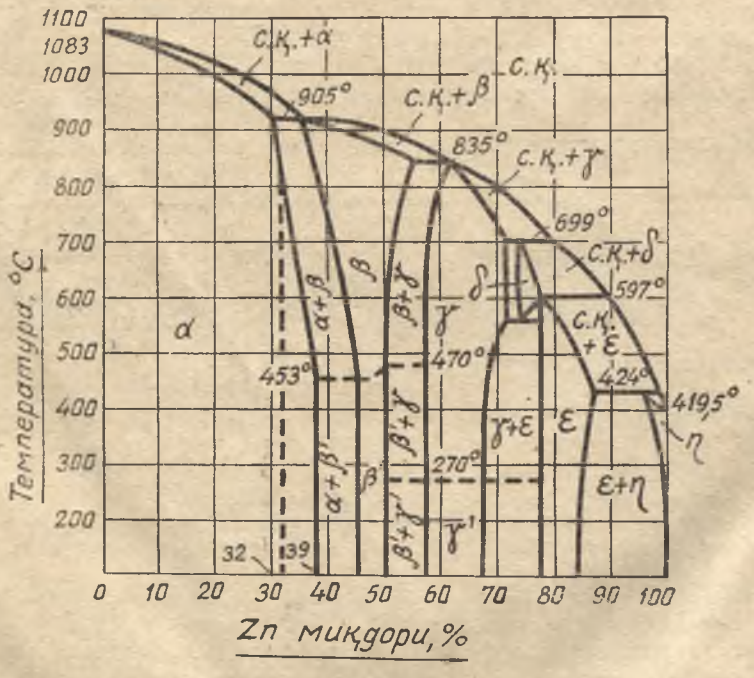
Мис қотишмалари. Л а т у н ь. Асосан мис билан рухдан иборат қотишмалар *латунь (жез)* деб аталади. Техникада таркибидаги рух миқдори 45% гача бўлган латунлар ишлатилади.



299-расм. Миснинг микроскопик тузилиши:

а — тоза мис; *б* — Cu_2O қўшилмалари (қора доғлар) бор мис; *в* — эвтектика (Cu + Cu_2O) қўшилмалари (мис доналари чегарасидаги қора доғлар) бор мис.

Мис — рух қотишмаларининг ҳолат диаграммаси 300-расмда тасвирланган. Бу диаграмма бешта оддий перитектик диаграммадан иборат.



300-расм. Мис—рух қотишмаларининг ҳолат диаграммаси.

Диаграммадан кўриниб турибдики, ликвидус чизиғидан юқорида мис — рух қотишмаларининг ҳаммаси суюқ ҳолатда бўлади. Ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи орасида суюқ фаза билан қаттиқ фазалар, солидус чизиғидан пастда эса фақат қаттиқ фазалар — α, β, γ, δ, ε ва η-фазалар бўлади. Ана шу қаттиқ фазалар нималардан иборат эканлигини бирма-бир кўриб чиқайлик.

α-фаза — рухнинг мисдаги қаттиқ эритмаси. Нормал температурада мисда 39% рух эрийди, рухнинг мисда эрувчанлиги 453°С гача деярли ўзгармай, 905°С да 32% га тушади. α-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган кубдир.

β-фаза — эритувчиси CuZn бўлган қаттиқ эритма. CuZn бирикмасида боғланиш электрон типидадир (валент электронлар сонининг атомлар сонига нисбати — электронлар концентрацияси $^3/_2$) β-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси ҳажми марказлашган кубдир. Кристалл панжарада атомларнинг тартибли жойлашуви 453—470° дан паст температурадагина сақланиб қолади. Кристалл панжарасида атомлар тартибли жойлашган β-қаттиқ эритма β′ билан белгиланади. 453—470° дан юқори температураларда ҳажми марказлашган куб панжарадаги мис ва рух атомлари статистик жойлашиб қолади.

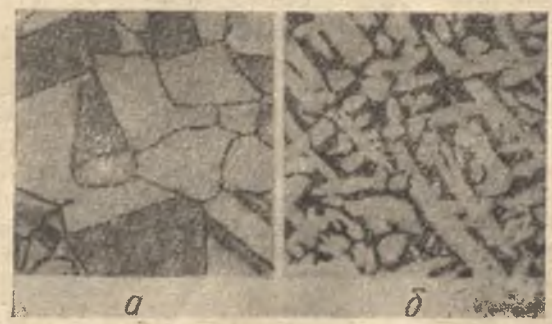
γ-фаза — эритувчиси Cu_5Zn_8 бўлган қаттиқ эритма. Cu_5Zn_8 бирикмасидаги боғланиш ҳам электрон типида бўлиб, валент электронларнинг атомларга нисбати $^{21}/_{13}$. γ-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси мураккаб куб панжарадир. 270°С дан паст температурада кристалл панжарада атомлар тартибли жойлашган бўлади. Кристалл панжарасида атомлар тартибли жойлашган γ-каттиқ эритма γ′ билан белгиланади.

δ-фаза ҳозирча яхши ўрганилган эмас.

ε-фаза — эритувчиси $CuZn_3$ бўлган қаттиқ эритма. $CuZn_3$ бирикмасидаги боғланиш ҳам электрон типида (валент электронларнинг атомларга нисбати $^7/_4$). ε-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси атомлари зич жойлашган (компакт) гексагонал панжарадир.

η-фаза — миснинг рухдаги қаттиқ эритмаси.

Мис билан рухнинг амалда ишлатиладиган қотишмалари нормал температурада ё α-қаттиқ эритмадан (таркибида 39% гача рух бўлган латунлар) ёки α-қаттиқ эритма билан β′-қаттиқ эритма аралашмасидан (таркибида 39 дан 45% гача рух бўлган латунлар) иборатдир. Бу қотишмаларнинг микроскопик тузилиши 301-расмда тасвирланган.



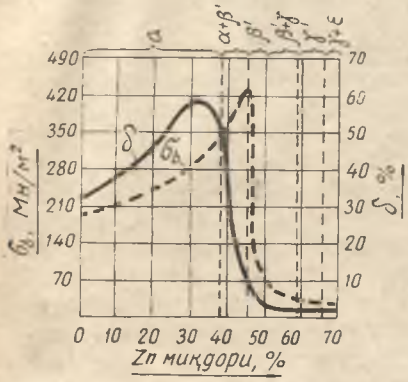
301-расм. Мис билан рухнинг амалда ишлатиладиган қотишмаларининг микроскопик тузилиши:

а — таркибида 39 % гача рух бўлган латунь (α-латунь) (× 200); *б* — таркибида 39 дан 45 % гача рух бўлган латунь (α + β′)-латунь (× 500).

Таркибида 45% дан ортиқ рух бўлган латунларнинг (β′ ва γ′-латунларнинг) техникада ишлатилмаслигига сабаб шуки, улар қаттиқ ва мўрт бўлади. Латуннинг таркибида рух миқдори камайган сари қотишманинг пластиклиги ортиб боради; бинобарин, энг пластик латунь α-латундир. Шундай қилиб, латуннинг механик хоссалари қотишма таркибидаги рух миқдорига боғлиқ экан. Бу боғланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар 302-расмда тасвирланган.

302-расмдаги эгри чизиқлардан яққол кўриниб турибдики, таркибида тахминан 30% рух бўлган α-латуннинг пластиклиги энг юқори, таркибида 45% рух бўлган β′-латуннинг мустаҳкамлик чегараси ҳам энг юқори. α-фазали соҳадан ўтилганда латуннинг пластиклиги тез пасаяди.

Қотишмаларнинг қуйилиш хоссалари ликвидус ва солидус чизиқларининг бир-бирига яқин ёки узоқ жойлашганлигига боғлиқ бўлади. Ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи бир-бирига қанчалик яқин бўлса, қотишманинг қуйилиш хоссаси шунча яхши бўлади.



302- расм. Латунь механик хоссаларининг рух миқдорига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар.

300- расмдаги диаграммадан кўриниб турибдики, мис—рух қотишмаларида α ва β-фазалар учун ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи бир-бирига жуда яқин туради, шу сабабли, бу қотишмаларнинг ликвацияга мойиллиги паст, суюқ ҳолатда оқувчанлиги юқори, улардан қуйилган буюмлар химиявий таркиби жиҳатидан бир жинсли бўлади ва ҳоказо.

Латуннинг баъзи маркаларида коррозиябардошлик хоссалари, баъзиларида эса ишқаланишга чидамлилик хоссалари юқори бўлади. Шу сабабли хилма-хил химиявий таркибли латунлар амалда кенг кўламда ишлатилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, латунь атмосфера шароитидагина коррозиябардош бўлади, аммо аммиакли, баъзи туз ва кислоталар аралашган муҳитда латунь тез коррозиланади. Латунь таркибида рух миқдори ошиб, унинг структурасида β-фазанинг пайдо бўлиши коррозияни кучайтиради. Латунь коррозиясининг энг кўп тарқалган турлари пластик деформацияланган латунда коррозион дарз кетиш ва рухсизланишдир. Коррозион дарз кетиш ҳодисаси агрессив муҳит иштирокида чўзувчи кучланишлар таъсирида келиб чиқса, латунь рухсизланганда эса, дастлаб, латуннинг юза қатлами эриб, сўнгра бу ерда ғовак мис пардаси пайдо бўлади, бу парда латунь билан гальваник жуфт ҳосил қилади, оқибатда латунь тез коррозиланади.

Латунни пластик деформациялаш осон, шунинг учун латунлардан, асосан, листлар, ленталар, ҳар хил профиллар ва шу кабилар тайёрланади. Аммо турли температураларда ҳар хил латунларнинг ўзига хос хусусияти бўлади; масалан, α-латунлар нормал температурада пластик бўлса, 300—700°С температуралар оралиғида уларнинг пластиклиги пасаяди. β-латунлар 500°С дан юқори температураларда α-латунларга қараганда пластикроқ бўлади ва ҳоказо. Шу сабабли, қиздириб туриб прокатлаш учун таркибида 32% дан ортиқ рух бўлган, яъни юқори температурада структураси (α+β) кристаллардан ёки β кристаллардан иборат бўладиган латунлар энг яроқли латунлардир. Совуқлайин деформациялаш, яъни юпқа тунукалар ва сим тайёрлаш учун таркибида 30% чамаси рух билан α-латунь ишлатиш маъқулроқдир.

Қиздириб туриб босим билан ишланадиган латунга висмут ва қўрғошин қўшимчалари зарарли таъсир этади, чунки улар латунь доналари чегарасида осон суюқланувчан қўшилмалар ҳосил қилади. Аммо қўрғошин таркибида 32% дан кам рух бўлган, α-фаза β-фазага айланмайдиган қотишмагагина зарарли таъсир этади. Таркибида 32% дан ортиқ рух бўлган қотишмада қайта кристалланиш (α-фазанинг β-фазага ай-

ланиш процесси) содир бўлиши натижасида қўрғошин қотишма доналари ичига ўтиб, қотишмани қиздирилган ҳолатда босим билан ишлашда зарарли таъсир кўрсатмайди. Бинобарин, таркибида 32—38% Zn бўлган латунларда қўрғошин қўшимчаси бўлишига йўл қўйиш мумкин, таркибида 38—40% Zn бўлган латунларга эса 1—2% гача қўрғошин атайлаб қўшилади, чунки бундай латунлар қиздирилиб, β-фазали ҳолатда деформацияланади, қўрғошин эса латуннинг пластик деформацияланишига салбий таъсир кўрсатмай, балки кесиб ишланиш хоссасисини яхшилайди — қириндининг ажралишини осонлаштиради.

Техникада ишлатиладиган латунлар нормал температурадаги структурасига кўра икки группага — бир фазали латунлар — α-латунлар группаси билан икки фазали латунлар — (α+β′)-латунларга бўлинади.

α-латунлар билан (α+β′)-латунлар Л ҳарфи ва бу ҳарфдан кейин келадиган рақамлар билан маркаланади; масалан, Л62, Л68. Л70, Л80 ва ҳоказо (α-латунлар учун), Л59 ва бошқалар [(α+β′)-латунлар учун]; Л ҳарфидан кейинги рақамлар латунь таркибидаги миснинг процент билан ифодаланган ўртача миқдорини билдиради. Мураккаб, яъни таркибида мис билан рухдан ташқари, бошқа элементлар ҳам бўладиган махсус латунлар Л ҳарфи ва ундан кейин қайси элемент ёки элементлар қўшилганлигини билдирувчи ҳарфлар, шундан кейин эса тегишли рақамлар билан маркаланади; масалан, ЛС74-3, ЛО70-1, ЛАН59-3-2 ва ҳоказо. Маркадаги биринчи сон миснинг, ундан кейинги рақамлар эса тегишли элементларнинг процент билан ифодаланган ўртача миқдорини билдиради.

83- жадвалда баъзи латунларнинг химиявий таркиби ва механик хоссалари келтирилган.

83- жадвал

Баъзи латунларнинг химиявий таркиби ва механик хоссалари

Латуннинг маркаси	Химиявий таркиби, % ҳисобида				Механик хоссалари			
	Cu	легирловчи элементлар	Zn	қўшимчалар йиғиндиси (кўпи билан)	$\sigma_в$, кГ/мм²	$\sigma_{ок}$, кГ/мм²	δ, %	ψ, %
Л96	95—97	—	қолгани	0,2	24	—	50	—
Л90	88—91	—	»	0,2	26	12	45	80
Л85	84—86	—	»	0,3	28	10	45	85
Л80	79—81	—	»	0,3	32	12	52	70
Л70	69—72	—	»	0,2	32	9,1	55	70
Л68	67—70	—	»	0,3	32	9,1	55	70
Л62	60,5—63,5	—	»	0,5	33	11	49	66
ЛС74-3	72—75	2,4—3,0Pb	»	0,25	35	10	50	—
ЛС60-1	59—61	0,6—1,0Pb	»	0,5	37	13	45	—
ЛС59-1	57—60	0,8—1,9Pb	»	0,75	40	14	45	—
ЛС90-1	88—91	0,25—0,75Sn	»	0,2	28	9	45	55
ЛО60-1	59—61	1,0—1,5Sn	»	1,0	38	15	40	46
ЛА80-0,5	84—86	0,4—0,7Al	»	0,3	30	—	60	50
ЛА77-2	76—79	1,75—2,5Al	»	0,3	40	—	55	58
ЛН65-5	64—67	5,0—6,5Ni	»	0,3	40	17	65	—
ЛМц58-2	57—60	1,0—2,0Mn	»	1,5	40	—	40	50
ЛК80-3	79—81	1,5—4,5Si	»	2,8	30	—	58	—
ЛАЖ60-1-1	58—61	0,75—1,5Al 0,75—1,5Fe	» »	0,7	45	20	45	30
ЛАН59-3-2	57—60	2,5—3,5Al 2,0—3,0Ni	» »	0,9	38	30	50	—
ЛМцА57-3-1	55—58,5	2,5—3,5Mn 0,5—1,5Al	» »	1,3	55	—	25	—

Махсус латунларга қўрғошин латуннинг кесиб ишланувчанлигини яхшилаш учун, қалай денгиз сувида коррозиябардошлигини ошириш учун, алюминий ва никель механик хоссаларини кўтариш учун қўшилади ва ҳоказо.

Таркибидаги миснинг миқдори кўп бўлган α-латунларнинг ранги олтин рангда бўлиб, заргарлик ва безак буюмлари тайёрлаш учун ишлатилади ва *томпак* деб аталади.

Бронза. Қалайли бронза. Яқинларгача фақат мис билан қалай қотишмалари бронзалар деб аталар эди. Ҳозирда эса мис билан қалай, алюминий, қўрғошин, бериллий ва бошқа элементлар қотишмаси *бронзалар* деб аталади. Мис билан қалай қотишмалари *қалайли бронзалар* дейилади. Дастлаб биз ана шу бронзаларни кўриб чиқамиз. Қалайли бронзаларнинг тузилишини ўрганишдан олдин мис — қалай системасининг ҳолат диаграммасини кўриб чиқайлик. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, Cu — Sn системасининг ҳолат диаграммасини кўпдан-кўп тадқиқотчилар текширган, аммо қалайнинг мисга диффузиланиш тезлиги ниҳоятда кичиклигидан системанинг мувозанат ҳолатига эришиш қийин бўлганлиги учун мувозанат чизиқларининг ҳақиқий вазияти ва ҳосил бўладиган фазаларнинг табиати тўғрисидаги масала ҳанузгача ҳал қилинган эмас. Шу сабабли ҳозиргача тузилган диаграммалар орасида бир қадар фарқ мавжуд.

Cu — Sn системасининг ҳолат диаграммаларидан бири 303-расмда тасвирланган. Бу диаграмма ҳам, худди Cu — Zn системасининг ҳолат диаграммаси каби, бир неча перитектик диаграммадан иборат.

Cu — Sn системаси ҳолат диаграммасида ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи оралиғининг катта эканлиги қалайли бронзаларнинг дендрит ликвацияга мойиллигини кўрсатади.

Энди Cu — Sn системасида қаттиқ ҳолатда ҳосил бўладиган фазаларни кўриб чиқайлик.

α-фаза — қалайнинг мисдаги қаттиқ эритмаси. α-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси, худди тоза миснинг кристалл панжараси каби, ёқлари марказлашган кубдир.

β-фаза эритувчиси электрон типидаги интерметалл бирикма Cu_5Sn бўлган қаттиқ эритма (Cu_5Sn бирикмада валент электронлар сонининг атомлар сонига нисбати — электронлар концентрацияси $^3/_2$) β-қаттиқ эритманинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган кубдир.

γ-фаза — эритувчиси электрон типидаги интерметалл бирикма $Cu_{31}Sn_8$ бўлган қаттиқ эритма.

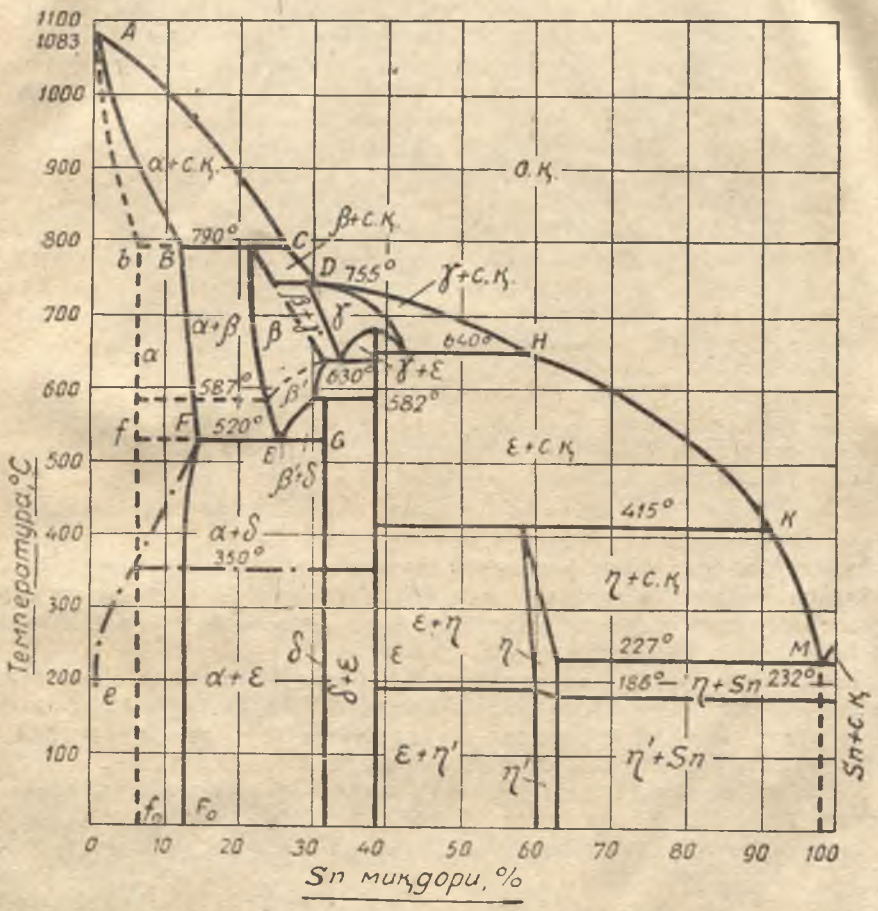
δ-фаза — электрон типидаги интерметалл бирикма $Cu_{31}Sn_8$; бу бирикмада валент электронларнинг атомларга нисбати (электронлар концентрацияси) $^{21}/_{13}$.

ε-фаза — электрон типидаги интерметалл бирикма Cu_3Sn; бу бирикмада валент электронларнинг атомларга нисбати — электронлар концентрацияси $^7/_4$.

η-фаза — интерметалл бирикма CuSn (валент электронларнинг атомлар сонига нисбати $^5/_2$).

Дастлаб шунга эътибор бериш керакки, Cu — Sn системаси ҳолат диаграммасининг чап (таркибидаги қалай миқдори 20% гача бўлган қотишмалар) қисмида уч хил чизиқ: туташ, пунктир ва штрих-пунктир чизиқлар бор. $ABFF_c$ туташ чизиқ жуда кескин совитилганда ёки қуйилгандан кейин юмшатилганда ҳосил бўлган ҳолатни ифодалайди (одатдаги усул билан қуйишда бундай шароит яратиб бўлмайди). $Abff_0$ пунктир чизиқ қотишма одатдаги шароитда қуйилганда ҳосил бўлган ҳолатни кўрсатади. *Fe* штрих-пунктир чизиқ қотишма ниҳоятда

узоқ вақт (бир неча минг соат) давомида юмшатилгандан кейин ҳосил бўлган ҳолатни билдиради. Совитиш шароитига қараб, қотишма структураларида содир бўладиган бу фарқнинг сабаби иккита: биринчиси ликвидус ва солидус чизиқлари оралиғининг жуда катталиги (150—160°С га етиши) бўлса, иккинчиси мис — қалай қаттиқ эритмаларида диффузия процессининг жуда секин боришидир. Бунинг натижаси-

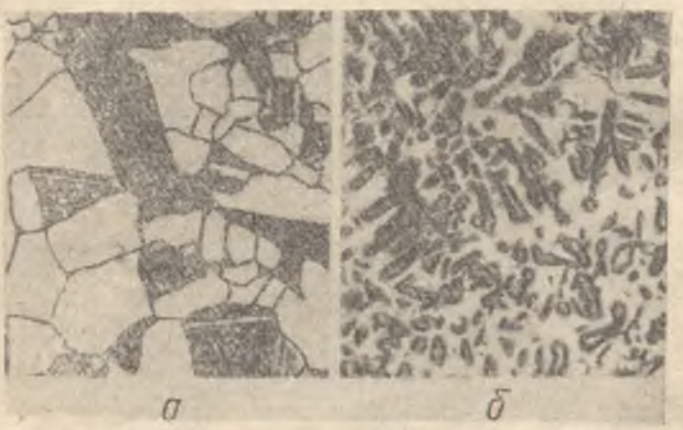


303- расм. Cu—Sn системасининг ҳолат диаграммаси.

да ликвация вужудга келади ва фақат α- фазадан иборат бўлиши керак бўлган қотишмаларда қисман β- фаза ҳосил бўлади, бу фаза эса парчаланиб, α+δ эвтектоид ҳосил қилади. 350°С температурада диффузия процессларининг секин бориши туфайли одатдаги шароитда δ- фаза α+ε эвтектоидга айлана олмай қолади. δ- фазанинг α+ε эвтектоидга айланиш процесси *Fe* чизиғига мувофиқ келадиган мувозанат қарор топадиган узоқ вақт юмшатиш шароитидагина боради, одатдаги шароитда эса қотишмаларнинг структураси α+δ эвтектоиддан иборат бўлади. Бинобарин, қалайли қуйма бронзаларнинг тузилишини аниқлашда *Abff₀* пунктир чизиқли диаграммадан фойдаланиш маъқулдир.

Таркибида 5% ва ундан ортиқ қалай бўлган қуйма қотишмаларда эвтектоид таркибига кирувчи δ- фаза бўлади, α+δ эвтектоид эса 520°С

температурада β′-фазанинг парчаланишидан вужудга келади ва унинг таркибида 26,8% қалай бўлади. Таркибида 14% гача қалай бўлган бронзанинг юмшатилган ҳолатдаги структураси гомоген α-фазадан иборат бўлиши керак (304-расм, *а*). Таркибида 6% гача қалай бўлган қуйма бронзанинг юмшатилишдан олдинги структураси гетероген



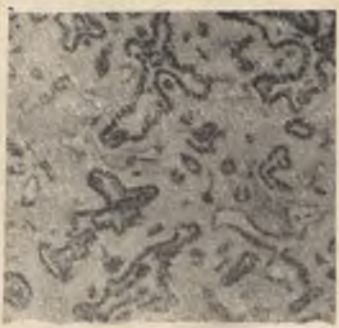
304-расм. Таркибида 6% Sn бўлган қуйма бронзанинг микроскопик тузилиши × 200:

а — юмшатилгандан кейин; *б* — юмшатишдан олдин.

α-фазадан иборат бўлиб, дендрит тузилишга эга (304-расм, *б*). Таркибидаги қалай миқдори 5% дан ортиқ бўлган бронзаларнинг структураси гетероген α-фаза билан шу фаза қисмлари ичига жойлашган α+δ эвтектоиддан иборат (305-расм).

Таркибида 5—6% дан ортиқ қалай бўлган δ-фаза мавжудлигидан бундай бронзаларни босим билан ишлаб бўлмайди, чунки δ-фаза жуда мўртдир. Бундай бронзалар фақат қуйма ҳолатда ишлатилади ва улардан антифрикцион материал сифатида фойдаланилади.

Қалайли бронзаларнинг сув ва буғда коррозиябардошлик хоссаси юқори бўлади, шунинг учун улардан кранлар, тройник ва шу кабилар қуйилади.



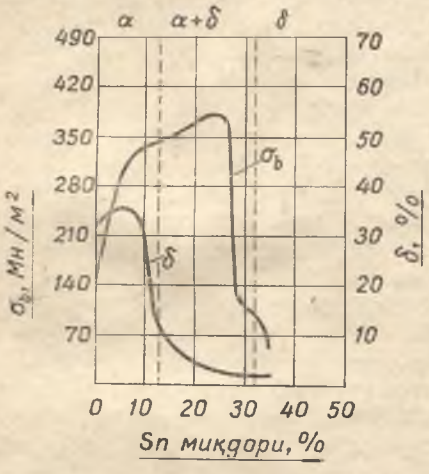
305-расм. Таркибида 10 % Sn бўлган қуйма бронзанинг микроскопик тузилиши × 200.

Қалайли бронзаларнинг қолипга қуйилиш хоссалари юқори бўлиши билан бирга, улар қуйилганда жуда кам (1% дан кам) киришади, ҳолбуки латунь ва чўян 1,5% чамаси, пўлат эса 2% дан ортиқ киришади.

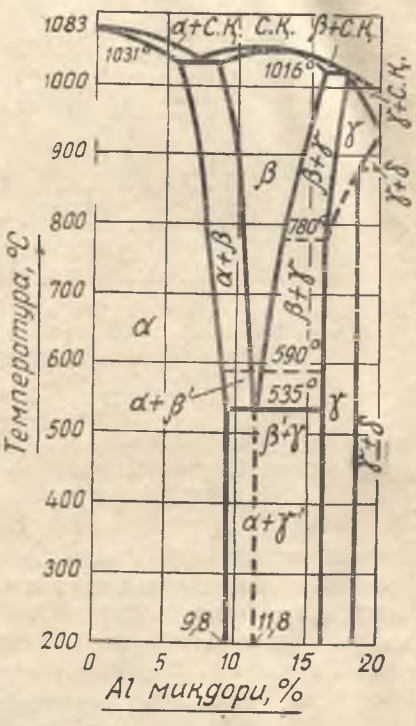
Қалайли бронзаларнинг механик хоссалари бронза таркибидаги қалай миқдорига боғлиқдир. Бу богланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар 306-расмда тасвирланган.

306-расмдан кўриниб турибдики, бронза таркибидаги қалай миқдори 20% дан сал ортганда бронзанинг пухталиги тез пасаяди, қалай миқдори 5% чамаси бўлганда эса пластиклиги пасая бошлайди, чунки бронзанинг структурасида δ-фаза ортиб, уни мўрт қилиб қўяди.

Рух бронзанинг механик хоссаларини ва суюқ ҳолатда оқувчанлигини яхшилайди. Рух (5—10% миқдорда) мисда батамом эриб, бронзанинг структурасига катта таъсир кўрсатмайди. Қўрғошин бронзада қора тусли айрим қўшилмалар тарзида бўлади ва бронзанинг антифрикцион хоссаларини ва кесувчи асбоблар билан ишланиш хусусиятини яхшилайди. Никель бронзанинг доналарини майдалаб, механик хоссаларини оширади. Бронзага SnO ни қайтарувчи сифатида фосфор қўшилади, у бронзанинг суюқ ҳолатда оқувчанлик, ёйилишга чидамлилик, кесувчи асбоблар билан ишланувчанлик хоссаларини оширади ва бронзада алоҳида-алоҳида қўшилмалар (фосфид Cu_3P) тарзида бўлади.



306- расм. Мис—қалай қотишмаларининг механик хоссаларига қалай миқдорининг таъсирини кўрсатувчи эгри чизиқлар. (А. П. Гуляев).



307- расм. Cu — Al системаси ҳолат диаграммасининг чап қисми.

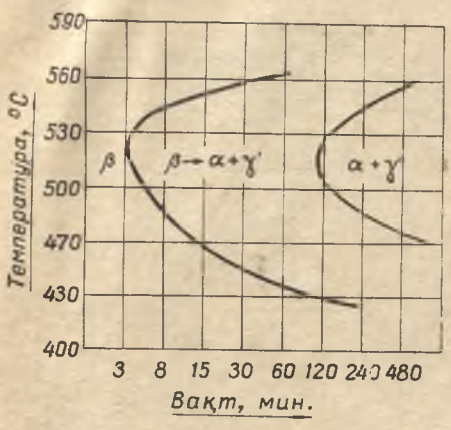
Бронза Бр ҳарфлари, легирловчи элементларни билдирадиган ҳарфлар ва шу элементларнинг процент ҳисобидаги ўртача миқдорини кўрсатувчи рақамлар билан маркаланади. Масалан, БрОНС11-4-3 марка қалайли ва никель ҳамда қўрғошин билан легирланган бронзани билдиради, 11 сони бронза таркибида ўрта ҳисоб билан 11% қалай, 4 рақами ўрта ҳисоб билан 4% никель, 3 рақами эса ўрта ҳисоб билан 3% қўрғошин борлигини билдиради.

Техникада энг кўп ишлатиладиган қалайли бронзаларнинг маркалари, химиявий таркиби, механик хоссалари ва асосан нималарга ишлатиши 84- жадвалда келтирилган.

А л ю м и н и й л и б р о н з а. Алюминийли бронза механик хоссалари, химиявий таъсирларга бардош бериш хусусияти, суюқ ҳолатда оқувчанлиги ва баъзи бошқа хоссалари жиҳатидан қалайли бронзадан устун туради. Алюминийли бронзаларнинг структураси билан танишиш учун Cu — Al системасининг ҳолат диаграммасидан фойдаланамиз. Бундай диаграмманинг чап қисми (таркибида 20% гача алюминий бўлган қотишмаларга оид қисми) 307-расмда тасвирланган.

Алюминийли бронзаларнинг суюқ ҳолатда яхши оқувчан бўлишга сабаб шуки, уларда ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи оралиғи бир-бирига жуда яқин туради.

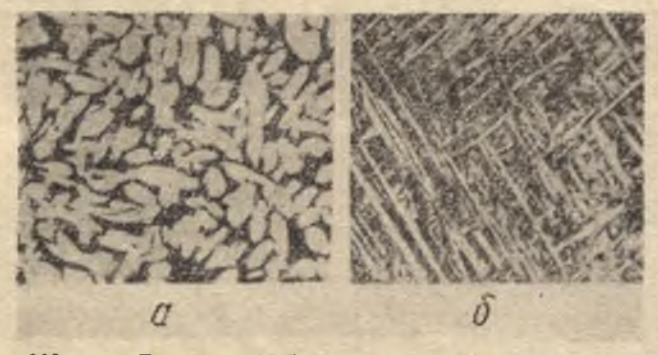
α-фазанинг тўйиниш чегарасидан ўтилганда, яъни бронза таркибидаги алюминий миқдори 9,8% дан ортганда бронзаларнинг структурасида $\alpha + \gamma'$ эвтектоид бўлади. Қотишма тез совитилганда β-фаза ўта совиб, анча дисперс $\alpha+\gamma'$ зарраларга ажралади. Қотишманинг совитилиш тезлиги оширилган сари эвтектоид аралашма дисперсроқ ва қаттиқроқ бўлиб боради. β-қаттиқ эритманинг парчаланиш тезлиги билан температура орасидаги боғланишни диаграмма тарзида ифодалаш мумкин. Бундай диаграмма 308-расмда тасвирланган.



308-расм. Алюминийли бронзада β-фазанинг изотермик парчаланиш диаграммаси (Ржезников).

Алюминийли бронзаларнинг термик ишланиши пўлатнинг термик ишланишига ўхшайди, яъни бронза критик тезлик билан совитилганда β-фаза мартенсит типида парчаланиб, нинасимон структура ҳосил қилади.

Таркибида 9,8% дан ортиқ алюминий бўлган бронза критик температурадан бошлаб секин совитилганда унинг структураси α-қаттиқ эритма кристаллари билан $\alpha + \gamma'$ эвтектоиддан иборат бўлади (эвтектоидгача бўлган структура). Агар бронза 900°С гача қиздирилиб, сувда совитилса (тобланса), унинг структураси «мартенсит» дан иборат бўлиб қолади (309-расм). Бинобарин, бронзани ҳар хил тезликда совитиш ва шундан кейин бўшатиш йўли билан унинг механик хоссаларини ўзгартириш мумкин экан. Алюминийли бронзаларнинг маркаланиш принципи ҳам қалайли бронзаларники кабидир.



309-расм. Таркибида 10,5 % алюминий бўлган бронзанинг микроскопик тузилиши ×100:

а — критик температурадан бошлаб секин совитилган бронза, структураси α-қаттиқ эритма (оқиш кристаллар) билан $\alpha + \gamma'$ дан иборат; *б* — 900° С гача қиздирилиб, сувда совитилган бронза, структураси «мартенсит»-дан иборат.

Алюминийли бронзаларнинг химиявий таркиби ва стандарт механик хоссалари 85-жадвалда келтирилган.

84- жадвал

Қалайли бронзаларнинг химиявий таркиби, механик хоссалари ва ишлатилиши

Бронзанинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида							Механик хоссалари			Ишлатилиши
	Sn	Zn	Pb	Ni	P	Cu	қўшимчалар йиғиндиси	σ_b, кГ/мм²	δ, %	HB	
БрО10	9—11	—	—	—	—	қолгани	<1,0	—	—	—	Мураккаб қуймалар
БрОФ10-1	9—11	—	—	—	0,8—1,2	»	<0,75	30	3	90	Подшипниклар, қуймалар
БрОЦ10-2	9—11	2	—	—	—	»	<1,0	35	20	—	Вкладишлар
БрОЦ8-4	7—9	4	—	—	—	»	<1,0	—	—	—	Буғ ва сув арматураси
БрОНС11-4-3	10—12	—	3	4	—	»	<0,75	25	—	—	Юқори босимда ишлайдиган деталлар
БрОЦН5-2-5	4,5—5,5	1—3	—	4,5—5,5	—	»	<0,75	40	—	—	Шестернялар
БрОЦС5-5-5	4—5	4—6	4—6	—	—	»	<1,3	25	4	60	Сув ва буғ арматураси
БрОЦС6-6-3	5—7	5—7	2—4	—	—	»	<1,3	20	6	60	Антифрикцион деталлар

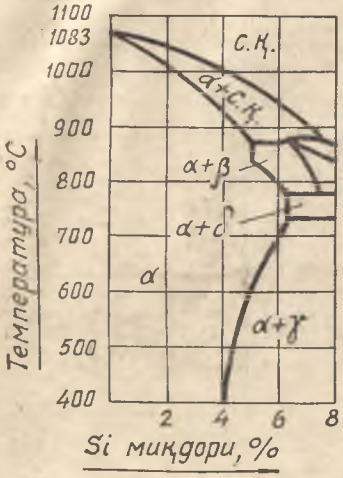
85- жадвал

Алюминийли бронзаларнинг химиявий таркиби ва механик хоссалари

Бронзанинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида					Механик хоссалари		
	Al	Mn	Fe	Ni	Cu	σ_b, кГ/мм²	δ, %	HB
БрА7	6—8	—	—	—	қолгани	60	10	40—60
БрАМц9-2	8—10	1,5—2,5	—	—	»	45	20	—
БрАЖС7-1,5-1,5	6—8	1—1,5Pb	1—1,5	—	»	80	18	—
БрАЖН10-4-4	9,5—11	—	3,5—5,5	3,5—5,5	»	65	5	170
БрАЖН11-6-6	10,5—11,5	—	5—6,5	5—6,5	»	60	2	—

Алюминийли бронзалар қуйиш йўли билан ҳам, босим остида ишлаш йўли билан ҳам хилма-хил втулкалар, шестернялар, йўналтирувчилар ва бошқа муҳим деталлар тайёрлаш учун ишлатилади.

Кремнийли бронза. Таркибида 3—4% кремний бўлган бронзанинг механик хоссалари қалайли бронзаларникидан юқори бўлади. Кремнийли бронзаларнинг структураси билан танишиш учун Cu — Si системасининг ҳолат диаграммасидан фойдаланамиз. Бундай диаграмманинг чап қисми (таркибида 8% гача кремний бўлган қотишмаларга оид қисми) 310-расмда тасвирланган.



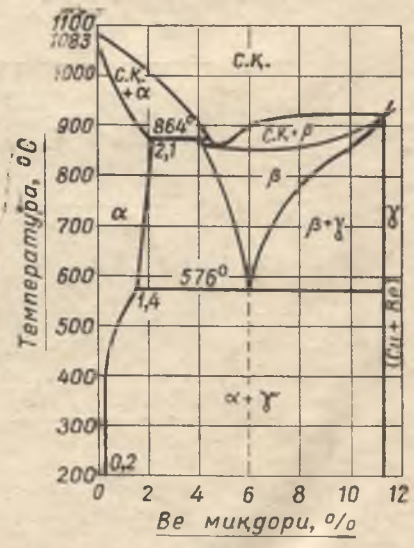
310-расм. Cu — Si системаси ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Cu — Si системасининг ҳолат диаграммасидан кўриниб турибдики, таркибидаги кремний миқдори 4% гача бўлган қотишмаларда бир жинсли битта фаза — α-фаза ҳосил бўлади. Шу сабабли бундай қотишмаларнинг пластиклик хоссалари юқоридир.

Кремний қўшимчаси бронзанинг коррозиябардошлик ва механик хоссаларини, шунингдек, қуйманинг зичлигини оширади. Қолипга қуйилганда киришиш даражаси жиҳатидан олганда кремнийли бронзалар қалайли бронзалардан кейинда туради. Кремнийли бронзаларнинг қуйилиш ва кесиб ишланиш хоссаларини яхшилаш учун уларга рух ёки қўрғошин қўшилади.

Таркибида никель ҳам бўлган кремнийли бронзаларни термик ишлаш йўли билан уларнинг механик хоссаларини ошириш мумкин. Масалан, бундай бронзалар 875°С температурагача қиздирилиб, тоблангандан кейин 450°С температурада бўшатилса, уларнинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 500$ *Мн/м²* (50 *кГ/мм²*) га, нисбий узайиши $\delta = 15\%$ га етади.

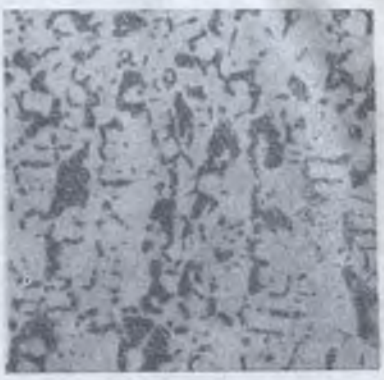
Деталлар қуйиш учун кремнийли бронзаларнинг қуйидаги маркалари ишлатилади: БрК-3 (3% Si), БрКЦ-3-9 (3% Si, 9% Zn), БрКЦ-4-4 (4% Si, 4% Zn), БрКС-3-6 (3% Si, 6% Pb), БрКС-3-4 (3% Si, 4% Pb), БрКЦС-3-15-6 (3% Si, 15% Zn, 6% Pb). Бу бронзаларнинг қуйма ҳолатдаги механик хоссалари қуйидагича: $\sigma_b = 200—300$ *Мн/м²* (20—30 *кГ/мм²*), $\delta = 10—20\%$.



311-расм. Cu—Be системаси ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Бериллийли бронза. Бундай қотишмалар ҳолат диаграммасининг чап қисми 311-расмда тасвирланган. Бу диаграммадан кўриниб турибдики, бериллийнинг мисда эрувчанлиги температура пасайган сари камайиб боради. Масалан, 864°С да мисда 2,1% бериллий эриса, 576°С да 1,4%, 300°С дан нормал температурагача 0,2% бериллий эрийди. Cu—Be системасида жуда қаттиқ интерметалл бирикма CuBe ҳосил бўлади. ГОСТ да бериллийли бронзанинг БрБ2 маркаси кўзда тутилган. БрБ2 маркали бронза 2% бериллий билан 98% мисдан иборат

қотишмадир. Бу қотишма 800°С температурагача қиздирилиб, сўнгра сувда тобланса, ортиқча фаза ажралиб чиқишга улгура олмай, ўта тўйинган α-қаттиқ эритма сақланиб қолади. Тобланган бронза юмшоқ ва пластик бўлади [$\sigma_b = 500$ *Мн/м²* (50 *кГ/мм²*), $HB = 100$, $\delta = 30\%$]. Бронза тобланган кейин 300—350°С температурада бўшатилса, яъни сунъий равишда эскиртирилса, иккиламчи CuBe кристаллари ажралиб чиқиб, бронзанинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 1300$ *Мн/мм²* (130 *кГ/мм²*) га, қаттиқлиги эса $HB = 370$ га етади.



312-расм. Қўрғошинли бронзанинг микроскопик тузилиши ×100.

Бериллийли бронза пухта, эластик, яхши пайвандланувчан, кесиб ишланиш хоссаси юқори ва коррозиябардош бўлганлиги учун ундан пружиналар, мембраналар, зарб билан ишлайдиган асбоблар* ва бошқалар тайёрланади. Аммо бериллий қиммат туриши бериллийли бронзанинг кенг кўламда ишлатилишига имкон бермайди.

Қ ў р ғ о ш и н л и б р о н з а. Машинасозликда антифрикцион материал сифатида кенг кўламда ишлатиладиган бронза БрС-30 маркали бронзадир. Бу бронза 30% қўрғошин билан 70% мисдан иборат қотишма. Унинг микроскопик тузилиши 312-расмда тасвирланган (оқиш кристаллар мис, қора кристаллар эса қўрғошин).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, Cu—Pb системасининг ҳолат диаграммасида ликвидус чизиғи билан солидус чизиғи оралиғи катта бўлганлиги учун (296-расмга қаранг) бундай бронзада зарур структура ҳосил қилиш қийин.

3-§. МАГНИЙ ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Магний. Магний 650°С да суюқланадиган, 1107°С да қайнайдиган, солиштирма оғирлиги 1,74 га тенг металл бўлиб, Д. И. Менделеев элементлар даврий сиетмасининг II группасида туради (тартиб номери 12).

Магнийнинг кристалл панжараси гексагонал панжара бўлиб, параметрлари $a = 3{,}2$ Å, $c = 5{,}2$ Å; магний атомининг радиуси 1,6 Å га баравар.

Прокатланиб, сўнгра юмшатилган магний учун $\sigma_b = 180$ *Мн/м²* (18 *кГ/мм²*), $\sigma_{оқ} = 60$ *Мн/м²* (6 *кГ/мм²*), $\delta = 6\%$, $HB = 30$.

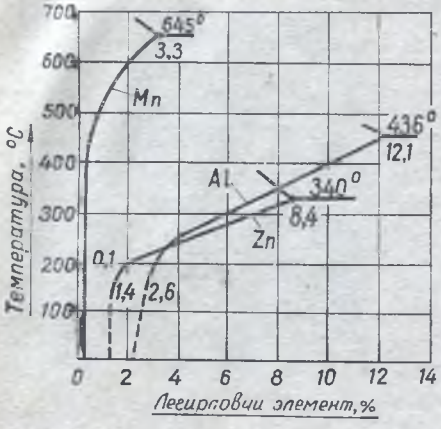
Магнийнинг солиштирма электр қаршилиги $\rho = 4{,}7 \cdot 10^{-8}$ *ом·м* (0,047 *ом·мм²/м*), чизиқли кенгайиш коэффициенти $\alpha = 25{,}5 \cdot 10^{-6}$.

Магнийнинг механик хоссалари паст бўлганлигидан у тоза ҳолатда машинасозликда ишлатилмайди. Аммо магний қотишмалари машинасозликда кенг кўламда ишлатилади.

Магний қотишмалари. Бу қотишмалар магнийга унда маълум чегарагача эрийдиган элементлар — алюминий, рух ёки марганец қўшиб суюқлантириш йўли билан олинади. Температура пасайган сари Al, Zn ва Mn нинг магнийда эрувчанлиги камаяди (313-расм). Бу ҳол Mg—Al ва Mg—Zn қотишмаларини термик ишлашга, яъни тоблаб, сўнгра

* Бериллийли бронза металлга ёки тошга урилганда учқун чиқмайди, бу эса портлаш хавфи бўлган тог ишларида, портловчи моддалар ишлаб чиқаришда катта аҳамиятга эгадир.

эскиртиришга (чиниқтиришга) имкон беради. Аммо термик ишлаш натижасида магний қотишмаларининг механик хоссалари кам даражада ўзгаради, шу сабабли магний қотишмалари учун термик ишлашнинг аҳамияти катта эмас. Магний — алюминий ва магний — рух қотишмалари термик ишланганда уларнинг бир оз пухталанишига сабаб шуки, магний алюминий билан бирикиб, Al_2Mg_3 таркибли бирикма, рух билан бирикиб MgZn таркибли бирикма ҳосил қилади, қотишма маълум температурагача қиздирилиб, тез совитилганда эса ортиқча фазаларнинг қотишмани пухталовчи иккиламчи кристаллари ажралиб чиқади.



313-расм. Mg — Al, Mg — Zn, Mg — Mn системалари ҳолат диаграммаларининг бошланғич соҳалари.

Магний қотишмаларига процентнинг юздан бир улушлари миқдорида цирконий ва бериллий ҳам қўшилади. Цирконий қўшишдан кўзда тутиладиган мақсад магний қотишмаларининг доналарини майдалаштириш бўлса, бериллий қўшишдан мақсад қотишмаларнинг қуйиш вақтида алангаланиб кетишга мойиллигини пасайтиришдир.

Магний қотишмалари ҳам, худди алюминий қотишмалари каби, қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалар билан деформацияланадиган қотишмаларга бўлинади. Магнийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари МЛ ҳарфлари ва қотишманинг шартли номерини билдирувчи рақамлар билан, деформацияланадиган қотишмалари эса МА ҳарфлари ва қотишманинг шартли номерини кўрсатувчи рақамлар билан маркаланади. Магний қотишмаларидан саноатда энг кўп ишлатиладиганларининг химиявий таркиби 86-жадвалда, механик хоссалари эса 87-жадвалда келтирилган.

86-жадвал

Магний қотишмаларининг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида						
	Al	Mn	Zn	Si	Ce	Ca	Mg
Қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалар							
МЛ1	—	—	—	1,0—1,5	—	—	қолгани
МЛ2	—	1—2	—	—	—	—	»
МЛ3	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	—	»
МЛ4	5—7	0,15—0,5	2—3	—	—	—	»
МЛ5	7,5—9	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	—	»
МЛ6	9—10,2	0,15—0,5	0,6—1,2	—	—	—	»
Деформацияланадиган қотишмалар							
МА2	4—5	0,4—0,8	0,8—1,5	—	—	—	»
МА3	5,5—7	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	—	»
МА5	7,8—9,2	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	—	»
МА8	—	1,5—2,5	—	—	0,15—0,35	—	»
МА9	0,4—0,8	1—1,8	—	—	—	0,1—0,3	»

Магнийнинг қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари ичида энг яхшилари МЛ4, МЛ5, МЛ6 маркали қотишмалардир. Улар механик хоссалари жиҳатидан ҳам, қуйилиш хоссалари жиҳатидан ҳам магнийнинг бошқа қотишмаларидан устун туради.

Магнийнинг МЛ11 маркали яна бир қотишмаси борки, бу қотишма иссиқбардош бўлиб, ундан 250 — 300°С гача температураларда ишлайдиган деталлар қуйилади. МЛ11 қотишма таркибида 0,2 — 0,7% Мп, 0,2 — 0,8% Zr, 2,5 — 4,0% бошқа сийрак-ер элементлари бўлади. Бу қотишманинг термик ишланмаган ҳолатдаги механик хоссалари: $\sigma_b = 130$ *Мн/м²* (13 *кГ/мм²*), $\sigma_{ок} = 80$ *Мн/м²* (8 *кГ/мм²*), $\delta = 3\%$, $HB = 60$; 415°С гача қиздирилиб, сўнгра тобланган ҳолатдаги механик хоссалари: $\sigma_b = 250$ *Мн/м²* (25 *кГ/мм²*), $\sigma_{ок} = 120$ *Мн/м²* (12 *кГ/мм²*); $\delta = 2\%$, $HB = 65$.

Деформацияланадиган қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги 1,75 — 1,8; 18 — 100°С температуралар оралиғида чизиқли узайиш коэффициенти $\alpha = 23 - 26 \cdot 10^{-6}$. эластиклик модули $E = 43000$ *Мн/м²* (4300 *кГ/мм²*).

Марганец магний қотишмаларининг коррозиябардошлигини ошириб, доналарини майдалаштиради; алюминий билан рух қотишмани пухталайди.

Магний қотишмалари асосан авиасозлик ва асбобсозликда ишлатилади.

87-жадвал

Магний қотишмаларининг механик хоссалари

Қотишманинг маркаси	Ҳолати	Механик хоссалари			
		σ_b, *кГ/мм²*	$\sigma_{ок}$, *кГ/мм²*	δ, %	*НВ*
МЛ1	Термик ишланмаган	11	6,0	3	41
МЛ2	» »	10	3,5	4	35
МЛ3	» »	18	5,5	8	45
МЛ4	» »	18	9,5	5	50
»	250° С да юмшатилган	18	8,0	6	60
»	380° С гача қиздирилиб, тобланган	23	8,5	9	50
МЛ5	Термик ишланмаган	16	9.5	3	50
»	250° С да юмшатилган	15	8,0	5	50
»	415° С гача қиздирилиб, тобланган	23	8,5	9	50
МЛ6	Термик ишланмаган	16	10,0	1,5	50
»	250° С да юмшатилган	24	8,0	9	60
МА2	250° С да юмшатилган	28	18	10	55
МА3	» » »	30	24	12	60
МА5	415° С гача қиздирилиб, тобланган ва 175° С да сунъий эскиртирилган	32	22	14	55
МА8	250° С да юмшатилган	25	16	18	20

4-§. РУХ ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Рух. Рух 419°С да суюқланадиган, 906°С да қайнайдиган, солиштирма оғирлиги 7,14 га тенг металл бўлиб, Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг II группасида туради (гартиб номери 30).

Рухнинг кристалл панжараси гексагонал панжара бўлиб, параметрлари $a = 2{,}65$ Å, $c = 4{,}93$ Å; рух атомининг радиуси 1,37 Å га баравар.

Қуйма рухнинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 40 - 50$ *Мн/м²* (4 — 5 *кГ/мм²*), оқувчанлик чегараси $\sigma_{ок} = 15 - 20$ *Мн/м²* (1,5 — 2 *кГ/мм²*), нисбий узайиши $\delta = 40 - 50\%$, қаттиқлиги $HB = 30 - 40$, зарбий қовушоқлиги $a_н = 70$ *кж/м²* (0,7 *кГм/см²*), эластиклик модули $E = 80000 - 140000$ *Мн/м²* (8000 — 14000 *кГ/мм²*).

Рухнинг солиштирма электр қаршилиги $\rho = 6{,}23 \cdot 10^{-6}$ *ом·м* (0,0623 *ом·мм²/м*), чизикли кенгайиш коэффициенти $\alpha = 32{,}6 \cdot 10^{-6}$.

Рух босим билан ишланиши осон ва техника жиҳатидан муҳим хоссаларга эга металл бўлгани учун ундан мис, қалай ва уларнинг қотишмалари ўрнига кенг кўламда фойдаланилади.

Рухнинг асосий маркалари ва бу маркаларнинг химиявий таркиби 88- жадвалда келтирилган.

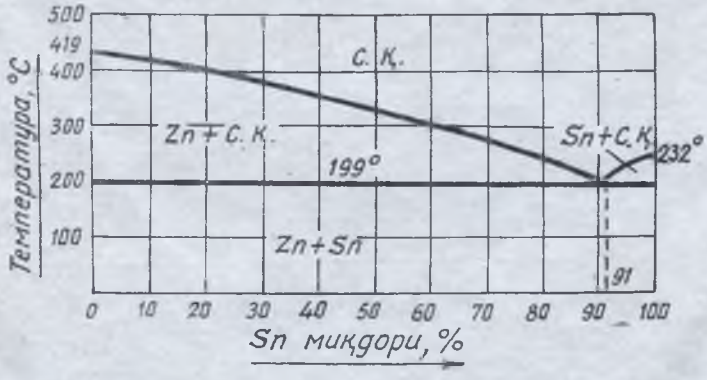
88- ж а д в а л

Рухнинг асосий маркалари ва бу маркаларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 3640-47)

Рухнинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида								
	Zn	Pb	Fe	Cd	Cu	As	Sb	Sn	Бошқа қўшимчалар йиғиндиси
ЦВ	99,99	<0,005	<0,003	<0,002	<0,001	—	—	—	<0,01
ЦО	99,96	<0,015	<0,01	<0,01	<0,001	—	—	—	<0,04
Ц1	99,94	<0,024	<0,015	<0,014	<0,002	—	—	—	<0,06
Ц2	99,9	<0,05	<0,04	<0,02	<0,002	—	—	—	<0,1
Ц3	98,7	<1,0	<0,07	<0,2	<0,005	<0,01	<0,02	<0,002	<1,3
Ц4	97,5	<2,0	<0,15	<0,2	<0,05	<0,01	<0,02	<0,05	<2,5

Рухда энг кўп учрайдиган қўшимчалар Pb, Cd, Sb, As, Sn, Fe дир. Рухни тозалашнинг (рафинлашнинг) хилма-хил усуллари, масалан, электролиз қилиш ёки қайта дистиллаш усуллари таркибида атиги 0,01% қўшимчалар бўладиган рух олишга имкон беради.

Рухдаги оз миқдор қўшимчалар ҳам унинг механик хоссаларига, айниқса эса босим билан ишланиш хоссаларига салбий таъсир кўрсатади. Рух учун энг зарарли қўшимча қалайдир. Қалайнинг рухда эрувчанлиги жуда оз бўлганлигидан процентнинг ҳатто юздан бир улушларига тенг миқдордаги қалай ҳам 199°C да суюқланадиган эвтектика тарзида ажралиб чиқади (314- расм).



314- расм. Zn — Sn системасининг ҳолат диаграммаси.

Рух таркибида қалай билан бирга жуда оз миқдорда қўрғошиннинг ҳам бўлиши 150°C да суюқланадиган учлама эвтектика ҳосил бўлишига олиб келади. Бинобарин, рухнинг қиздириб туриб босим билан ишланадиган ЦВ, ЦО маркаларида 0,001% дан ортиқ миқдорда қалай бўлмаслиги керак. Қалай бўлмаганда қўрғошин рухнинг механик хоссаларига ва босим билан ишланувчанлигига унча таъсир этмайди.

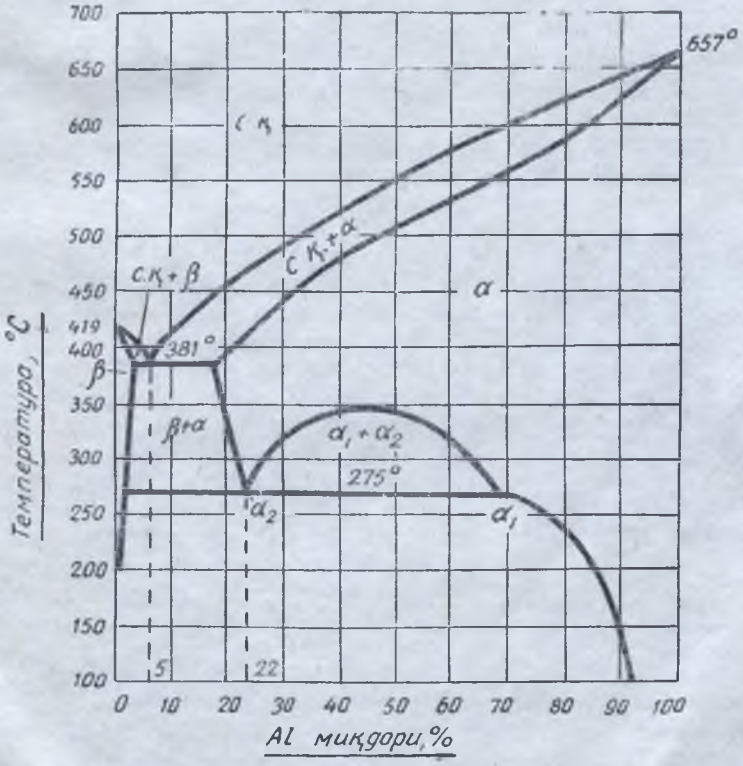
Рух, асосан, коррозиланадиган металларнинг сиртини рухлаш (қиздириб туриб, гальваник усулда ва суюқлантириб туриб пуркаш йўли билан қоплашда) ишлатилади. Рухдан босим остида ишлаш йўли билан тайёрланадиган чивиқ, труба, полоса, лента ва симлар тарзида кенг кўламда фойдаланилади.

Прокатланган рух осон штампланади, шунинг учун прокатланган рух архитектура буюмлари, гальваник элементлар, автомобиль арматуралари тайёрлаш, полиграфия саноатида эса клишелар ясаш учун ишлатилади. Рух рангдор металлар саноатида қўрғошиндан кумуш, цианид эритмаларидан олтин ажратиб олиш учун ҳам ишлатилади.

Рух билан бошқа металларнинг қотишмалари эса саноат учун янада катта аҳамиятга эгадир.

Рух қотишмалари. Рух қотишмаларидан рух — алюминий, рух—мис ва рух — алюминий — мис қотишмаларини кўриб чиқайлик.

Рух қотишмаларида одатдаги легирловчи элемент — алюминий 3,5 дан 16% гача бўлади. Рух — алюминий системасида икки хил қаттиқ эритма: β- қаттиқ эритма билан α- қаттиқ эритма ҳосил бўлиши мумкин (315- расм). β- қаттиқ эритма деярли тоза рух бўлиб, α- қаттиқ эрит-



315- расм. Zn — Al системасининг ҳолат диаграммаси.

ма рухнинг алюминийдаги эритмаси; α- қаттиқ эритма таркибида 83% гача рух бўлиши мумкин, аммо алюминий миқдори фақат 17% бўлади. Температуралар ва концентрацияларнинг маълум оралиғида α- қаттиқ эритма худди шундай кристалл тузилишдаги икки-

та қаттиқ эритмага ажралади. Бу қаттиқ эритмалардан бири рухи камроқ, α_1-қаттиқ эритма бўлса, иккинчиси рухи кўпроқ α_2-қаттиқ эритмадир.

275°С температурада α_2-қаттиқ эритма парчаланиб, $\beta+\alpha_1$ эвтектоидга айланади, аммо температура 275°С дан пасайган сари рухнинг алюминийда эрувчанлиги кескин равишда камаяди. Бинобарин, таркибида 4—10% алюминий ва қолгани рух бўлган қотишманинг структураси $\beta+(\beta+\alpha)$ дан, яъни эвтектоидгача бўлган қотишма билан эвтектоиддан иборатдир (316-расм).

Қотишма тез совитилганда α_2-фаза паст температураларгача ўта совийди, яъни у парчаланишга улгура олмайди. Аммо ўта совиган α_2- фазанинг структураси беқарор бўлади. Ўта совиган α_2- фаза парчаланганда, бу қотишмадан қуйилган деталнинг ўлчамларида ўзгариш содир бўлади. Қотишмага 0,1% чамаси Mg қўшилса, ўта совиган α_2-фазанинг парчаланиши сусайиб, қуйманинг ўлчамлари бир қадар барқарорлашади.

Юқорида баён этилганлар Zn—Al қотишмаларига оиддир.

Zn—Cu қотишмаларига келсак, бу қотишмалар эскиришга (чиниқишга) мойил бўлмайди, аммо механик хоссалари жиҳатидан Zn—Al қотишмаларидан паст туради.

Рухнинг энг пухта қотишмалари учлама Zn — Al — Cu системасидаги қотишмалардир. Бундай қотишмаларнинг структураси алюминий миқдори билан мис миқдорига ва бу миқдорлар орасидаги нисбатга боғлиқ бўлади ва бирламчи β- фаза (деярли тоза рух), кўп миқдор рухнинг алюминийдаги эритмаси (α- фаза) ёки $CuZn_3$ бирикмалар (ε- фаза), қўш эвтектика ($\beta+\alpha$, $\varepsilon+\alpha$ ёки $\beta+\varepsilon$) ва учлама эвтектика ($\beta+\alpha+\varepsilon$) дан тузилади.

Рух қотишмаларида қўрғошин, қалай ва кадмий қўшимчалари бўлса, улар α- фазанинг парчаланиш процессига сабаб бўлади ва қуйма деталлар ўлчамларининг ўзгаришини кучайтиради. Бу қўшимчалар қотишмаларнинг коррозиланишини ҳам кучайтиради. Шу сабабли рухнинг кўпгина қотишмалари тайёрлашда Ц1 дан паст марка рух ишлатишга рухсат этилмайди.



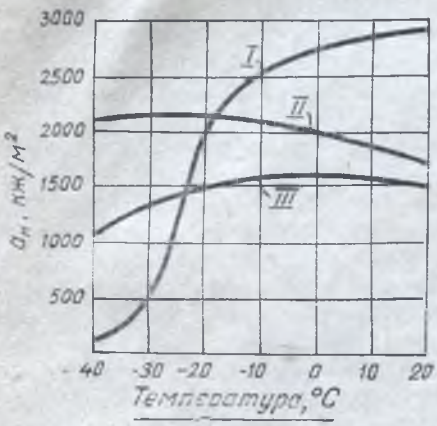
316-расм. ЦА4 маркали қотишманинг микроскопик тузилиши × 100.

Баъзи ҳолларда юқорида кўрсатиб ўтилган қўшимчалар фойдали бўлиши ҳам мумкин. Масалан, мутлақо тоза рух клише тайёрлаш учун ярамайди, чунки у яхши хурушланмайди (кислота таъсирида яхши ейилмайди) ва рекристалланишга мойил бўлади. Агар рухга кадмий аралаштирилса, унинг рекристалланишга мойиллиги пасаяди, қўрғошин аралаштирилганда эса унинг хурушланиш хусусияти яхшиланади. Шу сабабли клише тайёрлаш учун рухнинг таркибида 0,75% гача кадмий ва 0,81% гача қўрғошин бўлган қотишмаси ишлатилади.

Рух қотишмалари осон суюқланадиган ва суюқ ҳолатда яхши оқувчан бўлганлигидан улар босим остида деталлар қуйиш учун айниқса яроқлидир.

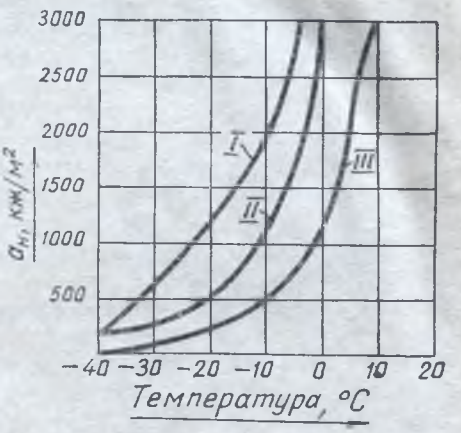
Рух қотишмаларининг камчиликлари жумласига юқори температураларда иссиқбардошлик хоссаларининг, оқувчанлик чегарасининг пастлиги ва коррозияга етарли даражада бардош бера олмаслиги киради. Рухнинг баъзи қотишмалари паст температураларда мўрт бўлади (317-расм). Аммо таркибида 12—20% алюминий бўлган қотишмалар-

нинг зарбий қовушоқлиги паст температураларда унча ўзгармайди (318-расм).



317-расм. Zn — Al — Cu системасидаги қотишмаларнинг паст температуралардаги зарбий қовушоқлиги:

I — таркибида 4 % Al ва 1,2 % Cu бўлган қотишма; *II* — таркибида 8 % Al ва 2 % Cu бўлган қотишма; *III* — таркибида 0,25 % Al ва 4% Cu бўлган қотишма.



318-расм. Zn— Al системасидаги қотишмаларнинг паст температуралардаги зарбий қовушоқлиги:

I — таркибида 6 % Al ва 0,02 % Mn бўлган қотишма; *II* — таркибида 12 % Al бўлган қотишма; *III*— таркибида 20 % Al бўлган қотишма.

Рухнинг саноатда ишлатиладиган баъзи қотишмаларининг маркалари, химиявий таркиби ва механик хоссалари 89-жадвалда келтирилган.

89-жадвал

Рух қотишмаларининг химиявий таркиби ва механик хоссалари

Қотишмачинг маркаси	Асосий элементлар миқдори, % ҳисобида				Механик хоссалари		
	Al	Cu	Mn	Zn	σ_b, кГ/мм²	δ, %	НВ
ЦА4	3,5—4,5	—	0,03—0,08	қолгани	25—30	3—6	70—90
ЦАМ4-1	3,5—4,5	0,75—1,25	0,03—0,08	»	27—33	2—5	80—100
ЦАМ4-3	3,5—4,5	2,5—3,5	0,02—0,1	»	32—38	2—3	80—120
ЦМ1	—	0,08—1,2	—	»	20—30	30—40	45—75
ЦАМ4-0,2	3,4—4,5	0,2—0,15	—	»	30—36	20—30	75—90
ЦАМ10-1	9—11	0,6—1,0	0,02—0,05	»	40—46	8—12	90—100
ЦА15	14—16	—	0,02—0,04	»	25—40	10—40	40—100

ЦА4, ЦАМ4-1, ЦАМ4-3 маркали қотишмалар босим остида деталлар қуйиш учун, ЦМ1, ЦАМ4-0,2, ЦАМ10-1, ЦА15 маркали қотишмалар эса прокатлаш ва пресслаш йўли билан листлар ҳамда турли профиллар тайёрлаш учун ишлатилади.

5-§. БОСМАХОНА ҚОТИШМАЛАРИ

Босмахонада қўл билан ёки машинада териладиган ҳарфлар, рақамлар ва хилма-хил белгилар тайёрлаш, ҳарф қуйиб терув машиналарида (линотипларда, монотипларда) текст ва шрифт қуйиш, стереотип тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишмалар *босмахона қотишмалари* дейилади.

Босмахона қотишмалари етарли даражада қаттиқ, осон суюқланадиган, суюқ ҳолатда оқувчан ва қайта суюқлантирилганда имкони борича кам куюнди ҳосил қиладиган бўлиши керак. Бундай қотишмалар сифатида учлама Pb—Sb—Sn қотишмалари ишлатилади. Босмахона қотишмалари компонентларининг миқдорий нисбати қотишманинг вазифасига боғлиқдир. Масалан, шрифт тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишма 73—77% Pb, 20—23% Sb ва 2—4% Sn дан иборат бўлади. Бундай қотишманинг қаттиқлиги HB=23—25. Машинада текст ва шрифт қуйиш учун ишлатиладиган қотишманинг асосий таркиби қуйидагича: 76—84% Pb, 11,5—16,5% Sb ва 2—7% Sn. Стереотип тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишма 77—81% Pb, 14—16% Sb ва 5—7% Sn дан иборат. Бу қотишмаларнинг қаттиқлиги унча бўлмаганлигидан босма колиплар кўпга чидамайди, яъни 30—80 минг марта босишгагина етади, шундан кейин яроқсиз ҳолга келади. Бундан ташқари, юқорида айтиб ўтилган қотишмалар киши соғлиғи учун маълум даражада зарарли ва уларнинг айрим компонентлари, масалан, қалай қиммат туради. Шу сабабли СССРда босмахона қотишмалари сифатида рух қотишмаларидан кўпроқ фойдаланилади. Бу қотишмаларнинг механик хоссалари анча юқори (HB=90—140) бўлиш билан бирга, киши соғлиғи учун унча зарарли эмас, чунки унинг таркибида қўрғошин бўлмайди. Рух қотишмаларининг таркиби қуйидагича: 89—96% Zn, 4—7% Al, 0—4% Cu ва 0—2,5% Mg. Бу қотишмаларнинг суюқланиш температураси 340—380°С. Шуниси борки, рух қотишмаларининг суюқланиш температураси юқорироқ бўлиб, улар қайта суюқлантирилганда кўпроқ куюнди чиқади.

Босмахона қотишмаларидан энг кўп тарқалганларининг маркалари, химиявий таркиби, тўла суюқланиш температураси ва Бринель бўйича қаттиқлиги 90-жадвалда келтирилган.

90- ж а д в а л

Босмахона қотишмаларининг маркалари, химиявий таркиби ва хоссалари

Қотишма нинг маркаси	Асосий элементлар миқдори, % ҳисобида								Тўла суюқланиш температураси, °С	Қуйма ҳолатдаги қаттиқлиги HB
	Sb	As	Sn	Al	Cu	Mg	Pb	Zn		
МШ1	13,5—15	3,5—4,5	—	—	—	—	қолгани	—	325	25—30
МШ2	14—16	2,7—3,3	—	—	—	—	—	—	315	23—28
МШ3	14—16	1,5—2,5	—	—	—	—	»	—	320	23—30
МЛ1	9,5—10,5	1—1,5	—	—	—	—	»	—	250	—
ЛН1	11—12	—	4,2—4,8	—	—	—	»	—	245	22—23
ЦШ1	—	—	—	3,5—4,5	0,06	0,02—0,06	—	қолгани	390	—
№3	—	—	—	2,2—3	0,1	1,2—1,8	—	»	400	—
№7	—	—	—	4,5—5,5	3,5—4,5	1,5—2,0	—	»	460	—

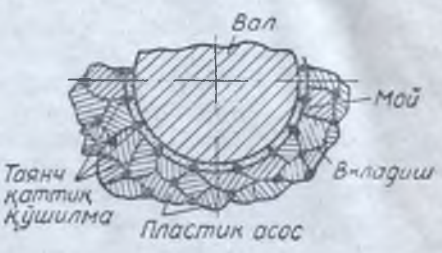
6-§. ПОДШИПНИК ҚОТИШМАЛАРИ

Машина ва механизмларда икки хил подшипник—думалаш подшипниклари ва сирпаниш подшипниклари ишлатилади. Сирпаниш подшипникларининг вал ёки ўқ бўйнига тегиб турадиган юзасидаги ишқаланиш думалаш подшипникларинкига қараганда анча юқори бўлади. Сирпаниш подшипникларининг ана шундай қисмлари (вкладишлар) тайёр-

лаш учун ишлатиладиган қотишмалар *подшипник қотишмалари* ёки *антифрикцион қотишмалар* деб аталади.

Подшипник қотишмалари сифатида перлитли кул ранг чўян, бронза ва осон суюқланувчи қотишмалардан (баббитлардан) фойдаланилади.

Подшипник қотишмалари етарли даражада юқори механик хоссаларга эга, ишқаланишни камайтириш учун ишлатиладиган сурков мойини тутиб тура оладиган, кислотали мойларда коррозиябардош, иссиқликни яхши ўтказадиган, катта босимга бардош бера оладиган бўлиши керак. Бинобарин, подшипник қотишмалари етарли даражада пухта, нисбатан пластик ва қовушоқ асосдан ва таянч вазифасини ўтайдиган қаттиқ қўшилмалардан иборат бўлиши керак. Бундай қотишма қуйилган вкладишли подшипникка ўрнатилган валнинг айланиш жараёнида ишқаланиш процесси вкладиш ҳамда вал бўйнининг бутун сирти бўйича бормайди, мой эса пластик асоснинг ейилган жойларида тутилиб туради. Вкладиш билан валнинг ишлаш шароитини акс эттирувчи схема 319-расмда тасвирланган.



319-расм. Вкладиш билан вал бўйнининг ишлаш шароитини акс эттирувчи схема.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, қотишманинг асоси ҳаддан ташқари юмшоқ бўлмаслиги керак, акс ҳолда подшипникка кўрсатиладиган босим таъсири остида вкладиш қотишмаси сиқиб чиқарилади ва асос қаттиқ қўшилмаларни тутиб тура олмайди. Қаттиқ қўшилмалар миқдори ҳам етарли даражадан ортиқ бўлмаслиги лозим, чунки валнинг босими таъсири остида ортиқча қаттиқ қўшилмалар уваланиб, майда заррачалар ҳосил қиладики, бу заррачалар жилвир заррачалари каби таъсир кўрсатиб, вал бўйнини тирнаб юборади.

Юқорида баён этилганлардан равшанки, вкладишлар учун бир фазали эмас, балки икки ёки ундан ортиқ фазали қотишмалар ишлатилиши керак.

Антифрикцион қотишмаларни ўрганиш соҳасида рус олими А. А. Бочварнинг қилган ишлари хилма-хил шароитда ишлайдиган подшипниклар учун илмий асосда қотишмалар танлаб олишга имкон беради. А. А. Бочвар антифрикцион қотишмаларнинг янги маркаларини ҳам топди. А. А. Бочварнинг ишларини давом эттириб, олимларимиздан Зайцев, Сельвинский ва бошқалар қора ҳамда рангдор металлар асосида янги антифрикцион қотишмалар яратдилар.

Ҳозирги замон машинасозлигида подшипникларнинг вкладишлари учун юқорида айтиб ўтилганидек, чўян, бронза ва осон суюқланувчи қотишмалардан фойдаланилади.

Энг арзон тушадиган ва каттагина босимга бардош берадиган вкладишлар чўян вкладишлардир. Аммо пўлат — чўян жуфтида ишқаланиш коэффициенти анча катта бўлганлиги учун чўян вкладишлар тез юрар двигателларда ишлатилмайди. Бронза вкладишлар тайёрлаш учун қалайли ва қўрғошинли бронзалардан фойдаланилади. Пўлат — бронза жуфтининг ишқаланиш коэффициенти пўлат — чўян жуфтиникига қараганда анча кичик бўлади. Маълумки, бронзанинг структураси бир жинсли бўлмайди, бинобарин, бронзадан ясалган вкладиш юзасида мой яхши тутилиб туради. Бундан ташқари, бронза вкладишларнинг пухталиги ҳам юқори бўлади. Бу айтилганлардан бронза вкладишлар оғир

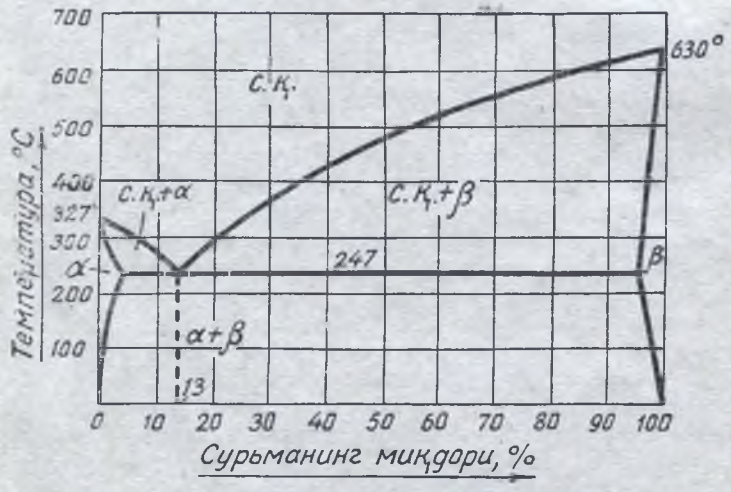
шароитда ишлайдиган подшипниклар учун ишлатилиши керак деган хулоса келиб чиқади.

Баъзи ҳолларда вал ёки ўқ бўйнининг имкони борича кам ейилиши талаб этилади. Бундай ҳолларда осон суюқланувчи қотишмалардан (баббитлардан) фойдаланишга тўғри келади, чунки пўлат — баббит жуфтининг ишқаланиш коэффициенти пўлат — бронза жуфтиникидан ҳам кичик, бундан ташқари, ички сиртига баббит қуйилган вкладишлар мойни жуда яхши тутиб туради.

Баббитлар. Осон суюқланадиган қотишмалар сифатида қўрғошин — сурьма, қалай — сурьма, қўрғошин — қалай — сурьма системасидаги қотишмалар — баббитлар, асоси рухдан иборат бўлиб, оз миқдорда мис ва алюминий қўшилган баббитлар, асосан алюминийдан иборат бўлиб, оз миқдорда мис, сурьма, никель ва бошқа элементлар қўшилган баббитлар ишлатилади.

Pb—Sb системасининг ҳолат диаграммасини, умумий тарзда, бинар системаларнинг ҳолат диаграммалари билан танишишда кўриб ўтган эдик (IV боб, 9- параграфга қаранг). Бу ерда биз Pb—Sb системаси ҳолат диаграммасининг компонентларнинг оир-бирида эрувчанлиги ҳисобга олинган ҳолдаги кўринишини келтириб ўтамиз (320- расм).

Структураси қўрғошин билан эвтектикадан иборат, яъни эвтектикагача бўлган қотишмалар подшипник учун жуда юмшоқлик қилади, чунки қўрғошиннинг Бринель бўйича қаттиқлиги $HB=4$—5, эвтектиканинг,

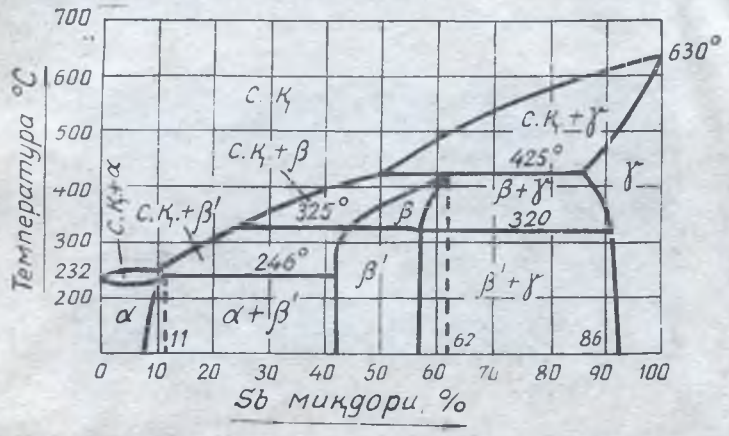


320- расм. Pb— Sb системасининг ҳолат диаграммаси.

яъни 87% қўрғошин ва 13% сурьмадан иборат қотишманинг қаттиқлиги эса $HB=7$—8 атрофидадир. Сурьманинг Бринель бўйича қаттиқлиги $HB=38$ чамасида, сурьма миқдорининг ортиши билан эса қотишманинг қаттиқлиги ҳам ортиб боради. Бинобарин, подшипник учун қўл келадиган қотишма таркибида 16—18% сурьма бўлган эвтектикадан кейинги қотишмалардир. Бундай қотишмаларда пластик (юмшоқ) асос эвтектика бўлиб, таянч (қаттиқ қўшилмалар) вазифасини сурьма кристаллари ўтайди, сурьма кристалларининг миқдори қотишма умумий ҳажмининг 4—5 процентини ташкил этади. Қаттиқ қўшилмалар миқдори бундан анча ортиб кетса, юқорида айтиб ўтилганидек, қотишма иш жараёнида уваланиб, вал бўйнини тирнаб юборади.

Энди, қалай — сурьма системасини кўриб чиқайлик. Бу системанинг ҳолат диаграммаси 321- расмда тасвирланган.

Қалайнинг Бринель бўйича каттиклиги кичик ($HB = 5 — 8$), мустаҳкамлик чегараси эса $\sigma_в = 28$ *Мн/м²* (2,8 *кГ/мм²*). Қалай асосида антифрикцион қотишма ҳосил килиш учун унга каттиқ қўшилмалар ҳосил қила оладиган элемент — сурьма қўшилади. Қалай—сурьма системасида сурьма-

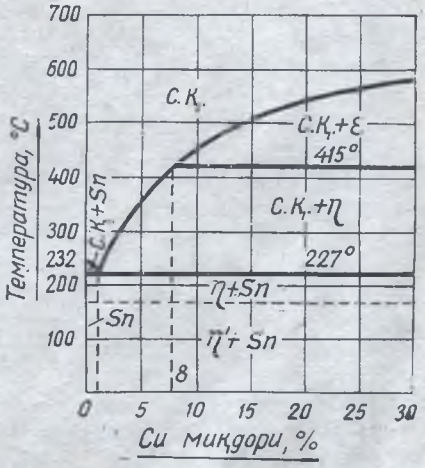


321- расм. Sn — Sb системасининг ҳолат диаграммаси.

нинг миқдори 7,5% дан ортса, қотишма структурасида қаттиқ β′- фаза (SnSb) нинг куб шаклидаги кристаллари ҳосил бўлади, бу системада подшипник учун энг маъқул қотишма таркибида 87% қалай ва 13% сурьма бўлган қотишмадир. Бу қотишма α ва β′- фазалардан иборат бўлиб, бу фазалардан бири, яъни α- фаза сурьманинг қалайдаги қаттиқ эритмаси, иккинчиси, яъни β′- фаза— интерметалл бирикма SnSb дир. Бу қотишмада α- фаза юмшоқ асос вазифасини, β′- фаза эса қаттиқ таянч вазифасини ўтайди.

Миснинг қалайда эрувчанлиги ниҳоятда кичик. Агар қалай — сурьма системасига 1% мис қўшилса, эвтектика кристалланади, агар миснинг миқдори 1% дан ортиқ бўлса, мис билан қалай бирикмаси (Cu_3Sn) нинг ортиқча кристаллари ажралиб чиқади (322- расмга қаранг).

Мис енгил SnSb кристалларининг ликвацияланишига тўсқинлик қилади, натижада қаттиқ қўшилмалар бутун қотишма бўйлаб бир текисда тарқалади.



322- расм. Sn—Cu системаси ҳолат диаграммасининг чап қисми.

Қалай — сурьма — мис системасидаги уч компонентли (Б83 маркали) қотишманинг микроскопик тузилиши 323- расмда тасвирланган.

323- расмдан кўриниб турибдики, қотишма ўта қизиб кетса, қўшилмалар йириклашади, бунинг оқибатида эса баббитнинг сифати ёмонлашади.

Қалай—қўрғошин—сурьма системасидаги антифрикцион қотишмада юмшоқ асос вазифасини қўрғошин негизидаги қаттиқ эритма, қаттиқ қўшилмалар вазифасини эса SnSb интерметалл бирикма ўтайди. Бундай қотишмаларга ҳам, одатда, озроқ миқдорда мис қўшилади.

Қалай қиммат турадиган металл бўлганлигидан қалайли баббитлар жуда муҳим подшипниклар учунгина ишлатилади. Кенг кўламда ишлатиладиган подшипниклар учун эса кўп миқдорда қўрғошин қўшилган баббитлардан фойдаланилади, бундай баббитларда қалай атиги 6—



323-расм. Б83 маркали баббитнинг микроскопик тузилиши (қоараоқ рангдагиси α-қаттиқ эритма, оқиш ранглаги йириклари SnSb бирикманинг куб шаклидаги кристаллари, майдароғи эса Cu_3Sn бирикманинг кристаллари) × 100:

а — нормал баббитнинг тузилиши; *б* — ўта қизиган ҳолда қўйилган баббитнинг тузилиши.

10% бўлади ёки бутунлай бўлмайди. Қўрғошинни пухталаш ва қаттиқ қўшилмалар ҳосил қилиш учун эса қотишмага озроқ миқдорда мис қўшилади. Қўшилган мис ликвацияга барҳам бериш билан бирга Cu_3Sn таркибли қаттиқ қўшилмалар ҳам ҳосил қилади.

Шундай қилиб, баббитларни уч группага: қўрғошин — қалай — сурьма баббитлари, қалай — сурьма баббитлари, қўрғошин баббитлари группасига бўлиш мумкин. Бу баббитларнинг химиявий таркиби, структураси ва механик хоссалари 91-жадвалда келтирилган. Бу жадвалдан кўриниб турибдики, иккинчи группа баббитларидан БН, БТ ва Б6 маркали қотишмалар таркибида қалай, сурьма ҳамда мисдан ташқари, яна бошқа компонентлар ҳам бор. Бу компонентлардан мишьяк қотишманинг суюқ ҳолатда оқувчанлик хусусиятини яхшилайди, никель ва кадмий қотишманинг қаттиқлигини оширади, теллур ва мишьяк TePb ҳамда AsPb таркибли майда қаттиқ қўшилмалар ҳосил қилади, натижада баббитларнинг ейилишга чидамлилик хоссалари кўтарилади.

91-жадвалда келтирилган уч группа баббитлар ичида энг ёмони қўрғошин баббити (БС маркали баббит) дир, чунки бу баббитнинг асоси — эвтектика (Pb+Sb) нинг пластиклиги етарли даражада эмас, ундан яхшироқ баббитлар иккинчи группа баббитларидир. Биринчи группа баббитлари энг яхши баббитлар ҳисобланади, чунки бу баббитларнинг асоси — қалай қовушоқ ва пластик бўлиб, такрорланувчи нагрузка таъсири остида емирилишга мойиллиги камроқ, яъни толиқишдаги пухталиги юқорироқдир.

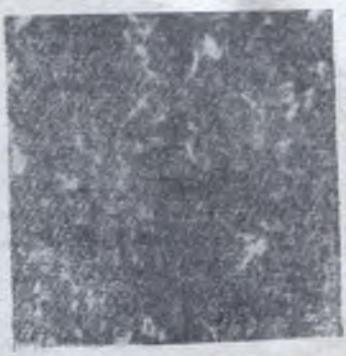
БК маркали қотишмага келсак, бу қотишма (худди БС қотишма каби) нисбатан арзон қотишмадир. У темир йўл транспортида энг кўп

Баббитларнинг химиявий таркиби (ГОСТ 1320-55, ГОСТ 1209-59), структураси ва хоссалари

Баббитнинг маркаси	Химиявий таркиби % ҳисобида						Структураси		Хоссалари					
	Sb	Cu	Sn	Pb	бошқа элементлар	қўшимчалар йиғиндиси	юмшоқ асос	қаттиқ қўшилмалар	солиштирма оғирлиги, $Г/см^3$	суюқланиш температураси, °С	$a_н$, $кГ/мм^2$	δ, %	мойлаган ҳолдаги ишқаланиш коэффициенти	чизиқли кенгайиш коэффициенти
Қўрғошин—қалай—сурьма баббитлари														
БН	14 ± 1	1,75 ± 0,25	10 ± 1	қолгани	1,5 ± 0,25Cd, 1 ± 0,25Ni, 0,7 ± 0,2As	0,35	Pb	SnSb, $SnAs_2$	9,5	400	7	1	0.006	—
БТ	15 ± 1	0,9 ± 0,2	10 ± 1	»	0,05—0,2Te	0,6	Pb	SnSb	10,1	410	8	2	0,009	$23 \cdot 10^{-6}$
Б16	16 ± 1	1,75 ± 0,25	16 ± 1	»	—	0,6	Pb	SnSb, Cu_3Sn	9,3	410	8	0,5	0,006	$24 \cdot 10^{-6}$
Б6	15 ± 1	2,75 ± 0,25	5,5 ± 0,5	»	2,0 ± 0,25Cd, 0,8 ± 0,2As	0,4	Pb	SnSb, Cu_3Sn	9,6	460	7	0,5	0,005	$21 \cdot 10^{-6}$
Қалай—сурьма баббитлари														
Б89	7,75 ± 0,5	3 ± 0,5	қолгани	—	—	0,55	Sn	Cu_3Sn	7,3	342	9	9	—	—
Б83	11 ± 1	6 ± 0,5	»	—	—	0,55	Sn	SnSb, Cu_3Sn	7,4	380	9	6	0,005	$21 \cdot 10^{-6}$
Қўрғошин баббитлари														
БС	17 ± 1	1,25 ± 0,25	—	қолгани	—	0,5	эвтектика (Pb+Sb)	Sb	10,1	410	4,2	0,5	0,007	$26 \cdot 10^{-6}$
БК	—	—	—	»	1 ± 0,15Ca, 0,8 ± 0,1Na	0,7	Pb	Pb_3Ca, Pb_3Na	10,5	470	10	2,5	0,004	$26 \cdot 10^{-6}$

ишлатилади. БК маркали баббит кальцийли баббит деб ҳам аталади. Унинг микроскопик тузилиш 324-расмда тасвирланган.

Қалайнинг қиммат туриши юқорида айтиб ўтилди, аммо қўрғошин ҳам унча арзон турмайди, ана шулар ҳисобга олиниб, анча арзон тушадиган баббитлар излаб топилди. Бундай баббитлар жумласига асоси рух ва асоси алюминий бўлган антифрикцион қотишмалар киради.



324-расм. БК маркали баббитнинг микроскопик тузилиши.

Асоси рух бўлган антифрикцион қотишмалар ишқаланишга чидамлилиги, пластиклиги ва бошқа хоссалари жиҳатидан асоси қалай бўлган қотишмалардан кейин туради, аммо асоси қўрғошин бўлган қотишмаларга яқинлашиб боради.

Асоси алюминий бўлган антифрикцион қотишмалар ейилишга чидамлилиги жиҳатидан одатдаги баббитлардан устун туради, аммо технологик хоссалари одатдаги баббитларникидан пастдир. Бундан ташқари, асоси алюминий бўлган баббитларнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти одатдаги баббитларникидан юқоридир, шунинг учун бундай қотишмалар қуйилган вкладишларни катта зазорлар қолдириб йиғишга тўғри келади. Алюминий баббитларининг қаттиқлиги юқори бўлганлиги учун улар бўйни жуда қаттиқ (азотланган, юза тобланган ва бошқа йўл билан пухталанган) валлар учунгина ишлатилади.

Рух баббитлари билан алюминий баббитларининг химиявий таркиби ва структураси 92-жадвалда, уларнинг хоссалари эса 93-жадвалда келтирилган.

92-жадвал

Рух ва алюминий баббитларининг химиявий таркиби ва структураси

Баббитнинг маркаси	Асосий элементлар миқдори, % ҳисобида								Структураси	
	Sb	Pb	Mg	Ni	Cu	Si	Zn	Al	юмшоқ асос	қаттиқ қўшилмалар
Рух баббитлари										
ЦАМ 10-5	—	—	—	—	5	—	қолгани	10	эвтектика (Zn+Al+ +$CuZn_3$)	Al
ЦАМ 5-10	—	—	—	—	10	—	»	5	эвтектика (Zn+Al+ +$CuZn_3$)	$CuZn_3$
Алюминий баббитлари										
АСС 6-5	5—6	4—5	0,5—0,7	—	—	—	—	қолгани	Al	AlSb
АСМ	3,5—5	—	0,5—0,7	—	—	—	—	»	Al	AlSb
АН2,5	—	—	—	2,3—3,0	—	—	—	»	Al	Al_3Ni
Алькусин Д	—	—	—	—	7,5—9,5	1,5—2,5	—	»	Al	$CuAl_2$

Энди баббитлардан баъзи маркаларининг нималарга ишлатилишини кўриб чиқайлик.

БН маркали баббит ўртача нагрузка таъсир этадиган подшипникларнинг, масалан, автомобиль ва трактор двигателлари, қуввати 1200 от кучигача бўлган буғ турбиналари ва бошқалар подшипникларининг вкладишларига қуйиш учун ишлатилади.

БТ маркали баббитдан автомобиль ва тракторлар туб ва шатун подшипникларининг вкладишларига қуйиш учун фойдаланилади.

93-жадвал

Рух ва алюминий баббитларининг баъзи хоссалари

Баббитнинг маркаси	Хоссалари					
	солиштирма оғирлиги, $Г/см^3$	суюқланиш температураси, °С	σ_b, $кГ/мм^2$	δ, %	ишқаланиш коэффициенти	чизиқли кенгайиш коэффициенти
Рух баббитлари						
ЦАМ10-5	6,3	395	30	0,5	0,009	$27 \cdot 10^{-6}$
ЦАМ5-10	7,1	500	30	1	—	$28 \cdot 10^{-6}$
Алюминий баббитлари						
АСС6-5	3,1	750	8	14	—	$24 \cdot 10^{-6}$
АСМ	2,8	750	8,5	29	—	$24 \cdot 10^{-6}$
АН2,5	2,85	650	14	23	—	$25,5 \cdot 10^{-6}$
Алькусин Д	2,85	632	16	1	—	$25,7 \cdot 10^{-6}$

Б16 маркали баббит ўртача нагрузка таъсири остида ишлайдиган подшипниклар, масалан, компрессор, локомобиль, кўтариш машиналари ва бошқа машиналарнинг подшипниклари учун ишлатилади.

Б6 маркали баббит нисбатан кичик нагрузка таъсири остида ишлайдиган подшипникларнинг, масалан, нефть билан юрадиган двигателлар, металл кесиш станоклари, насослар ва шу кабилар подшипникларининг вкладишларига қуйиш учун ишлатилади.

Б83 маркали баббитдан айниқса катта нагрузка таъсири остида ишлайдиган подшипникларнинг, масалан, буғ турбиналари, турбокомпрессорлар, қуввати 500 от кучидан ортиқ бўлган компрессорлар, узоқ масофага сузувчи кемаларнинг дизеллари, қуввати 1200 от кучидан ортиқ бўлган стационар буғ машиналари, қуввати 750 *квт* дан ортиқ бўлган электр двигателлари ва шу каби машиналар подшипникларининг вкладишларига қуйиш учун фойдаланилади.

БК маркали баббит кичикроқ солиштирма босим таъсир этадиган подшипникларнинг, масалан, темир йўл вагонлари подшипникларининг вкладишлари учун ишлатилади.

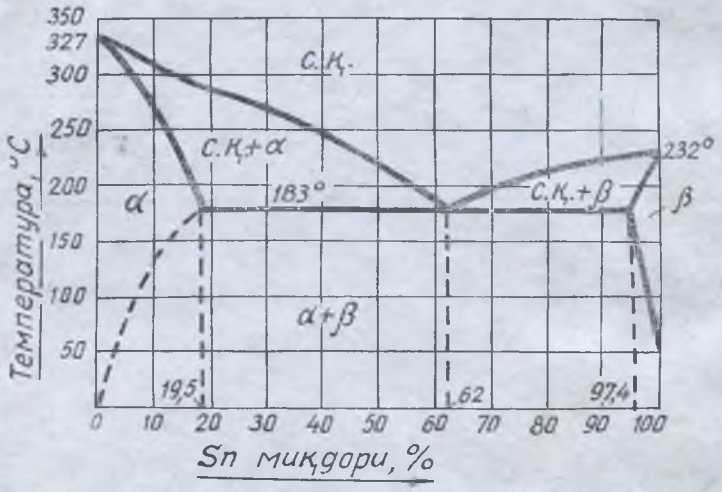
Алькусин Д маркали баббитдан зарбсиз нагрузка таъсир этадиган ва яхши мойланиб турадиган подшипниклар учун фойдаланилади.

7-§. КАВШАРЛАР

Металлар ва қотишмаларни ҳамда улардан ясалган буюмларни кавшарлаш учун ишлатиладиган қотишмалар *кавшарлар* деб аталади.

Барча кавшарлар юмшоқ ва қаттиқ кавшарларга бўлинади.

Юмшоқ кавшарлар. Юмшоқ кавшарларнинг суюқланиш температураси паст (220—280°С) бўлади, шунинг учун улар кавшарланган жойни герметик қилиш учунгина ишлатилади. Бундай кавшарлар билан бириктирилган чокнинг мустаҳкамлик чегараси анча паст $\sigma_b = 50—70$ *Мн/м²* (5—7 *кГ/мм²*) бўлади, шунинг учун бундай чокка ҳеч қандай механик нагрузка таъсир эгмаслиги керак. Юмшоқ кавшарлар, одатда, осон суюқланувчи металларнинг, масалан, қўрғошин, қалай, кадмий ҳамда висмутнинг қотишмалари бўлади. Энг кўп ишлатиладиган юмшоқ кавшар қўрғошин — қалай системасидаги қотишмадир. Бу системанинг ҳолат диаграммаси 325- расмда тасвирланган.



325- расм. Pb — Sn системасининг ҳолат диаграммаси.

325- расмдаги диаграммадан яққол кўриниб турибдики, қўрғошин—қалай системасида энг осон (183°С да) суюқланадиган қотишма 62% — қалай ва 38% қўрғошиндан иборат эвтектикадир. Бу қотишма, кўпинча, *третник* деб аталади.

Қўрғошин — қалай системасидаги қотишмалар ПОС ҳарфлари ва ундан кейин қўйиладиган рақамлар билан маркаланади; маркадаги рақамлар қалайнинг процент ҳисобидаги энг кўп миқдорини ифодалайди.

Юмшоқ кавшарларнинг маркалари ва химиявий таркиби 94- жадвалда, физикавий ва механик хоссалари эса 95- жадвалда келтирилган.

94- жадвал

Юмшоқ кавшарларнинг химиявий таркиби
(ГОСТ 1499-54)

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида.		
	Sn	Sb	Pb
ПОС 90	89—90	0,15	қолгани
ПОС 61	59—61	0,8	»
ПОС 50	49—50	0,8	»
ПОС 40	39—40	1,5—2,0	»
ПОС 30	29—30	1,5—2,0	»
ПОС 18	17—18	2,0—2,5	»

95-жадвал

Юмшоқ кавшарларнинг хоссалари

Қотишманинг маркаси	Хоссалари						
	суюқлана бошлаш температураси, °С	суюқланиб бўлиш температураси, °С	суюқ ҳолатда оқувчанлиги, *см*	электр ўтказувчанлиги, *м/ом·м²*	σ_b, *кГ/мм²*	δ, %	$\alpha_н$ *кГм/см²*
ПОС 90	183	222	135	—	4,3	26	1,85
ПОС 61	183	185	135	6,9	—	—	—
ПОС 50	183	209	115	6,4	3,6	32	4,59
ПОС 40	183	235	91	5,7	3,2	63	4,75
ПОС 30	183	256	63	5,5	3,3	58	4,67
ПОС 18	~190	277	60	4,5	2,8	67	3,86

Энди, юмшоқ кавшарларнинг нималарга ишлатилиши билан танишиб чиқайлик.

ПОС90 маркали кавшар идиш-товоқ ва медицина аппаратларининг ички чокларини кавшарлаш учун ишлатилади.

ПОС61 маркали кавшар 200°С дан юқори температурагача қиздирилмайдиган деталларни кавшарлаш учун ишлатилади.

ПОС50 маркали кавшардан муҳим деталларни кавшарлашда фойдаланилади.

ПОС40 ва ПОС30 маркали кавшарлардан мис, латунь, пўлат ва рухланган буюмларни, электр аппаратлари ва радио аппаратларини кавшарлашда, шунингдек, электр монтаж ишларида фойдаланилади. Бу кавшарлар энг арзон ва энг кўп тарқалган кавшарлардир.

ПОС18 маркали кавшар, асосан, буюм ва деталларни кавшарлаш олдидан оқлаш учун ишлатилади, чунки бу кавшарнинг пухталиги ПОС 40 ва ПОС 30 маркали кавшарларникига қараганда пастроқдир.

94-жадвалда келтирилган кавшарлардан ташқари, ПОС10 ва ПОС5 маркали кавшарлардан ҳам фойдаланилади. Бу кавшарлар таркибида қалай миқдори кам бўлганлигидан анча арзон туради, аммо уларнинг суюқлана бошлаш ва суюқланиб бўлиш температуралари оралиғи катта (325-расмдаги диаграммага қаранг), пухталиги ва суюқ ҳолатда оқувчанлиги пастроқдир.

Қўрғошин — қалай системасидаги кавшарлар билан бир қаторда, қалай — рух системасидаги кавшарлардан ҳам фойдаланилади. Бу кавшарлар ПОЦ ҳарфлари ва ундан кейин қўйиладиган рақамлар билан маркаланади. Маркадаги рақамлар қалайнинг процент билан ифодаланган миқдорини билдиради. Масалан, ПОЦ 90, ПОЦ 70, ПОЦ 60 ва ПОЦ 40 маркали кавшарларда тегишлича 90, 70, 60 ва 40% қалай бўлади. Бу кавшарлар ичида энг яхшиси ПОЦ 90 маркали кавшар бўлиб, унинг суюқлана бошлаш температураси 199°С, суюқланиб бўлиш температураси эса 202°С дир. Қалай — рух кавшарлари қўрғошин — қалай кавшарларига қараганда анча пухта бўлади.

Металл буюмларни кавшарлаш ва оқлаш учун О1, О2, О3 ва О4 маркали қалайнинг ўзидан ҳам фойдаланилади. О1 маркали қалайда 99,9% Sn, қолгани қўшимчалар, О2 маркали қалайда 99,56% Sn, қолгани қўшимчалар, О3 маркали қалайда 98,35% Sn, қолгани қўшимчалар ва, ниҳоят, О4 маркали қалайда 96,25% Sn қолгани қўшимчалардир. Қалайнинг нормал температурадаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_b = 25$ *Мн/м²* (2,5 *кГ/мм²*), кавшарланган чокнинг мустаҳкамлик чегараси эса, кавшарланган металлга ва кавшарланган чокнинг шаклига қараб, $\sigma_b =$ 40—90 *Мн/м²* (4—9 *кГ/мм²*) бўлади. Кўрамизки, чокнинг пухталиги қа-

лайникидан юқори, бунинг сабаби қалайнинг кавшарланган металл билан қаттиқ эритмалар ҳосил қилишидадир.

Қаттиқ кавшарлар. Бундай кавшарлар жумласига мис — рух қотишмалари (латунлар), мис — рух — кумуш қотишмалари (кумуш кавшарлари) ва кумушли кавшарлар киради. Қаттиқ кавшарнинг суюқланиш температураси 800—900°С оралигида бўлади. Металл буюмларни қаттиқ кавшарлар билан кавшарлаш анча қийин, аммо кавшарланган чокнинг механик хоссалари юқори бўлади, мис қотишмаларидан ясалган буюмларнинг қаттиқ кавшарлар билан кавшарланган чоки, механик хоссалари жиҳатидан, асосий металлдан қолишмайди.

Кумушли кавшарлар чокнинг электр ўтказувчанлиги асосий металлнинг электр ўтказувчанлигидан кам бўлмаслиги талаб этиладиган электр асбобларини кавшарлаш учун ишлатилади.

Қаттиқ кавшарларнинг химиявий таркиби 96-жадвалда, баъзи хоссалари эса 97-жадвалда келтирилган.

96-жадвал

Қаттиқ кавшарларнинг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида					
	Zn	Sn	Cu	Pb	Ag	қўшимчалар йиғиндиси
Кумушли кавшарлар						
ПСр1,5	—	0,75—1,25	—	қолгани	1,3—1,7	<0,5
ПСр2,5	—	—	—	»	2,3—2,7	<0,5
ПСр3	—	—	—	»	2,7—3,3	<0,5
Кумуш кавшарлари (ГОСТ 8190-56)						
ПСр72	—	—	27,3—28,5	—	қолгани	<0,25
ПСр50	—	—	49,3—50,5	—	»	<0,25
ПСр45	24—26,5	—	29,5—30,5	—	»	<0,5
ПСр25	33,5—37	—	39—41	—	»	<0,5
ПСр10	35,5—39	—	52—54	—	»	<0,5

97-жадвал

Қаттиқ кавшарларнинг хоссалари

Қотишманинг маркаси	Хоссалари		
	суюқлана бошлаш температураси, °С	суюқланиб бўлиш температураси, °С	электр қаршилиги, *ом.мм²/м*
Кумушли кавшарлар			
ПСр1,5	309	309	—
ПСр2,5	304	304	0,192
ПСр3	300	305	0,2
Кумуш кавшарлари (ГОСТ 8190-56)			
ПСр72	779	779	0,022
ПСр50	779	850	0,025
ПСр45	660	725	0,097
ПСр25	745	775	0,069
ПСр10	815	850	0,065

8-§. ЖУДА ОСОН СУЮҚЛАНУВЧИ ҚОТИШМАЛАР

Енгинга қарши водопровод трубаларининг сақлагич пробкалари, электр тармоқларидаги баъзи сақлагичлар, аниқ қуйишда моделлар тайёрлаш, айниқса осон суюқланадиган кавшарлар ва бошқалар учун жуда осон суюқланувчи қотишмалар керак. Бундай қотишмалар жумласига компонентлари нисбатан паст температурада (230°С дан пастда) суюқланадиган қотишмалар киради. Қўрғошин, қалай, висмут, кадмий, сурьма, индий ва симоб ана шундай қотишмалар ҳосил қилади. Бу компонентлар кўп фазали (икки, уч, тўрт ва ундан ортиқ фазали) кўп компонентли эвтектика ҳосил қиладиган тарзда танлаб олинади.

Висмут—қўрғошин—қалай—кадмий системасидаги қотишмаларнинг суюқланиш температураси, компонентларининг ўзаро нисбатига қараб, 70 дан 183°С гача етади. Масалан, 50,0% Bi, 25,0% Pb, 12,5% Sn ва 12,5% Cd дан иборат қотишманинг (эвтектиканинг) суюқланиш температураси 68°С га тенг. Бу қотишма *Вуд қотишмаси* деб аталади.

Висмут—қўрғошин—қалай—кадмий—индий системасидаги эвтектик қотишманинг суюқланиш температураси 47°С га тенг.

Висмут—қўрғошин—қалай—симоб системасидаги қотишмаларнинг (амальгамаларнинг) суюқланиш температураси 100°С дан паст бўлади. Маълумки, симобнинг ўзи —39°С температурада суюқланади, таллий — симоб системасидаги 8,5% таллий ва 91,5% симобдан иборат қотишманинг (эвтектиканинг) суюқланиш температураси эса —59°С га тенгдир. Бу қотишма табиатда маълум бўлган металл қотишмалари ичида энг паст температурада суюқланадиган қотишмадир.

Жуда осон суюқланадиган қотишмаларнинг маркалари ва химиявий таркиби 98-жадвалда келтирилган.

98-жадвал

Жуда осон суюқланадиган қотишмаларнинг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Элементлар миқдори, % ҳисобида				
	Bi	Pb	Sn	Cd	In
Л145	—	32,0	49,8	18,2	—
Л141	20,0	30,0	50,0	—	—
Л130	5,0	30,0	52,0	13,0	—
Л96	50,0	31,25	18,75	—	—
Л68	50,0	25,0	12,5	12,5	—
Л47	44,7	22,6	8,3	5,3	19,1

Эслатма. 1. Маркадаги Л ҳарфи жуда осон суюқланувчи қотишмани, Л ҳарфидан кейинги рақамлар эса қотишманинг суюқланиш температурасини биллиради,

2. Жуда осон суюқланувчи қотишмаларнинг ҳаммаси эвтектик қотишмалар бўлгани учун уларнинг суюқланиш температураси ўзгармасдир.

9-§. ТИТАН ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Титан. Тоза титан 1725°С да суюқланадиган, 3000°С дан юқори температурада қайнайдиган, солиштирма оғирлиги 4,54 га тенг ялтироқ металл бўлиб, Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг IV группасида туради (тартиб номери 22).

Титан икки хил аллотропик шакл ўзгаришда бўлиши мумкин: 882°С температурадан пастда α-титан ҳолида, 882°С дан юқори температурада эса β-титан ҳолида бўлади.

α- титаннинг кристалл панжараси атомлари зич жойлашган гексагонал панжара бўлиб, параметрлари $a = 2{,}9504$ Å, $c = 4{,}6833$ Å, β- титаннинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб бўлиб, унинг параметри $a = 3{,}3065$ Å. Титан атомининг радиуси 1,45 Å га баравардир.

Титаннинг солиштирма электр қаршилиги $\rho = 5{,}5 \cdot 10^{-7}$ *ом·м* (0,55 *ом·мм²/м*), чизиқли кенгайиш коэффициенти $\alpha = 8{,}8 \cdot 10^{-6}$, ўртача солиштирма иссиқлик сиғими 5821,2 *кж/кг·град* (0,1386 *кал/Г·град*) га тенг.

Титан 1791 йилда кашф этилган бўлса ҳам, у техникада нисбатан янги металлар қаторига киритилади, чунки бирмунча тоза титан 1910 йилда химик Хантер томонидан ажратиб олинди, саноатда титан ишлаб чиқариш усули эса 1940 йилдагина топилди (Кролль усули).

Титаннинг, айниқса эса титан билан рангдор ва нодир металлар қотишмаларининг хоссалари ниҳоятда юқори бўлганлигидан титан тобора кўп ишлаб чиқарилмоқда. Масалан, АҚШда 1948 йилда 3 *т*, 1951 йилда 500 *т*, 1953 йилда 2300 *т*, 1955 йилда 8500 *т*, 1957 йилда эса 27000 *т* титан ишлаб чиқарилди.

Титаннинг ер пўстлоғидаги запаси жиҳатидан олганда бу металл саноат аҳамиятига эга бўлган металлар ичида алюминий, темир ва магнийдан кейинги тўртинчи ўринда туради. Титаннинг запаси ер пўстлоғининг 0,61% га яқинини ташкил этади. Ҳозирги вақтда таркибида титан бўлган 60 дан ортиқ минерал маълум, аммо таркибидаги титан миқдори саноатда титан ажратиб олиш учун арзийдиган минераллар фақат учта. Бу минераллар рутил (TiO_2), ильменит ($FeTiO_3$) ва титан-магнетит ($FeTiO_3 \cdot Fe_3O_4$) минералларидир. Рутил таркибида 60% гача Ti, ильменит таркибида 53% гача TiO_2 (32% гача Ti), титан-магнетит таркибида эса 21% TiO_2 (12,6% гача Ti) бўлади.

Кўрамизки, таркибидаги титан миқдори энг кўп бўлган минерал рутил — титан (IV)-оксиддир, аммо рутил нодир рудалар жумласидан бўлгани учун ундан ажратиб олинадиган титан анча қимматга тушади. Ильменит ва титан-магнетит рудаларининг запаси рутил запасига қараганда кўпроқ, шу сабабли титан, асосан, ана шу рудалардан ажратиб олинади.

Титан металл кесиш станокларида яхши ишланади. У яхши болғаланади ва прокатланади. Титанни прокатлаб, тунукалар, ленталар ва, ҳатто, зарлар (титан қоғозлари) ҳосил қилиш мумкин.

Титаннинг коррозиябардошлиги юқори, бу жиҳатдан олганда у занглamас пўлатдан ҳам устун туради. Титан атмосферада, чучук сувда, денгиз сувида, органик кислоталарда ва баъзи анорганик кислоталарда, шунингдек, ўювчи ишқорларда коррозиланмайди. Титан ҳавода 400—600°С гача қиздирилганда унинг сирти юпқа оксид пардаси билан қопланиб қолади, бу парда эса титаннинг шу парда остидаги қисмини коррозиланишдан сақлайди. Агар титан янада қиздирилса, унда кислород эрий бошлайди. Натижада титаннинг пластиклиги пасайиб кетади. Титан хлорид, сульфат ва фторид кислоталар таъсиридагина коррозиланади.

Титаннинг денгиз сувида коррозиланмаслик хоссаси титандан кемаларнинг сиртини қоплашда фойдаланишга имкон беради. Титан кўпчилик химиявий реагентлар таъсирига бардош берганлигидан, у химия машинасозлигида ҳам ишлатилади.

Титан алюминийдан озроқ оғир, аммо унинг пухталиги алюминий пухталигига қараганда уч баравар ортиқдир. Бу ҳол, яъни титан солиштирма пухталигининг (мустаҳкамлик чегарасининг солиштирма оғирлигига нисбатининг) юқори эканлиги титанни самолётсозлик, автомобилсозлик саноати, бошқа транспорт воситалари ишлаб чиқариш, кран-

созлик саноати учун ниҳоятда қимматли конструкцион материал қилиб қўйди. ТГ1 (ВТ1) маркали техникавий титаннинг солиштирма пухталиги 20ХН3А маркали пўлатникидан ҳам юқоридир.

Рудалардан титан ажратиб олишнинг қиммат тушувига қарамай, 1948 йилдан бошлаб, бизнинг мамлакатимизда ҳам, чет давлатларда ҳам титан ишлаб чиқаришнинг тез суръатлар билан ривожланаётганлигига сабаб ҳам ана шу.

Титанда юқорида айтиб ўтилган афзалликлар билан бир қаторда, баъзи камчиликлар ҳам бор. Масалан, титаннинг нормал эластиклик модули пўлатникидан қарийб икки баравар кичикдир. Бу эса бикир ва устивор конструкциялар яратишни қийинлаштиради. Бундан ташқари, титанда юқори температуралардагина эмас, балки нормал температурада ҳам ёйилувчанлик хоссаси намоён бўлади.

Жуда тоза титан титан (IV)-иодидни (титан тетраиодидни) вакуумда термик парчалаш йўли билан, заррачаларининг ўлчами 0,2—3 *мм* бўлган порошок ёки ғовакли масса ҳолидаги техникавий титан эса титан (IV)-хлоридни (титан тетрахлоридни) нейтрал газ атмосферасида магний воситасида қайтариш йўли билан олинади.

Рудалардан титан ажратиб олиш масаласи металлар технологиясининг металлургия бўлимига оид бўлганлигидан бу масалага батафсил тўхталиб ўтирмаймиз. Шуни айтиб ўтамизки, техникавий титан ғовакли титанни қайта суюқлантириш йўли билан олинади. Ана шундай йўл билан суюқлантириб олинадиган техникавий титаннинг маркалари, химиявий таркиби ва механик хоссалари 99-жадвалда келтирилган.

99-жадвалда келтирилган титанлар ичида энг тозаси ТГ00 маркали титан бўлиб, бу титан илмий тадқиқот мақсадларида ишлатилади. Бу жадвалдан кўриниб турибдики, титан таркибидаги қўшимчалар миқдо-

99-жадвал

Ватанимизда ишлаб чиқариладиган техникавий титаннинг маркалари, химиявий таркиби ва механик хоссалари

Титаннинг маркаси	Ғовак титандаги қўшимчалар миқдори, % ҳисобида									Механик хоссалари				
	Fe	Si	C	Cl_2	O_2	N_2	H_2	Mg	Ni	σ_b, кГ/мм²	δ, %	ψ, %	$a_н$, кГм/см²	*НВ*, кўпи билан
ТГ00	0,15	0,05	0,05	0,06	0,1	0,03	—	—	—	38	36	64	—	115
ТГ0	0,15	0,05	0,05	0,06	0,1	0,03	0,01	0,05	0,03	46	28	50	10	145
ТГ1	0,3	0,1	0,06	0,08	0,2	0,05	0,03	0,12	0,05	53	24	42	5	165
ТГ2	0,3	0,1	0,06	0,1	0,2	0,06	0,02	0,12	0,05	60	20	35	5	185

рининг ортиб бориши билан, унинг қаттиқлиги ортиб, пластиклиги эса камайиб боради. Бунинг сабаби шуки, титандаги қўшимчалар титан билан қаттиқ эритмалар ҳосил қилади: металлоидлар, яъни атом радиуслари титан атоминикидан кичик элементлар сингиш қаттиқ эритмалари, металлар, яъни атом радиуслари титан атоминикидан катта бўлган элементлар ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади. Сингиш қаттиқ эритмалари ўрин олиш қаттиқ эритмаларига қараганда анча пухта бўлади. Бинобарин, сингиш қаттиқ эритмалари титаннинг пластиклигини ўрин олиш қаттиқ эритмаларидан кўра кучлироқ пасайтиради. Шу сабабли, титан таркибида металлоид қўшимчаларнинг бўлиши зарарлидир.

ТГ1 (ВТ1) ва ТГ2 (ВТ2) маркали техникавий титандан хивич, тунука, лента, поковка ва бошқа заготовкалар тайёрланади. Пластик деформация вақтида ҳосил бўладиган наклёпни йўқотиш учун босим би-

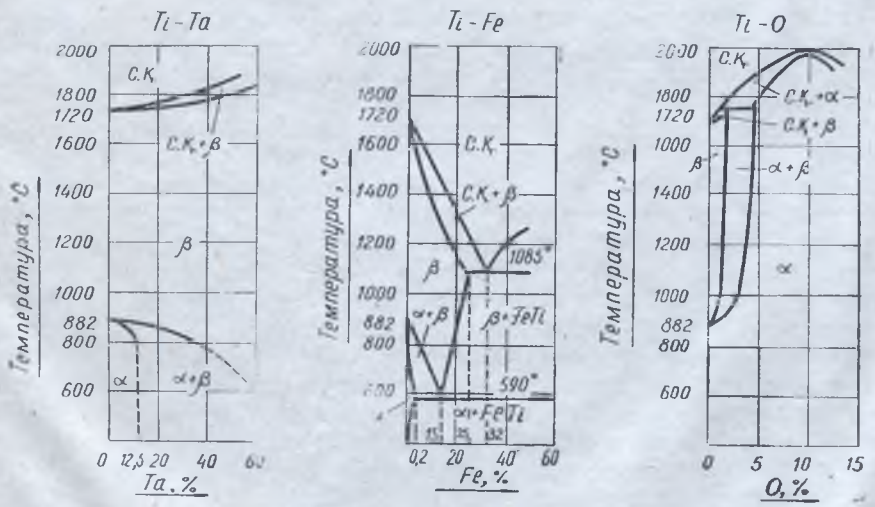
Атомининг радиуси титан атомининг радиусидан 12—15% дан ортиқ фарқ қилувчи элементлар титанда исталганча эрийди, яъни улар чексиз (компонентлари бир-бирида исталганча эрийдиган) қаттиқ эритмалар ҳосил қилади. Атомининг радиуси титан атамининг радиусидан 12—15% дан кам фарқ қиладиган элементлар титанда маълум чегарагача эрийди ва чекли (компонентлари бир-бирида маълум чегарагача эрийдиган) қаттиқ эритмалар ҳамда TiЭ* типидаги оралиқ химиявий бирикмалар (интерметаллидлар, яъни титанидлар) ҳосил қилади (326- расмдаги диаграммаларга қаранг).

326- расмдаги диаграммалардан кўриниб турибдики, O, N, Ga, Ge, B, Al ва C элементлари β- фазанинг α- фазага айланиш процессини кучайтиради, яъни α- фазани стабиллайди, V, Zr, Nb, Mo, Sn, Ta, Re, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Si, Ag, W, Au, Pb элементлари эса β- фазанинг α- фазага айланиш процессини сусайтиради, яъни β- фазани стабиллайди.

Агар легирловчи элемент α- титанга изоморф, яъни кристалл панжараси гексагонал бўлса, диаграммада α- соҳани, агар β- титанга изоморф, яъни кристалл панжараси ҳажми марказлашган куб бўлса, β соҳани кенгайтиради. - соҳани кенгайтирувчи элементлар, масалан, O, N, Al ва бошқалар α- стабилизаторлар деб, β- соҳани кенгайтирувчи элементлар, масалан, Zr, Mo, Sn, Cu ва бошқалар β- стабилизаторлар деб аталади.

Титан қотишмаларида ўта совиш хусусияти юқори β- қаттиқ эритманинг борлиги термик ишлаш режимига қараб, хилма-хил структуралар ҳосил қилишга имкон беради. Термик ишлаш йўли билан пухталанадиган қотишмалар сифатида титаннинг β- стабилизаторлар билан легирланган қотишмалари ишлатилади, чунки β- стабилизаторлар β- фазанинг α-фазага айланиш температурасини пасайтиради. бу эса термик ишлаш йўли билан қотишмани анча пухта қилишга имкон беради.

β- фаза α- фазага икки хил йўл билан: юқори температураларда одатдаги диффузион йўл билан, паст температурада эса мартенсит механизми йўли билан айланади. Биринчи ҳолда полиэдрик структурали α- қаттиқ эритма ҳосил бўлса, иккинчи ҳолда нина имон (пластинкасимон) мартен-



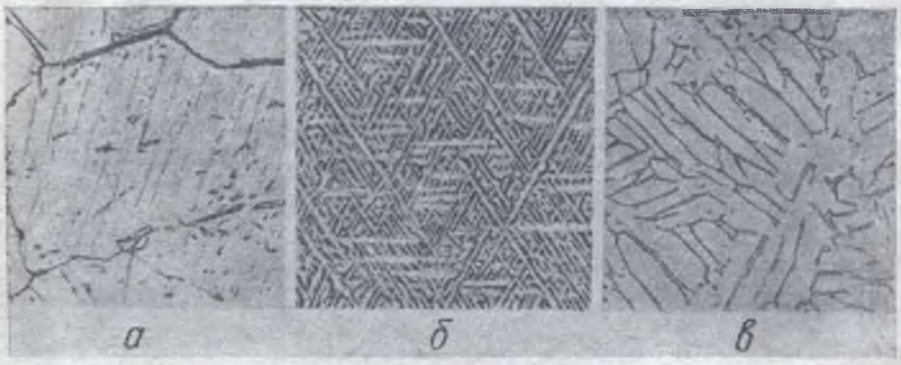
327- расм. Титан қотишмаларининг ҳолат диаграммалари.

* Э—элемент.

сит структурали ўта тўйинган α-қаттиқ эритма ҳосил бўлади. Ўта тўйинган α-қаттиқ эритма α^1 билан белгиланади.

Титан қотишмаларининг микроскопик тузилиши 328- расмда тасвирланган.

β- стабилизаторлар қотишмада мартенсит ҳосил қилишга ёрдам беради. Қотишмада β- стабилизаторлар миқдори кам бўлса, мартенсит ҳосил қилиш учун қотишмани интенсив равишда совитиш зарур бўлади. Мабодо қотишмада β- стабилизаторлар миқдори жуда кўп бўлса, β нинг α га айланиш температураси нолга тушиб қолади, бинобарин, қотишма нормал темпера-



328- расм. Титан қотишмаларининг микроскопик тузилиши ×400:

а—α-қаттиқ эритма; *б* — қотишма 1075° С гача қиздирилиб, сўнгра тобланганда ҳосил бўлган мартенсит; *в* — α + β-қаттиқ эритмалар (А. П. Гуляев).

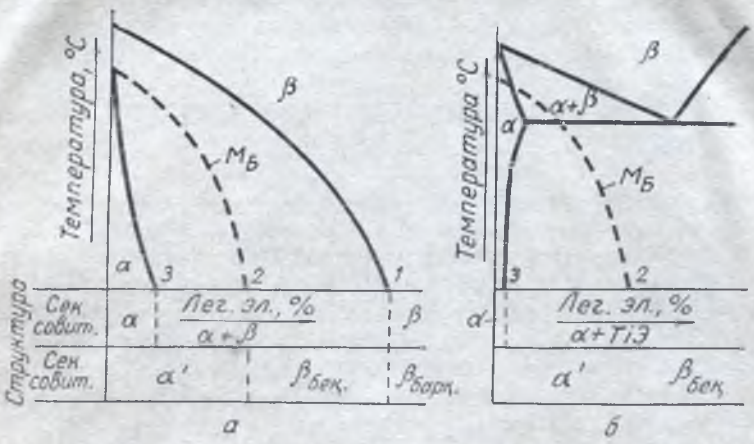
турагача совитилганда ҳам β- қаттиқ эритма α- қаттиқ эритмага айланмайди. Худди пўлатларда бўлгани каби, титан қотишмаларида ҳам мартенсит ҳосил бўла бошлаш температураси ($M_Б$) мавжуд. Юқорида айтиб ўтилганлардан равшанки, β- стабилизаторлар мартенсит ҳосил бўла бошлаш температурасини пасайтиради.

Титан қотишмалари β- соҳадан тез ва секин совитилганда қандай структуралар ҳосил бўлишини билиш учун мартенсит ҳосил бўла бошлаш чизиқлари ҳам ўтказилган ҳолат диаграммаларидан фойдаланамиз (329- расм).

329- расмда келтирилган диаграммаларни алоҳида-алоҳида кўриб ўтайлик.

Титанда исталганча эрийдиган ва $\beta \rightleftarrows \alpha$ ўзгаришни сусайтирадиган элементлар билан легирланган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси (329- расм, *а*). Қотишма секин совитилганда: легирловчи элементлар миқдори кам бўлган ҳолларда β- қаттиқ эритма α- қаттиқ эритмага батамом айланади, легирловчи элементлар миқдори ўртача бўлганда (329- расм, *а* диаграммада *3* ва *2* нуқталар оралиги) β- қаттиқ эритма α- қаттиқ эритмага қисман айланиб, қотишма таркибида мувозанат β- фаза ҳам бўлади, легирловчи элементлар миқдори бирор миқдордан ортиқ бўлса (329- расм, *а* диаграммада *1* нуқта ва ундан кейин), β- қаттиқ эритма α- қаттиқ эритмага айланмайди. Қотишма тез совитилганда таркибидаги легирловчи элементлар миқдори *2* нуқтагача бўлган қотишмаларда β- қаттиқ эритманинг α- қаттиқ эритмага айланиш процесси мартенсит типида боради, яъни α′- фаза ҳосил бўлади, таркибидаги легирловчи элементлар миқдори *2* нуқта билан *1* нуқта оралигида бўлган қотишмалар тобландан (тез совитилгандан) кейин уларда беқарор β- фаза

ҳосил бўлиб, қотишма қиздирилганда бу фаза ўзгариши мумкин, таркибидаги легирловчи элементлар миқдори *1* нуқтадан кейинга тўғри келадиган қотишмалар тоблангандан кейин уларда барқарор β- фаза ҳосил бўлади,



329- расм. Совитиш тезлигига ва легирловчи элемент миқдорига қараб, титан қотишмаларида структуралар ҳосил қилиш (А. П. Гуляев):

а — титанда исталганча эрийдиган ва $\beta \rightleftarrows \alpha$ ўзгаришни сусайтирадиган элементлар билан легирланган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси; *б* — интерметаллидлар ҳосил қиладиган ва $\beta \rightleftarrows \alpha$ ўзгаришни сусайтирадиган элементлар билан легирланган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси.

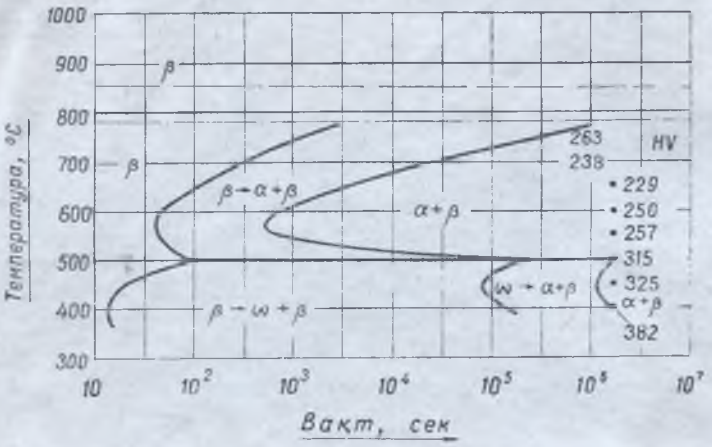
бинобарин, бу қотишмалар секин совитилганда ҳам, тез совитилганда ҳам уларнинг структурасида фарқ бўлмайди.

Интерметаллидлар ҳосил қиладиган ва $\beta \rightleftarrows \alpha$ ўзгаришни сусайтирадиган элементлар билан легирланган қотишмаларнинг ҳолат диаграммаси (329- расм, *б*). Таркибидаги легирловчи элементлар миқдори 329- расм, *б* диаграммадаги *3* нуқтагача бўлган қотишмалардан бошқа барча қотишмалар секин совитилганда β- қаттиқ эритмадан олдин α- қаттиқ эритма ёки ТiЭ таркибли интерметаллид ажралиб чиқиб, охирида α + ТiЭ ҳосил бўлади. Бу қотишмалар тез совитилганда $M_Б$ нуқтаси 0° дан юқорида бўлса, β- қаттиқ эритмадан мартенсит (α′- фаза) ҳосил бўлади, агар $M_Б$ нуқтаси 0° дан паст бўлса, беқарор β- қаттиқ эритма сақланиб қолади. Бинобарин, қотишмадаги легирловчи элементлар миқдорига ва қотишмани совитиш тезлигига қараб, β- қаттиқ эритма батамом α- қаттиқ эритмага айланиши, ортиқча α- фаза ажратиб чиқариб α + β га айланиши, эвтектоид типида парчаланиши (α + + ТiЭ га айланиши), мартенситга (α′- фазага) айланиши ва, ниҳоят, нормал температурада ўзгармай қолиши мумкин. β- қаттиқ эритма α- фазага ёки беқарор β- фазага айланганда қотишманинг структураси барқарор бўлмайди, яъни қотишма қиздирилганда бу фазалар ўзгаради. Қотишма чала совитилганда ҳам худди юқоридагиларга ўхшаш ўзгаришлар содир бўлади. Қотишма чала совитилганда унинг структурасида содир бўладиган ўзгаришларни β- фазанинг изотермик парчаланиш диаграммалари тарзида ифодалаш мумкин. Бундай диаграммаларга мисол қилиб, таркибида 8% молибден бўлган титан—молибден қотишмасидаги β- фазанинг изотермик парчаланиш диаграммасини келтириб ўтамиз (330- расм).

Диаграммадаги штрих-пунктир чизиқлар қотишма қиздирилганда (α + + β) нинг β га айланиш температуралари оралигини билдиради. Молибден

бу температурани пасайтиради (326- расмга қаранг). Титан—молибден қотишмаларида мувозанатдаги структура ($\alpha + \beta$) қаттиқ эритмалар бўлиб, улардан юқорида бир жинсли β- қаттиқ эритма туради.

Юқорида айтиб ўтилганидек, молибден қотишманинг мартенситга айлана бошлаш ва тамом айланиб бўлиш температурасини пасайтирганлигидан таркибида 8% Мо бўлган қотишмада $M_Б$ ва $M_Т$ нуқталар нормал темпе-



330- расм. Титан қотишмасидаги β- фазанинг изотермик парчаланиш диаграммаси

ратурадан пастда бўлади. Бинобарин, бундай қотишма тобланганда нормал температурада ўта совиган β- фаза сақланиб қолади.

500—300°С температурагача ўта совиган β- қаттиқ эритма парчаланиш вақтида оралиқ фаза (ω- фаза, яъни β′- фаза) ҳосил қилади, ω- фаза эса барқарор ($\alpha + \beta$)- қаттиқ эритмаларга айланади. β- фазанинг изотермик парчаланишидан ҳосил бўладиган маҳсулотларнинг қаттиқлиги (*HV*) диаграмманинг ўзида рақамлар билан кўрсатилган.

Титан қотишмаларини термик ишлаш. Титаннинг таркибида 3 дан 9% гача β- стабилизаторлар бўлган қотишмаларини тоблаш, сўнгра эса эскиртириш (чиниқтириш) йўли билан уларнинг пухталиги ва пластиклигини анча ошириш мумкин. Бундай қотишмаларни тоблаш учун улар ҳолат диаграммаларида ($\alpha + \beta$)- соҳага тўғри келадиган температураларгача қиздирилади, яъни α- фазанинг бир қисми β- фазага айлантирилади. Ана шу температураларгача қиздирилган қотишмалар тез совитилганда нормал температурада β- қаттиқ эритма (беқарор фаза) сақланиб қолади. β- қаттиқ эритмада дисперс α- фаза ҳосил бўлиши учун, тобланган қотишмалар 430—540°С температурада ω- фазанинг α- фазага батамом айланиши учун етарли вақт давомида тутиб турилади, бунда изотермик процесс содир бўлади (330- расмга қаранг). Эскиртириш температураси қанчалик юқори бўлса, тутиб туриш вақти шунчалик кам бўлади. Масалан, қотишмадаги ω- фазанинг α- фазага айланиши учун бу қотишмани 430°С да 48 соатгача 480°С да эса 8 соатгача тутиб туриш керак.

Юқорида кўриб ўтилганидек (330- расм), ω- фаза нормал температурадан 500°С гача бўлган температуралар оралигида беқарор β- фазадан ҳосил бўлади, ω-фаза жуда қаттиқ, аммо жуда мўртдир. Шунинг учун титан қотишмаларини термик ишлашнинг ω- фаза ҳосил бўлишига олиб борадиган режимларидан қочиш зарур. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, таркибида сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилувчи элементлар бор қотишмалар-

дагина ω-фаза хосил бўлади. Маълумки, ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қиладиган элементлар β —α ўзгаришни секинлаштиради ва қотишманинг «ω-мўртлашувга» мойиллигини пасайтиради.

Титан қотишмалари қиздириб туриб ёки совуқлайин босим билан ишлангандан кейин улар юмшатилади.

Титан қотишмаларига легирловчи элементларнинг таъсири. Энг кўп ишлатиладиган легирловчи элементлар алюминий, хром, молибден, ванадий, марганец, қалай ва сийрак-ер металларидир. Титан қотишмаларига ана шу элементларнинг қандай таъсир этиши билан танишиб чиқайлик.

Алюминий таъсири. Алюминий титан қотишмаларининг пухталигини, иссиқбардошлигини, ёйилувчанликка қаршилигини оширади, пластиклигини эса унча пасайтирмайди. Титан қотишмаларида, одатда, 5—6% алюминий бўлади. Аммо сўнгги йилларда ўтказилган тадқиқотлар таркибида 6% дан ортиқ миқдорда алюминий бўладиган қотишмалар ишлаб чиқариш мумкинлигини кўрсатди. Масалан, таркибида 36% Al бўлган титан қотишмалари 1000°С гача температураларда ҳам иссиқбардош бўлиши аниқланди. Аммо бу қотишманинг пластиклиги пастроқ бўлади. Таркибида 10% Al бўлган қотишма Nb билан легирланса, жуда яхши болғаланадиган, пайвандланадиган, 700—800°С температураларда иссиқбардошлик хоссалари юқори қотишма ҳосил бўлади.

Хром таъсири. Хром титан қотишмаларининг пухталигини, иссиқбардошлигини оширади ва уларни термик ишлаганда пухталанадиган қилади. Аммо бу қотишмалар юқори температураларда тутиб турилганда мўртлашади.

Молибден таъсири. Молибден титан қотишмаларининг иссиқбардошлик хоссасини оширади. Таркибида хром ва молибден бўлган қотишмаларнинг мўртлашувга мойиллиги пастроқдир.

Ванадий таъсири. Ванадий титан қотишмаларини пухталайди. Таркибида ванадий бўлган титан қотишмаларини термик ишлаб, уларнинг пухталик ва пластиклик хоссаларини яхшилаш мумкин.

Марганец таъсири. Марганец титаннинг алюминий билан легирланган қотишмаларини пухталаш учун қўшилади. Марганец титан қотишмаларининг пластиклигини пасайтирмайди, бинобарин, қотишмани босим билан ишлаб, листлар тайёрлаш мумкин бўлади.

Қалай таъсири. Қалай ҳам, худди ванадий каби, титан қотишмаларини пухталайди ва алюминийнинг ижобий таъсирини кучайтиради. Масалан, 2,5% қалай қўшилган қотишманинг иссиқбардошлиги икки баравар ошади, пластиклиги эса сақланиб қолади.

Сийрак-ер металларининг таъсири. Сийрак-ер металлари титан қотишмаларига жуда оз миқдорда қўшилади ва қотишманинг структурасини ҳамда механик хоссаларини яхшилайди. Тадқиқотларнинг кўрсатишига қараганда, лантан, церий, неодим ва иттрий қотишмадаги α-фазани барқарор ҳолатга келтиради. Титан қотишмаларига 0,001—0,01% церий қўшилса, уларнинг 500—600°С температуралардаги мустаҳкамлик чегараси 30% гача ошади, аммо пластиклиги пасаймайди.

Титан қотишмаларининг классификацияси. Тузилиши жиҳатидан олганда титан қотишмалари уч синфга бўлинади. Биринчи синфга асоси α-қаттиқ эритма бўлган қотишмалар, яъни α-қотишмалар, иккинчи синфга асоси (α+β)-қаттиқ эритмалар бўлган қотишмалар —(α+β)-қотишмалар, учинчи синфга эса асоси β-қаттиқ эритма бўлган қотишмалар, яъни β-қотишмалар киради. Ана шу қотишмаларни бирма-бир кўриб чиқайлик.

α-қотишмалар. Бу қотишмаларнинг пластиклиги унча катта эмас ва термик ишланганда мўртлашмайди. α-қотишмалар жумласига титан билан алюминий қотишмалари киради. α-қотишмаларнинг кислород ютишга мойиллиги титаннинг бошқа синфга оид қотишмаларникидан пастроқ. Бу қотишмалар саноатда камдан-кам ишлатилади.

(α+β)-қотишмалар. Бу қотишмалар титаннинг саноатда энг кўп ишлатиладиган қотишмаларидир, чунки улар титаннинг биринчи ва учинчи синфга кирувчи қотишмаларига қараганда пухтароқ бўлиб, яхши болғаланади, яхши штампланади ва термик ишланади. Термик ишлаш вақтида ω-фаза ҳосил бўлган тақдирдагина мўртлашади. (α + β)-қотишмалар пухталиги ва пластиклигининг юқори бўлиши β-қаттиқ эритмадан келиб чиқади, α-қаттиқ эритма эса титан билан сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилувчи зарарли элементларни эритади.

β-қотишмалар. Бу қотишмаларнинг пластиклиги энг юқори, аммо пухталиги энг пастдир. β-қотишмалар қиздирилганда фаза ўзгаришлари содир бўлмайди. Улар 700°С дан юқори температураларда газларни, жумладан кислородни осон ютиб, мўртлашади. β-қотишмалар саноатда ҳозирча ишлатилмайди.

Ватанимизда ишлаб чиқариладиган титан қотишмаларидан баъзиларининг маркаси ва химиявий таркиби 100-жадвалда, механик хоссалари ва узоқ вақт ишлаши учун тавсия этиладиган температураси эса 101-жадвалда келтирилган.

100-жадвал

Титан қотишмаларининг химиявий таркиби

Қотишманинг маркаси	Легирловчи элементларнинг ўртача миқдори, % ҳисобида									
	Al	Cr	Mo	Mn	Sn	V	Nb	Re	Fe	Zr
ВТ3	5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—
ВТ3-1	5	2,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—
ВТ4	4,5	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—
ВТ5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ВТ5-1	5	—	—	—	2,5	—	—	—	—	—
ВТ6	6	—	—	—	—	4	—	—	—	—
ВТ8	6,3	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—
ОТ4	3	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—
ОТ4-1	2	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—
ИРМ1	4	—	—	—	—	—	4	—	—	—
ИРМ2	4	—	—	—	—	—	4	0,1	—	—
ИРМ3	4	—	3,5	—	—	—	—	—	—	—
ИРМ4	3,5	—	3,5	—	—	—	—	0,1	—	—
ИРМ6	4	—	—	—	—	—	—	—	4,5	—
ИРМ7	5	—	3	—	—	3	—	—	—	1
ВТ9	6,3	—	3,3	0,3 Si	2,3	—	—	—	—	—
ВТ10	5,5	—	3,2 Cu	—	2,5	—	—	—	—	—
ВТ14	4	—	—	—	—	1,1	—	—	—	—

Титаннинг ВТ5 маркали қотишмасидан бошқа барча қотишмаларининг структураси икки фазали, ВТ5 маркали қотишманинг структураси эса α-фазалидир.

Титан қотишмалари солиштирма пухталиги жиҳатидан хром-никелли конструкцион пўлатдан ва жуда пухта зангламас пўлатдан ҳам устун туради.

Температура кўтарилган сари титан қотишмаларининг пухталиги пасая бошлайди, шунга қарамасдан, 450°С гача бўлган температуралар-

да титан қотишмаларининг солиштирма иссиқбардошлиги зангламас ва иссиқбардош пўлатларникидан юқорилигича қолаверади. Титаннинг температура кўтарилганда пухталигини энг оз камайтирадиган қотишмалари иссиқбардош қотишмалар деб аталади. Бундай қотишмалар жумласига, масалан, ВТ8 ва ВТ3 маркали қотишмалар киради.

Титан қотишмаларини химиявий-термик ишлаш. Титан қотишмаларининг пухталиги юқори бўлишига қарамай, ишқаланишга унча бардош бера олмайди, шу сабабли титан қотишмалари ишқаланувчи деталлар тайёрлаш учун ишлатилмайди. Титан қотишмаларининг ейилишга чидамлилигини ошириш учун улар химиявий-термик ишланади, яъни титан қотишмаларидан тайёрланган деталларнинг ишқаланадиган юза қатлами углерод ёки азот билан тўйинтирилади—цементитланади ёки азотланади.

Цементитлаш. Титан қотишмаларидан тайёрланган деталларнинг юза қатламини цементитлаш учун суюқлантирилган туз, масалан, калий цианиддан ёки газ муҳит, масалан, аргон билан углерод (II)-ок-

101- жадвал

Титан қотишмаларининг механик хоссалари

Қотишманинг маркаси	Механик хоссалари						Қуйидаги температуралардан юқори бўлмаган температураларда узоқ вақт ишлаши мумкин, °С
	σ_b, кГ/мм²	$\sigma_{ок}$, кГ/мм²	E, кГ/мм²	δ, %	ψ, %	$a_н$, кГм/см²	
ВТ3	105	95	11000	13	32	4,5	350
ВТ3-1	107	97	11500	13	32	4,5	500
ВТ4	85	75	11500	18	25	—	—
ВТ5	87	77	10400	18	37	4,5	400
ВТ5-1	82	78	—	16	48	6,9	—
ВТ6	95	85	11300	10	37	6	400
ВТ8	111	102	11000	12	42	4,5	550
ОТ4	77	60	11500	27	40	5	—
ИРМ1	90	76	11670	17	50	8,5	—
ИРМ2	93	89	—	11	43	5,5	—
ИРМ3	87	73	—	14	54	8,5	—
ИРМ4	91	84	—	10	52	9,5	—
ИРМ6	117	—	—	14	32	5	—
ИРМ7	110	—	—	10	58	5	550
ВТ9	122	—	12000	12	35	4	500
ВТ10	110	—	—	—	—	—	—

Эслатма. Механик хоссаларининг ўртача қийматлари берилган.

сид аралашмасидан фойдаланилади. Суюқлантирилган калий цианиддан фойдаланилганда деталь 820—870°С ли ваннада 5 соат тутиб турилади, бунда углеродга тўйинган қатламнинг қалинлиги 0,012 *мм* га, қаттиқлиги эса Виккерс бўйича 620—650 бирликка етади. Аргон билан углерод (II)-оксиддан фойдаланилганда деталь 950—1050°С ли камерада 5 соат чамаси тутиб турилади, натижада, углеродга тўйинган қатлам қалинлиги 0,1 *мм* га, қаттиқлиги *HV* эса 620—650 бирликка етади.

Азотлаш. Титан қотишмаларидан тайёрланган деталларнинг юза қатламини азотлаш энг яхши самара беради. Азотлашнинг икки усулидан фойдаланилади. Биринчи усул диссоциланган аммиакда азотлаш

усули бўлса, иккинчиси тоза азотдан фойдаланиш усулидир. Деталь 870°С температурали азотда 16 соат тутиб турилса, азотга тўйинган қатламнинг қалинлиги 0,06—0,07 *мм* га, юза қатламнинг қаттиқлиги эса Виккерс бўйича 1000—1200 бирликка етади.

10-§. АТОМ ЭНЕРГЕТИКАСИДА ИШЛАТИЛАДИГАН МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАР

Атом энергетикаси материалларини учта асосий группага: конструкцион материаллар группаси, ядро ёқилғилари группаси ва иссиқлик ташувчилар группасига бўлиш мумкин. Атом установкалари (реактор ва бошқалар) тайёрланган металл ёки қотишмаларга элементар заррачалар таъсир этади. Бу заррачаларнинг қандай таъсир этишини кўриб чиқайлик.

Элементар заррачаларнинг таъсири. Атом установкалари тайёрланган металл ёки қотишмаларга шу установкаларнинг ишлаш жараёнида ҳосил бўладиган элементар заррачалар (нейтронлар, протонлар, дейтронлар, γ- заррачалар, электронлар, α- заррачалар ва бошқалар) металл ичига кириб боради-да, металлнинг хоссаларини ўзгартириб юборади. Ҳар хил заррачаларнинг таъсири турлича бўлади. Элементар заррачаларнинг бу таъсири уларнинг зарядига, энергия запасига ва массасига боғлиқдир. Элементар заррачалар таъсири остида металл кристалл панжарасининг тугунларидан атомлар уриб чиқарилади ва кўплаб иссиқлик ажралиб чиқадиган соҳалар, яъни термик чўққилар ҳосил бўлади.

Реакторларда ядроларнинг парчаланиши натижасида ҳосил бўладиган тез учар нейтронларнинг энергияси каттадир, бинобарин, реактор ясалган металл ёки қотишмага бу заррачалар энг кучли таъсир этади. Нейтронлар нейтрал заррачалар бўлганлигидан улар электронлар билан ҳам, протонлар билан ҳам ўзаро таъсир этмай, металлнинг кристалл панжараси ичига чуқур кириб боради-да, панжарада батартиб жойлашган атомларни уриб чиқаради, уриб чиқарилган атомлар эса ўз йўлида учраган бошқа атомларни қўзғатади. Назариянинг кўрсатишига қараганда, тез учар битта нейтрон, масалан, алюминийда 300 га яқин атомнинг қўзғалишига (уриб чиқарилишига) сабаб бўла олади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, кристалл панжарада батартиб жойидан уриб чиқарилган атомлар ўрнида вакансиялар (бўш жойлар) ҳосил бўлади, уриб чиқарилган атомларнинг ўзи эса атомлар оралигига ўтади, яъни оралик атомлар бўлиб қолади. Оралик атомлар кристалл панжаранинг бир элементар катагида бўлиши мумкин, бунда вакансия — силжиш жуфти ҳосил бўлади. Оралик атом қўшни атомлардан бирини силжитиши ҳам мумкин, бунда симметрик жойлашган икки атомдан иборат группа ҳосил бўлади.

Тез учар нейтронлар энергиясининг бир қисми айрим группа атомларни эластик тебранма ҳаракатга келтириш учун сарф бўлади, бу эса кичикроқ бир ҳажмда температуранинг кўтарилиб кетишига сабаб бўлади. Температура кўтарилгандан кейин эса, иссиқ ўтказувчанлик туфайли, иссиқлик тез сочилади, натижада металлнинг (қотишманинг) айни ҳажми тобланиб қолади, бунинг оқибатида ҳам кристалл панжара кучли даражада бузилади.

Вакансиялар ва оралик атомлар ё металлнинг сиртига чиқиши ёки дислокацияларга томон силжиб, улар атрофида «Коттрел атмосфералари» ҳосил қилиши мумкин. «Коттрел атмосфералари» эса эркин энергия запасини камайтириб, дислокацияларнинг силжишига тўсқинлик қилади, натижада металл ёки қотишманинг қаттиқлиги билан пух-

талиги ортиб, пластиклиги билан қовушоқлиги пасаяди. Масалан, **учар нейтронлар** таъсири остида углеродли оддий пўлатларнинг пух лиги тахминан 2 баравар ошади, пластиклиги билан қовушоқлиги эс шунча пасаяди.

Наклёпланган ёки тобланган металлар (қотишмалар)нинг кристалл панжарасида нуқсонлар юмшатилган металл (қотишмалар)никига қараганда кўп бўлади, ана шу нуқсонларни кристалл панжарада элементар заррачалар таъсири остида ҳосил бўладиган нуқсонлар йўқотади, шунинг учун, наклёпланган ёки тобланган металл ёки қотишмаларга элементар заррачаларнинг таъсиридан келиб чиқадиган эффект юмшатилган металл ёки қотишмаларга таъсиридан келиб чиқадиган эффектга қараганда кам бўлади. Бундан ташқари, температура кўтарилган сари металл ва қотишмаларга элементар заррачаларнинг таъсир этиш эффекти пасаяди, рекристалланиш температурасидан юқори температураларда эса элементар заррачалар (тез учар нейтронлар) таъсири, амалда, эффект бермайди.

Металлга тез учар нейтронлар таъсир этганда шу металл атоми ядросининг бўлиниши ёки нейтрон қамраб олиши натижасида янги элемент атомлари ҳосил бўлиши ҳам мумкин. Бинобарин, тез учар нейтронлар металлга узоқ вақт таъсир этса, бу металл қотишмага айлана олар экан.

Элементар заррачалар таъсир этган металл ёки қотишманинг физик хоссалари, масалан, зичлиги, магнит хоссалари ва электр қаршилиги ҳам ўзгаради. Ниҳоят, металл ёки қотишмага нейтронлар таъсир этганда шу металл ёки қотишма радиоактив бўлиб қолади, бу эса инсон соғлиги учун хавфлидир.

Конструкцион материаллар. Атом энергетикасида ишлатиладиган материалларда пухталик, иссиқбардошлик, коррозиябардошлик хоссалари ва техниканинг ўзга соҳаларида талаб этиладиган бошқа хоссалардан ташқари, иссиқлик нейтронларини (паст энергияли, яъни ҳаракатланиш тезлиги молекулаларнинг иссиқликдан ҳаракатланиш тезлигига яқин келадиган нейтронларни) ютга олиш хоссаси ҳам бўлиши керак. Металларнинг иссиқлик нейтронларини ютиш хусусияти уларни қамраш кўндаланг кесими билан характерланади ва барн* ҳисобида ифодаланади. Баъзи металларнинг иссиқлик нейтронларини ютиш хусусияти ва суюқланиш температураси 102-жадвалда келтирилган.

102-жадвал

Металлар / Хоссалари	Be	Mg	Zr	Al	Fe	Ni	Hf	B	Cd
Иссиқлик нейтронларини қамраш кўндаланг кесими, барн ҳисобида	0,01	0,06	0,18	0,23	2,4	4,5	115	720	2400
Суюқланиш температураси, °С ҳисобида	1282	651	1860	657	1539	1453	2230	2075	321

Атом энергетикаси учун қамраш кўндаланг кесими катта металлар ҳам, қамраш кўндаланг кесими кичик металлар ҳам зарур.

Қамраш кўндаланг кесими катта металлардан ядро реакторларида нейтронлар таъсиридан сақловчи экранлар тайёрлашда фойдаланилади.

* 1 барн $=10^{-24}$ $см^2$.

дай металлар жумласига, масалан, кадмий, бор ва гафний киради. Аммо бу металлар қўйилган талабларнинг ҳаммасига ҳам жавоб бера олавермайди ёки анча қиммат туради. Масалан, кадмийнинг қамраш кўндаланг кесими энг катта бўлганлиги билан, унинг суюқланиш температураси юқори эмас (102-жадвалга қаранг). Бу жиҳатдан олганда бор (В) талабни бирмунча қондиради, аммо механик хоссалари паст бўлганлигидан у атом энергетикаси қотишмаларини легирловчи элемент сифатидагина ишлатилади. Энг маъқул металл гафнийдир, лекин тоза гафний ажратиб олиш ниҳоятда қийин бўлганлигидан у жуда қимматга тушади. Қамраш кўндаланг кесими кичик металлар сув билан совитиладиган паст температурали реакторларнинг иссиқлик чиқарувчи элементлари ва трубаларини қоплаш учун ишлатилади. Бундай металлар жумласига, масалан, бериллий, магний, цирконий ва алюминий киради. Бу металларнинг қотишмалари ҳам қамраш кўндаланг кесими кичик материаллардандир. Магний билан алюминийнинг суюқланиш температураси нисбатан паст бўлганлигидан реакторлар учун конструкцион материаллар сифатида, кўпгина ҳолларда, ярамай қолади, бу мақсадларда бериллий ва цирконий ишлатилади.

Бериллий. Бериллий (Be) кумуш ранг тусдаги металл бўлиб, унинг икки хил аллотропик шакл ўзгариши маълум. Булардан бири α-бериллий бўлса, иккинчиси β-бериллийдир. α-бериллийнинг кристалл панжараси ҳам, β-бериллийнинг кристалл панжараси ҳам гексагонал системада, аммо уларнинг параметрлари бир-биридан фарқ қилади. α-бериллий кристалл панжарасининг параметрлари: $a = 2{,}286$ Å, $c = 3{,}588$ Å, β-бериллий кристалл панжарасининг параметрлари: $a = 6{,}93$ Å, $c = 11{,}35$ Å. Бериллий атомининг радиуси 1,13 Å га баравар. α-бериллийнинг β-бериллийга айланиш температураси 500°С га яқин. Техникавий бериллий мўрт, қаттиқ ва пухта металл бўлиб, унинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_ь = 300$ *Мн/м²* (30 *кГ/мм²*), нисбий узайиши $\delta = 1 - 2\%$. Бериллийнинг ҳавода коррозия бардошлиги юқори, чунки унинг сирти бериллий оксид (BeO) дан иборат юпқа парда билан қопланиб қолади, аммо юқори температураларда кислород ва азот билан осон бирикади. Бериллийнинг бирикмалари, чанги ва тутуни заҳарлидир.

Бериллийнинг қамраш кўндаланг кесими кичик, суюқланиш температураси юқори, сусайтириш коэффициенти катта бўлганлигидан, у атом энергетикасида конструкцион материал сифатида сусайтиргичлар ва қайтаргичлар учун ишлатилади. Бу мақсадда бериллийнинг оксид, карбид ва гидридларидан ҳам фойдаланса бўлади, чунки қамраш кўндаланг кесими элементнинг қандай ҳолатда бўлишига боғлиқ эмас.

Бериллий α-заррачалар билан бомбардимон қилинганда нейтронлар чиқаради, шунинг учун у тез учар нейтронлар манбаи (атом ёқилғиси) сифатида ҳам ишлатилиши мумкин.

Бериллий рентген найларининг «дарчалари» учун, мис, никель, алюминий, камдан-кам ҳолларда эса темир қотишмаларига оз миқдорда қўшиш (уларни легирлаш) учун ҳам ишлатилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, рудалардан бериллий ажратиб олиш ва уни тозалаш қийин бўлганлиги учун у анча қиммат туради, бу эса бериллийдан кенг кўламда фойдаланишга имкон бермайди. Ҳозирги вақтда бериллий ўрнига ундан анча арзон турадиган элемент—цирконий муваффақият билан ишлатилмоқда.

Цирконий. Маълумки, реакторда нейтронлар кам исроф бўлиши керак, нейтронларнинг исроф бўлиш даражаси эса конструкцион мате-

риалнинг нейтронлар қамраш кўндаланг қисмига боғлиқ, яъни қамраш кўндаланг кесими қанчалик кичик бўлса, нейтронлар исрофгарчилиги шунчалик кам бўлади. Қамраш кўндаланг кесимининг кичиклиги жиҳатидан цирконий атом энергетикаси металлари ичида бериллийдан кейин иккинчи ўринда туради (102-жадвалга қаранг). Бинобарин, атом установкаларининг иссиқлик чиқарувчи элементлари ва трубаларини қоплаш учун цирконийдан муваффақиятли равишда фойдаланса бўлади. Цирконийнинг қамраш кўндаланг кесими кичик бўлиши билан бирга, суюқланиш температураси, пластиклиги ва коррозиябардошлиги юқоридир.

Цирконийнинг иккита аллотропик шакл ўзгариши бор. Булардан бири α-цирконий бўлса, иккинчиси β-цирконийдир. α-цирконийнинг кристалл панжараси атомлари тиғиз жойлашган гексагонал панжара (Г12), β-цирконийники эса ҳажми марказлашган куб панжара (К8) дир. α-цирконийнинг β-цирконийга, β-цирконийнинг эса α-цирконийга айланиш температураси 862 С га тенг. Жуда тоза цирконий юмшоқ ва пластик металл бўлиб, нисбий узайиши $\delta = 12 - 15\%$. Умуман олганда, техникавий цирконийнинг механик хоссалари, металлнинг тозалигига, структура ҳолатига ва бошқа сабабларга қараб, қуйидаги чегараларда бўлади: $\sigma_в = 200 - 400$ *Мн/м²* (20—40 *кГ/мм²*), $\sigma_{оқ} = 50 - 200$ *Мн/м²* (5—20 *кГ/мм²*), $\delta = 20 - 40\%$, $HB = 30 - 60$. Цирконийга легирловчи элементлар қўшилганда унинг пухталиги ортади, аммо пластиклиги пасаяди. Масалан, цирконийнинг мустаҳкамлик чегараси $\sigma_в = 800 - 1000$ *Мн/м²* (80—100 *кГ/мм²*), нисбий узайиши $\delta = 3 - 5\%$ бўлган қотишмалари маълум.

0,5—1% қалай, 0,2% темир, 0,3% никель ва қолгани цирконийдан иборат қотишма *циркаллой* деб, 0,3% қалай, 0,1% никель, 0,1% ниобий ва қолгани цирконийдан иборат қотишма *оженнит* деб аталади. Циркаллой ва оженнит типидаги қотишмалар цирконийнинг жуда пухта ва коррозиябардош қотишмалари жумласига киради.

Цирконийнинг коррозиябардошлик хоссаси унда қўшимчалар борйўқлигига кўп даража боғлиқдир. Масалан, цирконийга жуда оз миқдорда (процентнинг юздан бир улушлари миқдорида) углерод ва азот қўшилиб қолса, цирконийнинг коррозиябардошлиги пасайиб кетади. Аммо баъзи элементлар, масалан, ниобий углероднинг, баъзи элементлар, масалан, қалай эса азотнинг зарарли таъсирини йўқотади.

Техникавий цирконийга, одатда, 2% чамаси гафний аралашган бўлади. Гафнийнинг қамраш кўндаланг кесими цирконийникидан кўп даража юқоридир (102-жадвалга қаранг). Шу сабабли цирконийни гафнийдан тозалаш зарур бўлади. Цирконий Д. И. Менделеевнинг элементлар даврий жадвалида гафний билан бир группада турганлиги ва уларнинг химиявий хоссалари бир-бирига яқин бўлганлиги учун цирконийни гафнийдан тозалаш жуда қийин ва тозалаганда ҳам цирконий анча қимматга тушади. Техникавий цирконий атом энергетикасидан бошқа соҳаларда ишлатиладиган бўлса, уни гафнийдан тозаламаса ҳам бўлади, чунки цирконийнинг механик ва химиявий хоссаларига гафний унча таъсир этмайди.

Техникавий цирконий металлургияда легирланган конструкцион пўлатларни, мис қотишмаларини, магний қотишмаларини ва рангдор бошқа қотишмаларни легирлаш учун, хирургияда эса газларни ютувчи модда (геттер) сифатида ҳам ишлатилади.

Оралик ва тез учар нейтронларда ишлайдиган реакторларнинг деталлари қўшимча равишда бор (В) билан легирланган хром-никелли занглamас пўлатдан тайёрланади.

Ядро ёқилғиларн. Атом энергияси ишлаб чиқаришда ядро ёқилғиси сифатида ишлатиладиган асосий металлар уран (U), плутоний (Pu) ва торий (Th) дир. Плутоний ер қобиғида бўлмайди. У сунъий элемент бўлиб, уранни тез учар нейтронлар билан бомбардимон қилиш орқали олинади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, табиатда учрайдиган торий металининг ўзи бўлинувчи материал эмас, шунинг учун у ядро ёқилғиси бўла олмайди. Аммо торий тез учар нейтронлар билан бомбардимон қилинганда ураннинг U^{238} изотопига айланади, ураннинг бу изотопи эса ядро ёқилғисидир. Бинобарин, торийни ядро ёқилғиси манбаи деб аташ тўғрироқ бўлади.

Уран. Бир қатор хоссалари жиҳатидан уран Д. И. Менделеев жадвалининг VI группасига киритилиши мумкин, аммо энг янги тадқиқотларнинг кўрсатишича, уни даврий системанинг III группасига оид актинидлар (актиноидлар) жумласига киритиш ҳам мумкин. Ураннинг даврий жадвалдаги тартиб номери 92 га тенг бўлиб, кумуш каби ялтирайдиган, 1133°C да суюқланадиган, 3500°C да қайнайдиган, солиштирма оғирлиги 18,3 га, атом оғирлиги эса 238,03 га тенг металлдир. Қуйма ураннинг қаттиқлиги $HB = 200—220$, мустақиллик чегараси $\sigma_b \approx 360$ *Мн/м²* (36 *кГ/мм²*), оқувчанлик чегараси $\sigma_{оқ} \approx 230$ *Мн/м²* (23 *кГ/мм²*), пропорционаллик чегараси $\sigma_p = 20$ *Мн/м²* (2 *кГ/мм²*). Ураннинг солиштирма электр қаршилиги темирникидан тахминан 8 баравар юқори.

Рудалардан ажратиб олинадиган уран иккита изотоп — U^{238} ва U^{235} изотоплар аралашмасидир; бу аралашмада U^{238} 99,3% ни, U^{235} эса 0,7% ни ташкил этади. U^{235} нейтронлар билан бомбардимон қилинганда унинг ядроси парчаланиб, ғоят катта энергия ажралиб чиқади. U^{238} изотоп нейтронлар билан бомбардимон қилинганда парчаланмай, нейтронларни қамраб олади-да, U^{239} изотопга айланади, бу изотоп эса β- заррача йўқотиб, нептуний (Np) га, нептуний ҳам яна бир β- заррача йўқотиб, плутоний (Pu) га айланади. Бинобарин, ураннинг табиий изотоплари ичида U^{235} изотопи ядро ёқилғисидир.

Уран одатдаги температурада ҳавода секин оксидланади, аммо озроқ қиздирилди дегунча ўт олиб кетади.

Ураннинг учта аллотропик шакл ўзгариши бор. Булардан бири α- уран, иккинчиси β-уран, учинчиси эса γ-уран; α-ураннинг кристалл панжараси орторомбик, β-уранники тетрагонал, γ-уранники эса ҳажми марказлашган куб панжарадир. α-уран 662°C гача барқарор бўлиб, ундан юқори температурада β-уранга айланади, β-уран 662 дан 772°C гача барқарор бўлиб, температура 772°C дан ортганда γ-уранга айланади.

α- уран билан β- уран хоссалари жиҳатидан анизотроп бўлиб, γ- уран изотропдир. Хоссаларининг анизотроплиги α- ураннинг монокристалида айниқса кучли ифодаланган. Масалан, α- уран монокристали қиздирилганда у бир йўналишда кенгайса (чизиқли кенгайиш коэффициенти $22 \cdot 10^{-6}$), иккинчи йўналишда тораяди (чизиқли кенгайиш коэффициенти $1{,}5 \cdot 10^{-6}$).

Ураннинг рекристалланиш температураси 450°C чамасидадир. Бинобарин, уранни 450°C гача бўлган температураларда босим билан ишлашни совуқлайин деформациялаш деса бўлади. Уран прокатланганда, айниқса, совуқлайин прокатланганда унинг кристалларининг жуда кўпчилиги бир йўналишда жойлашади ва ураннинг хоссалари синаш йўналишига кўп даража боғлиқ бўлади. Агар прокатланган уран 662°C дан (α- ураннинг β- уранга айланиш температурасидан) юқори температурагача қиздирилса, кристалларининг бир йўналишда жойлашуви бузилади, натижада хоссаларнинг анизотроплиги жуда пасайиб кетади.

Торийнинг атом оғирлиги 232,05 га, солиштирма оғирлиги 11,5 га, суюқланиш температураси 1800°С га, қайнаш температураси эса 5200°С га тенг.

Торийнинг иккита аллотропик шакл ўзгариши бор. Булар α- торий билан β- торидир. α- торий 1400°С гача, β- торий эса 1400 дан 1800°С гача мавжуд бўлади. α- торийнинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган куб (К12) бўлиб, β- торийники ҳажми марказлашган куб (К8) дир.

Торий кристаллари хоссаларининг анизотропияси уран кристаллари хоссаларинiки каби кучли эмас, шунинг учун торий қиздирилганда унинг ўлчамлари уранникидан анча кучсиз ўзгаради.

Иссиқлик ташувчилар. Ядро ёқилғисидан иссиқлик куч установкаларига иссиқлик узатувчи материаллар *иссиқлик ташувчилар* деб аталади. Иссиқликни активроқ узатиш учун, иссиқ ўтказувчанлиги сув ёки газларникига қараганда анча юқори бўлган осон суюқланувчи металлар ёхуд металл қотишмалари ишлатилади. Иссиқлик ташувчилар сифатида, асосан. висмут ёки 55,5% висмут ва 44,5% қўрғошиндан иборат қотишма, натрий ёки 56% натрий ва 44% калийдан иборат қотишма ишлатилади.

Иссиқлик ташувчи сифатида қандай металл ёки қандай қотишмадан фойдаланиш кераклиги реакторнинг типига боғлиқ бўлади. Масалан, баъзи тип реакторларда ишлатиладиган иссиқлик ташувчи материал таркибида эриган ҳолатдаги уран (ядро ёқилғиси) бўлиши шарт, шу сабабли бундай реакторлар учун иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиладиган металл паст (амалда 500°С дан паст) температурада суюқланибгина қолмасдан, балки уранни эрита оладиган бўлиши ҳам керак. Висмут ана шундай металлдир. Висмутнинг суюқланиш температураси 271°С бўлиб, ўзида 500°С температурада 0,9% уранни эритади; бундан ташқари, висмутнинг иссиқлик нейтронлари қамраш кўндаланг кесими ҳам катта эмас (0,03 барнга тенг).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, тоза висмут анча қиммат туради, шу сабабли тоза висмут ўрнига Bi — Pb системасидаги эвтектика, яъни 55,5% Bi билан 44,5% Pb дан иборат қотишма ишлатса ҳам бўлади, чунки бу қотишманинг суюқланиш температураси висмутникидан ҳам паст (125°С), унинг уранни эритиш хоссаси бир қадар пастроқ, нейтронларни ютиш хусусияти юқорироқ бўлса ҳам улар нормадан ортиб кетмайди.

Суюқланган висмут ёки висмут билан қўрғошин қотишмаси иссиқ алмаштиргич трубаларининг деворлари билан ўзаро таъсир этади. Суюқланган висмут ёки суюқланган Bi — Pb қотишмаси таъсирига ҳар хил металларнинг чидамлилиги турлича бўлади. Масалан, платина, марганец ва никель бунга мутлақо чидамайди, мис 400°С температурагача бир оз чидаб, температура 400°С дан кўтарилганда мутлақо чидамайди, алюминий 300°С дан сал юқори температурагача чидаб, ундан юқори температурада чидамайди. Бериллий билан молибден 1000°С температурагача, хром билан темир, шунингдек, углеродли пўлат 750°С температурагача барқарор бўлади. Х27 ва Х18Н9Т маркали легирланган пўлатлар ўз барқарорлигини тахминан 500°С гача сақлаб туради ва ҳоказо. Бинобарин, суюқланган висмут ёки Bi — Pb қотишмаси муҳитида ишлайдиган иссиқ алмаштиргич трубалари ясаш учун энг маъқул материал бериллий, молибден, темир ва углеродли пўлатдир.

Реакторда ядроларнинг парчаланиши натижасида чиқадиган иссиқликни тез чиқариб туриш учун енгил металлардан фойдаланилса, анча самарали бўлади, чунки уларнинг буғланиш яширин иссиқлиги анча юқори, буғининг эластиклиги анча паст, иссиқ ўтказувчанлик коэффи-

циенти анча юқори бўлганлигидан, иссиқлик хоссалари жиҳатидан сувга қараганда кўп даража устун туради. Бундай металлар жумласига литий, натрий, калий ва рубидий киради.

Ҳозирги вақтда атом реакторларида юқорида айтиб ўтилган металлардан натрий ва калий ишлатилади. Натрийдан тоза ҳолда ҳам, калий билан қотиштирилган ҳолда ҳам фойдаланилади. 56% натрий ва 44% калийдан иборат қотишма нормал температурада ҳам суюқ ҳолатда бўлади. Бу эса техника жиҳатидан бирмунча қулайлик туғдиради.

Натрийнинг суюқланиш температураси 97,7°С га, қайнаш температураси 890°С, буғланиш иссиқлиги 1005 *ккал/кГ*, буғининг эластиклиги 600—800°С температураларда 400 *мм сим. уст.*, иссиқ ўтказувчанлик коэффициенти 100—200°С температураларда 75 *ккал/м · с · град*, солиштирма оғирлиги эса 0,97 га тенг. 56% Na билан 44% К дан иборат қотишманинг иссиқ ўтказувчанлик коэффициенти тоза натрийникидан бир қадар кичикдир.

Ҳар хил металларнинг суюқланган натрийнинг ва суюқланган Na—К қотишмасининг таъсирига бардош бериш хусусияти турличадир. 800°С температурагача бу муҳит таъсирига батамом бардош берадиган материаллар никель, хром, молибден, темир, хром-никелли зангламас пўлат ва цирконийдир, хромли зангламас пўлат ва титан 600°С чамаси температурагача бардош беради. Аммо техниканинг ҳозирги ҳолатига кўра бу мақсадда талаб этиладиган барча хоссаларга етарли даражада эга бўлган материаллар аустенит синфига оид зангламас пўлат билан цирконийдир.

Иссиқлик ташувчи сифатида ишлатиладиган натрий ҳам, натрий билан калий қотишмаси ҳам кислороддан яхшилаб тозаланиши керак, чунки натрийда эриган кислород иштирокида ҳар хил металларнинг, айниқса темир қотишмаларининг суюқланган натрий ва суюқланган Na—К қотишмаси таъсирига бардош бериш хусусияти пасайиб кетади.

11-§. КУКУН ҚОТИШМАЛАРИ

Металларнинг кукунларидан тайёрланадиган қотишмалар *кукун қотишмалари* деб аталади. Металлургиянинг бундай қотишмалар ишлаб чиқарувчи соҳаси *кукун металлургияси* дейилади. Металларнинг кукунлари билан металлоидларнинг (металлмасларнинг) кукунларидан ҳам қотишмалар тайёрлаш мумкин. Бундай қотишмаларга *металлокерамик қотишмалар* деган ном берилган.

Кукун қотишмаларидан, шунингдек, металлокерамик қотишмалардан буюмлар ишлаб чиқариш процесси қуйидагилардан иборат: дастлаб, металларнинг ёки металл билан металлоидларнинг майин кукунлари ҳосил қилинади, бу кукунлар тегишли нисбатда бир-бири билан қоришгирилади, қоришма штампларга солиниб, прессланади-да, сўнгра суюқланиш температурасидан бир оз паст температурада қовуштирилади. Бу усулни биринчи бўлиб, рус инженерларидан П. Г. Соболевский, В. В. Любарский, Англияда эса Воластон топган эдилар.

Бу усулда хилма-хил шаклли, жуда аниқ ўлчамли буюмлар ҳосил қилиш мумкин бўлади, бунда буюмларни металл кесиш станокларида ишлашга ҳожат қолмайди. Бу усул қийин суюқланадиган металлар, масалан, вольфрам, молибден, титан ва бошқалар олиш ва улардан буюмлар тайёрлашга ҳам имкон берадики, бу ҳозирча бирдан-бир усулдир.

Кукун металлургияси қуйидаги асосий соҳаларни: а) кесувчи асбоблар, штамплар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатиладиган қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқариш, б) ўз-ўзидан мойланувчи ғовак подшип-

никлар ишлаб чиқариш, в) машина ва механизмлар учун мураккаб шаклли майда деталлар ишлаб чиқариш, г) қийин суюқланувчи металл ва қотишмалар ҳамда улардан буюмлар ишлаб чиқариш, д) электротехника ва радиотехника учун алоҳида хоссаларга эга деталлар ишлаб чиқариш, ж) суюқ ҳолатда бир-бирида эримайдиган компонентлардан псевдоқотишмалар ишлаб чиқариш соҳаларини ўз ичига олади.

Кесувчи асбоблар, штамплар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатиладиган қаттиқ қотишмалар юқорида (333-бет) кўриб чиқилган эди, шунинг учун уларга бу ерда тўхталиб ўтирмаймиз.

Антифрикцион кукун қотишмалари ва улардан тайёрланадиган буюмлар. Кукун металлургияси усулларидан фойдаланиб, қуйиш йўли билан ҳосил қилиш мумкин бўлмайдиган антифрикцион қотишмалар ҳам ҳосил қилиш мумкин. Бундай қотишмалар жумласига ғовак антифрикцион қотишмалар киради. Антифрикцион кукун қотишмалари қора металларнинг кукунларидан ҳам, рангдор металларнинг кукунларидан ҳам тайёрланиши мумкин. Бу қотишмалардан автомобиль двигателларининг поршень ҳалқалари, ўз-ўзидан мойланадиган подшипниклар ва машиналарнинг ишқаланувчи бошқа деталлари ясалади. Ғовак антифрикцион қотишмалардан ясалган подшипник ёки вкладиш ғовакларига минерал мой сингдирилади. Подшипникнинг ишлаш жараёнида температура кўтарилиб, сингдирилган мой ғоваклардан чиқади-да, ишқаланишни камайтиради, натижада, ишқаланувчи юзалар ғажилмайди. Подшипник ишлашдан тўхтагач у совийди, мой эса яна ғовакларга шимилади. Шундай қилиб, ғовак подшипниклар узоқ вақт ишлаши мумкин экан. Бинобарин, бундай подшипникларни ўз-ўзидан мойланадиган подшипниклар деб атасак бўлади.

Ишқаланувчи юзаларнинг бир-бирида сирпанишини яхшилаш учун металл кукунларидан иборат антифрикцион материалга графит ҳам қўшилади.

Темир кукунларидан ясалган антифрикцион материалнинг ғоваклиги 10 дан 30% гача етади; темир — графит, бронза — графит кукунларидан ясалган антифрикцион қотишмаларнинг ғоваклиги эса 20—30% бўлади. Бундан ташқари, темир — мис, темир — мис — графит, алюминий — темир — графит, алюминий — мис — графит ғовак подшипниклари ҳам тайёрланади.

Темир кукунларидан ва темир — графит кукунларидан тайёрланган ғовак подшипникларда ишқаланиш коэффициенти баъзи баббитларникидан 2—3 марта кичик бўлиб, ейилиш даражаси қарийб 10 баравар камдир. Ғовак подшипникларнинг камчилиги шуки, уларнинг пухталиги нисбатан паст бўлади, шунинг учун, ғовак подшипникларни катта нагрузка тушадиган жойларда ишлатиб бўлмайди.

Қийин суюқланувчи металлар ва оғир қотишмалар ҳамда улардан тайёрланадиган буюмлар. Кукун металлургияси усуллари суюқланиш температураси юқори бўлган металлар — вольфрам, молибден, титан, тантал, ниобий ва бошқа металлар олишга ҳам имкон беради. Бунинг учун шу металларнинг оксидлари водород оқимида қайтарилиб, кукун ҳолидаги тоза металлар олинади. Сўнгра кукун ҳолидаги металлар прессланиб, брикетлар ҳосил қилинади, бу брикетлар эса маълум температурагача қиздирилиб қовуштирилади. Қовуштирилган металл икки электрод орасига ўрнатилиб, электр токи билан қиздирилади. Шундан кейин болғаланади ёки прокатланади.

Қийин суюқланувчи металлар электр лампаларининг толалари, электр печларининг қиздириш элементлари тайёрлаш, ҳар хил қотишмаларни легирлаш ва бошқалар учун ишлатилади. Электр лампалари-

нинг толалари тайёрлаш учун ишлатиладиган қийин суюқланувчи металларга юқори температурада доналарининг йириклашувига йўл қўймайдиган модда, масалан, торий оксиди қўшилади.

Кукун металлургияси усулидан фойдаланиб, оғир қотишмалар деб аталадиган қотишмалар ҳам тайёрланади. Бундай қотишмалар 80—90% W, 15—7,5% Ni ва 5—2,5% Cu дан иборат бўлади. Оғир қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги 16,3—17, механик хоссалари эса юқори бўлиб, кичик жойдаги посангилар, радиоактив материаллар сақланадиган яшиклар ва бошқалар тайёрлаш учун ишлатилади.

Электротехника ва радиотехника кукун қотишмалари ва улардан тайёрланадиган буюмлар. Кукун қотишмаларининг электротехника ва радиотехникадаги аҳамияти ҳам ғоят каттадир, чунки уларнинг физикавий хоссалари бошқа металл ва қотишмаларникидан афзал туради.

Электротехника ва радиотехникада ишлатиладиган кукун қотишмалари жумласига, масалан, пермаллой (темир — никель қотишмаси) кукунидан, электролитик темир кукунидан, альни (темир — алюминий — никель қотишмаси) кукунидан, альнико (темир — алюминий — никель — кобальт қотишмаси) кукунидан ва альсифер (алюминий — кремний — темир қотишмаси) кукунидан тайёрланадиган қотишмалар киради.

Альни ёки альнико кукунларидан кичикроқ ўлчамли доимий магнитлар тайёрланади. Бундай магнитлар майда донали бўлади ва уларда қуйма магнитларда бўладиган нуқсонлар, масалан, дарзлар, чўкиш бўшлиқлари ва доналар чегарасидаги ликвациялар бўлмайди. Кукун металлургияси усулида тайёрланган магнитларда бундай нуқсонларнинг бўлмаслиги бир текис зичликдаги магнит оқими ҳосил қилишга имкон беради.

Кукун қотишмаларида вольфрам, молибден, никель ёки графитга хос иссиқбардошлик ва ейилишга чидамлилик хоссалари бўлиши билан бирга, мис ва кумушга хос юқори электр ўтказувчанлик хоссалари ҳам бўлади. Ана шундай кукунлардан электр контактлари тайёрланади.

Альсифер кукунидан тайёрланган қотишмаларнинг магнит киритувчанлиги юқори бўлганлигидан бундай қотишмалардан магнитодиэлектриклар ясалади.

Пермаллой кукунидан ва электролитик темир кукунидан телефон, репродуктор ғалтакларининг ва радиотехника асбоблари юқори частотали контурларининг ўзаклари тайёрланади. Бундай ўзакларнинг магнит киритувчанлиги юқори, фуко токларига кетадиган исрофгарчилиги эса энг кичик бўлади.

Керамика билан металл кукунларидан тайёрланадиган қийин суюқланувчи қотишмалар (керметлар). Керметлар ҳам кукун металлургияси усулида тайёрланади. Керметлар таркибидаги металл керамика зарраларини бир-бирига боғловчи материал ролини ўтайди. Бундай металлар жумласига, масалан, темир, никель, хром, мис, вольфрам, марганец ва бошқалар киради. Бу металлар керметлар таркибига тегишли ферроқотишмаларнинг кукунлари тарзида киритилади. Керамика материали сифатида металл оксидлардан иборат исталган керамикадан фойдаланиш мумкин.

Керметларга мисол қилиб, 70% Al_2O_3 ва 30% Cr дан иборат кукун қотишмасини келтириш мумкин. Бундай кермет 9000 $Мн/м^2$ (900 $кГ/мм^2$) босим остида прессланиб, сўнгра 1700°С температурада қовуштирилгандан сўнг, у 1500°С температурагача чидайди. Керметлар юқори температураларда чўзилишдаги ва эгилишдаги пухталигини бемалол сақлайди.

Керметларнинг иссиқбардошлиги, пластиклиги ва пухталиги юқори бўлганлигидан улар техниканинг юқори температураларда чидамлилик ва қовушоқлик талаб этиладиган хилма-хил соҳаларида ишлатилади.

АДАБИЁТ

1. Д. К. Чернов, Металлар тўғрисидаги фан (рус тилида), Металлургиздат, Москва, 1950.
2. А. А. Бочвар, Металлшунослик (рус тилида), Металлургиздат, Москва, 1956.
3. А. А. Бочвар, Қотишмаларни термик ишлаш асослари (рус тилида), ОНТИ, Москва — Ленинград, 1938.
4. С. С. Штейнберг, Металлшунослик (рус тилида), Металлургиздат, Свердловск, 1961.
5. А. П. Гуляев, Металлшунослик (рус тилида), Металлургиздат, Москва, 1966.
6. Н. Ф. Болховитинов, Металлшунослик ва термик ишлаш (рус тилида), «Машиностроение», Москва, 1965.
7. М. Е. Блантер, Металлшунослик ва термик ишлаш (рус тилида), Машгиз, Москва, 1963.
8. Г. А. Кашченко, Металлшунослик асослари (рус тилида), Машгиз, Москва — Ленинград, 1956.
9. В. А. Кислик, А. Ф. Троицкий, Д. Г. Иванников, М. Г. Макеев, Металлшунослик ва металларни қиздириб ишлаш (рус тилида), Трансжелдориздат, Москва, 1959
10. К. М. Погодина-Алексеева, Металлшунослик ва термик ишлаш (рус тилида), «Высшая школа», Москва, 1966.
11. Д. А. Браун, Техникада янги материаллар (рус тилида), «Высшая школа», Москва, 1965.
12. И. Г. Самошин, Термик ишлаш (рус тилида), Машгиз, Москва, 1962.
13. М. М. Михайлов, А. А. Мухамедов, В. Л. Ханагов, Техникада янги материаллар — титан, уран, цирконий (рус тилида), «Учитель», Тошкент, 1964.
14. Металлчи справочниги, 3-том (рус тилида), Машгиз, Москва, 1959.
15. Металлшунослик ва термик ишлаш, справочник (рус тилида), I ва II томлар, Металлургиздат, Москва, 1961 ва 1962.
16. Машинасозлик материалларига оид справочник (рус тилида), I ва II томлар, Машгиз, Москва, 1959.
17. В. В. Архипов, М. А. Касенков, М. Н. Ларин, Я. И. Островский, К. М. Погодина-Алексеева, Н. В. Соколова, Г. Д. Шевченко, Ю. В. Шухов, Металлар технологияси (рус тилида), Машгиз, Москва, 1959.
18. С. А. Филинов, И. В. Фиргер, Термист справочниги (рус тилида), «Машиностроение», Москва — Ленинград, 1964.
19. Ф. И. Масленников, Металлшуносликдан лаборатория практикуми (рус тилида), Машгиз, Москва, 1961.
20. Б. Г. Гринберг, Т. М. Ивашченко, Металлшунослик ва термик ишлаш, лаборатория машғулотлари ўтказиш учун қўлланма (рус тилида), Росвузиздат, 1963.
21. К. Нитцше таҳрири остида, Металларни синаш (рус тилида), «Металлургия», 1967.
22. УССР ФА металлофизика институти, металлар физикаси ва металлшунослик масалалари, УССР ФА нашриёти, Киев, 1964.
23. В. М. Розенберг, Металларнинг ёйилувчанлиги (рус тилида), «Металлургия», Москва, 1967.

АЛФАВИТЛИ КЎРСАТКИЧ

А.

Абсорбция 241
Авиаль 401
Автомат пўлатлари 148
Агрегат ҳолат 12
Азотлаш 252
Азотли аустенит 253
— мартенсит 253
— феррит 253
Айриш қаттиқ эритмалари 83
Акимов Г. В. 219, 339
Акимова К. В. 219
Активланиш энергияси 23, 243
Аллотропик шакл ўзгаришлар 31
Аллотропия 31
Альни 371, 455
Альнико 371, 455
Альсифер 377, 455
Алюминий 383
— қотишмалари 385
Алюминий баббитлари 430
Алюминийли бронза 413
Алюминийнинг деформацияланадиган қотишмалари 386
— иссиқбардош қотишмалари 395
— қуйиш учун ишлатиладиган қотишмалари 391
Амальгамалар 435
Ангстрем 13
Анизотропия 26
Анормал пўлат 248
— структура 248
Аносов П. П. 10.
Антифрикцион қотишмалар 10, 425
Армко темир 125
Архаров В. И. 353
Асли донадорлик 169
— йирик донали пўлат 169
— майда донали пўлат 169
Ассонов А. Д. 225, 247
Атом боғланиш 21
Атомлар текислиги 19
Атомлари зич жойлашган (компакт) гексагонал панжара 15, 16, 17, 18
Аустен Р. 10, 124
Аустенит 10, 130, 131
— орқали парчаланиш 227
— синфидаги пўлатлар 280
— —қотишмалар 272
— ҳосил қилувчи элементлар 346
Аустенитнинг бошланғич донаси 169
— изотермик парчаланиш диаграммаси 175
— термокинетик (анизотермик) ўзгариш диаграммаси 187

Б.

Баббитлар 426
Бадаева А. А. 329
Байков А. А. 10, 124
Бевосита парчаланиш 227
Бейн Э. 163, 175, 178
Бейнит 178
Бериллий 448
Бериллийли бронза 417
Бертолле К. 84
Бертоллидлар 84
Бессонов В. Д. 328
Бинар эвтектика чизиқлари 118
Бир совитувчида тоблаш 210
Биринчи тур кучланишлар 73, 220
— — юмшатиш 164, 198
Бирламчи кристалланиш 33
— цементит 130, 135
— қаттиқ эритмалар 81
Блантер М. Е. 168, 217, 218
— номограммаси 218
Болғаланувчан чўян 156
Болғанувчанлик 64
Босмахона қотишмалари 423
Босқичли тоблаш 211
Ботилувчанлик 66
Бочвар А. А. 10, 72, 112, 163, 164, 386, 425
Бринель бўйича қаттиқлик 54
Бронза 410
Букилувчанлик 65
Буралишдаги мустаҳкамлик чегараси 50
— оқувчанлик чегараси 50
— пропорционаллик чегараси 50
— эластиклик чегараси 50
Бурама дислокациялар 25
Бургерс (Бюргерс) вектори 23
Бўсағалар назарияси 172
Бўшатилган мартенсит 189
Бўшатиш 167, 223
— билан бўладиган тоблаш 211, 224

— сорбити 190
— троостити 190
Бўшатишда бўладиган биринчи ўзгариш 189
— — иккинчи ўзгариш 190
— — тўртинчи ўзгариш 190
— — учинчи ўзгариш 190
— вужудга келадиган биринчи тур мўртлик 306
— — — иккинчи тур мўртлик 306
— — — мўртлик 280, 305

В.

Вакансия 22
Валент электронлар 12
Вариантлик 78
Векториаллик 26
Вефер Ф. 163, 188
Видманштеттен А. 200
— структураси 200
Викаллой 373
Виккерс бўйича қаттиқлик 57
«Водород касаллиги» 405
Вологдин В. П. 237, 240
Вольфрам карбиди 333, 334
Воронов С. М. 400
Вуд қотишмаси 435
Вульф Г (Ю). 30

Г.

Гаев И. С. 311
Газ алангасида қиздириб тоблаш 235
— муҳитда цементитлаш 245
— — цианлаш 259
Гадфильд пўлати 366
Гайперник 377
Ганнеман Г. 163
Гардин А. И. 178
Гевелинг Н. В. 239
Гексагонал панжара 16, 20
Геренс П. 124
Гетеродиффузия 243
Гетерополяр боғланиш 21
Гиббс Д. 78, 115
— қонуни 78
Гийе Л. 280
Гинье-Престон зонаси 398
Гистерезис сиртмоғи 42
Гомеополяр боғланиш 21
Гомогенлаш 202
Гомодиффузия 243
Графит 150
— қўшилмалар 157
— ҳосил қилувчи элементлар 276
Графитланишнинг биринчи босқичи 227
— иккинчи босқичи 227
Графитловчи юмшатиш 228, 229, 367
Гудцов Н. Т. 124, 163, 183, 218
Гук қонуни 68
Гуляев А. П. 163, 175, 184, 185, 274

Д.

Давенпорт Э. 175
Давиденков Н. Н. 73
Дальтон Ж. 84
Дальтонидлар 84
Дендрит 36
— ликвацияси 101, 103, 306
Деформация 68
Деформациянинг критик даражаси 76
Диамагнит металлар 42
Дилатометрик эгри чизиқ 189
Динамо пўлати 375
Дислокация ўқи 24
— маркази 25
Дислокациялар 23
Дисперсион қаттиқлашув 196
— қаттиқлашувчи пўлатлар 360
Диссоциация 241
Диссоциланиш даражаси 241
Диффузион алюминийлаш 261
— кремнийлаш 265
— легирлаш 260
— металлаш 260
— олтингугуртлаш (сульфидлаш) 266
— хромлаш 263
— юмшатиш 165, 202
— қатлам 242
Диффузия 82, 241
— коэффициенти 243
Дона 35
Донадор перлит 177
Дуралюминий 388

Е.

Ейилишга чидамли пўлатлар 366
— чидамлилик 9, 366
Емелина В. П. 287, 288
Емирилиш 71

Ё.

Ёйилувчанлик 62, 355
— чегараси 64, 356
Ёндош нуқталар 94
— фазалар 94
Ёпишиш текисликлари 27
Ёқлари марказлашган куб панжара 15, 16, 17, 18

Ж.

Жемчужний С. Ф. 86
Жуда пухта чўян 156
Журков Н. С. 354

З.

Зангламас пўлатлар 337
Зарбий қовушоқлик 53
Заседателев М. 86
Зимина Л. Н. 364
Зонал ликвация 101

И.

Идеал критик диаметр 218
Изоморф моддалар 110
Изотермик текислик 122
— тоблаш 211
— юмшатиш 202
Икки компонентли (бинар) системалар (қотишмалар) 88
— совитувчида тоблаш 211
Иккиламчи кристалланиш 38, 87
— цементит 130, 135

— қаттиқ эритмалар 83
Иккиланиш 70
Иккинчи тур кучланишлар 73, 220
— — юмшатиш 198
Инвар 381
Инкубацион давр 175, 400
Инертлик даври 175
Ион боғланиш 20
Ипсимон кристалл 71
Иссиқбардош пўлатлар 354
Иссиқбардошлик 9, 64, 318
Иссиқдан мўртлашувчанлик 63
Иссиқлик ташувчилар 452
Ички кучланишлар 219

К.

Кавшарлар 431
Кальмаллой 379
Кальцийли баббит 429
Кам легирланган пўлатлар 282
Карбид ликвацияси 303, 324
— синфидаги пўлатлар 281
— фазалар 274
Карбюризатор 244
Квазизотроплик 27
Квазиэвтектоид 180
Керметлар 455
Кесиб ишланувчанлик 65, 148
Кесмалар қоидаси 93
Кислородсизлантириш 142, 172
Кистяковский В. А. 339
Киришувчанлик 64
Ковалент боғланиш 21
Когерентлик 184
Компонент 77
Компонентлари маълум чегарагача эрийдиган қаттиқ эритмалар 82
— чексиз эрийдиган қаттиқ эритмалар 82
Конода 94
Константан 368
Конторович И. Е. 255.
Концентрациялар учбурчаги 114
Корнилов қотишмалари 368
Коррозион дарзлар 338
— емирилиш 338
— толиқиш 338
Коррозия 337
Коррозиябардош пўлатлар 337
Коррозиябардошлик 9, 357
Коттрел атмосфераси 26, 73, 446
Коэрцитив куч 42, 369
Кремнийли бронза 416
Кристалл панжара 13
Кристалланиш маркази 31, 34
— яширин иссиқлиги 28
Кристалларнинг ўсиш тезлиги 31, 34
Кристаллит 35
Кристаллитлараро коррозия 338
— ликвация 100
Кристалл ичра ликвация 101, 103
Кристаллографик текислик 13, 19
Критик диаметр 216
— нуқталар 123
— температура 27
Куб панжара 13
— текислиги 20
Кул ранг чўян 155
— —қалай 39
Кумуш кавшарлари 434
Кумушли кавшарлар 434
Курдюмов Г. В. 163, 183, 189.
Курнаков Н. С. 10, 84, 86, 112
— қонуни 112, 113
Кюри нуқтаси 126.
Кўкиш тусда синувчанлик 197, 355
Кўп легирланган пўлатлар 282

Л.

Латунь (жез) 406
Лахтин Ю. М. 254
Легирланган аустенит 321
— карбидлар 276
— пўлат 271
— феррит 284
— цементит 127, 276
— чўян 153
Легирлаш 271
Ледебур А. 130
Ледебурит 130
— синфидаги пўлатлар 281
Ле-Шателье А. 10, 124
Лившиц Г. Л. 330
Ликвация 100
Ликвидус 91
— изотермаси 122
— нуқтаси 91
— сирти 118, 121
— чизиғи 91, 129
Ломоносов М. В. 10, 11, 338

М.

Магналий 395
Магний 417
— қотишмалари 417
Магнико 371
Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмалар 369
— — қаттиқ қотишмалар 369
— киритувчанлик 42, 369
— индукцияси 42
Магнитланмайдиган қотишмалар 379
Майда донали зона 37
Макроструктура 29
Макрошлиф 28
Малинкина Е. И. 311
Манганин 368
Марганецли пўлатлар 287
Мартенсит 182, 184
— диаграммаси 185
— синфидаги пўлатлар 280
— эгри чизиғи 184
Махсус карбидлар 272
— пўлат 271
Маҳаллий коррозия 338
Мегапир 368
Мел Р. 163
Менделеев Д. И. 10
Металл боғланиш 22
— қотишма 77
Металлокерамик қотишмалар 454

Метастабил диаграмма 152
— система 128
Механик аралашмалар 80
Миканит 333
Микроструктура 29
Микрошлиф 29
Микроқаттиқлик 57
Минкевич Н. А. 163, 245, 259, 262
Миркин И. Л. 34, 168, 174.
Мис 402
— қотишмалари 406
Модификаторлар 36, 393
Модификациялаш 36, 152, 393
Мозаика блоклари 29, 69
Молекуляр боғланиш 22
Монокристалл 27, 70
Мечалкин Р. И. 255
Мувозанат диаграммаси 88
— температураси 27, 31
Мустаҳкамлик чегараси 27, 45
Мўрт ҳолатда емирилиш 71

Н.

Нагартовка 73
Назарий кристалланиш температураси 27, 31
Наклёп 73
Нафталинсимон синиқ 324
Нейтрал атмосфера 208
Никелин 368
Никелли пўлатлар 288
Никонов Ф. Г. 262
Нимониклар 363
Нинасимон структура 184
— троостит 178
— феррит 274
Нисбий торайиш 46
— узайиш 27, 46
Нитраллой 255
Нитридлар 253, 254
Нитроцементитлаш 256, 259
Нихромлар 363, 368
Нолдан паст температурада ишлов бериш 212
Нормал дуралюминий 389
Нормаллаш 165, 203, 229
Нуқтавий нуқсонлар 22

О.

Одатдаги кул ранг чўян 155
Оддий куб панжара 17, 18
Одинг И. А. 72, 74
Оженнит 49
Оксидлар 173, 272
— ранги 124
Оксидловчи муҳит 231
Оксидсизлантирилган пўлат 38
Оксидсизлантириш 172
Оксифер (феррит) 378
Октаэдр текислиги 20
Оловбардош пўлатлар 352
Оловбардошлик 9, 352
Оралиқ атомлар 22, 23
— чўян 155
—фазалар 84, 86
Осмонд Ф. 10, 124
Оташбардошлик 329
Оқ чўян 137, 154
— қалай 39
Оқартирилган чўян 232
Оқиш ўзакли чўян 161, 231
Оқувчанлик чегараси 45, 70

П.

Пайвандланувчанлик 64
Панжара ичра кучланишлар 219, 220
Панжаранинг базиси 17
— даври 15
— координацион сони 17
— параметри 15
Парамагнит металлар 42
Паст температурада бўшатиш 224
— — цианлаш 258, 260
— — юмшатиш 198
Паға-паға графит 156
Перитектик реакция 105
— ўзгариш 129
Перитектика 106
Перлит 130
— синфидаги пўлатлар 280
Перлитли болғаланувчан чўян 161
— кул ранг чўян 155
Пермаллой 377, 455
Пермендюр 378
Питра ёғдириш 269
Плакирлаш 390
Пластик деформация 69
Пластинка нусҳа графит 155
Пластинкасимон перлит 177
Платинит 381
Плутоний 451
Подшипник қотишмалари 425
Поликристалл 27, 71
Полиморфизм 31
Полиэдр 35
Полиэдрик структура 274
— феррит 274
Приданцев М. В. 330
Прокошкин Д. А. 259
Пропорционаллик чегараси 44
Просвирин В. И. 259
Прядилов В. И. 225
Псевдоқотишмалар 77
Пуркаш йўли билан тоблаш 211
Пўлатни яхшилаш 194, 284
Пўлатнинг эскириши 195

Р

Радиография усули 30
Рекристалланиш 74
— фазовий диаграммаси 76
Рекристаллизацион юмшатиш 75, 165, 198
Рентгенограмма 29, 30
Рентгенография усули 29
Рентгеноструктура анализи 29
Реостат қотишмалари 367
Ричаг қоидаси 93
Розе А. 188
Розебом Г. 115, 124
Роквелл бўйича қаттиқлик 56

Ролик бостириш 269
Ромбик додекаэдр текислиги 20
Рустем С. Л. 332
Рух 419
— баббитлари 430
— қотишмалари 421

С.

Садовский В. Д. 223, 279
Салтиков С. А. 225
Селяков Н. Я. 163, 183
Силжиш вектори 23, 24
Силуминлар 391
Сильхромлар 359
Сингиш фазалари 87, 276
— қаттиқ эритмалари 81, 82
Сингуляр нуқта 107, 113
Синишга кўрсатиладиган қаршилик 70
Сирпаниш текислиги 24
Сирт нуқсонлар 23
Система 30, 77
Сиқилиш кучланишлари 220
Слугин Н. П. 339
Смирнов Е. В. 330
Совиган ҳолатда дарз кетиш 304
Совитиш воситалари 209
Совитувчи муҳитлар 209
Совуқ билан ишлаш 185, 212
— ҳолатда синувчанлик 142
Совуқлайин босим билан ишлаш 75
Солидус 91
— изотермаси 122
— нуқтаси 91
— сирти 121
— чизиғи 91, 129
Солиштирма оғирлик бўйича ликвация 101
— электр ўтказувчанлик 43
Сорби Г. 177
Сорбит 177
Сормайт 336
Сохта изотроплик 27
Стабил диаграмма 152
— система 128
Стеллит 336
Степин П. И. 156
Структура диаграммаси 154
— кучланишлари 219, 220
Сульфидлар 272
Суюқ эскиртириш 195, 398
Супердуралюминий 389
Супериннвар 382
Суюқ муҳитда цементитлаш 248, 258
— цианлаш 256
ҳолатда оқувчанлик 64
Сфероидловчи юмшатиш 200, 231

Т.

Легирланган чўян 153
Тескириш 194, 398
Тобор букилувчанлик 65
Тобламан Г. 34
Тобли қаттиқ эритмалар 86
Тобловчи нурлар 30
Тобсезар пўлат 316
Тобли коррозия 318
Текстураланиш 72, 375
Темир 125
— карбиди 127
— сульфид 144
— фосфид 143
Темирнинг совиш эгри чизиғи 125
Тенг ўқли кристаллар зонаси 37
Термаллой 379
Термик ишлаш 140, 163
— — режими 163
— кучланишлар 219
— тиклаш 328
Термобардошлик 329
Термомеханик ишлаш 166, 222
Термопара 88, 89
Термоэлектрик пирометр 88
Тетрагонал панжара 16
Тетрагоналлик даражаси 17, 183, 189
Техника темири 125
Титан 435
— карбиди 333, 334
— қотишмалари 438
Титанидлар 438
Тобланган зона 214
Тобланиш чуқурлиги 213
Тобланиш чуқурлиги полосаси 219
— чуқурлигининг критик диаметри 216
Тобланувчанлик 213
Тоблаш 167, 204
— муҳитлари 209
Тоблашнинг критик тезлиги 182
Товланиш ранги 224
Толиқиш 60
Томпак 410
Торий 451
Транскристаллизацион зона 37
Транскристалланиш 101
Трансформатор темири 375
Третник 432
Троицкий Г. Н. 225
Троостит 29, 177
Труст Л. 177
Тўла юмшатиш 199

У.

Углеродлаш 244
Углеродли пўлатлар 139
Углеродсизлантирувчи юмшатиш 231
Узлукли тоблаш 211
Узоқ давом этадиган пухталик 64, 356
Узунчоқ кристаллар зонаси 37
Уран 450
Уч компонентли системалар (қотишмалар) 114
Учбурчаклар усули 99
Учини (торецини) тоблаш 218
Учинчи тур кучланишлар 73, 220
Учлама системалар 114
— эвтектика 117, 118
— қаттиқ эритма 121
Учламчи цементит 134

Ф.

Фаза 30, 77
— ўзгаришлари 87
— — температураси 87

Фазалар қоидаси 78
Фарадей М. 338.
Федоров Е. С. 10, 12
Феррит 130, 131
— синфидаги қотишмалар 272
— — пўлатлар 282
— ҳосил қилувчи элементлар 346
Феррит-перлитли болғаланувчан чўян 160
— — кул ранг чўян 155
Ферритли болғаланувчан чўян 160
— кул ранг чўян 155
Ферромагнит металлар 42
— қотишмалар 369
Ферромагнитлик хосса 126
Фехраль 368
Фигуратив нуқталар 88
— нуқталарнинг чизиқлари 88
Флокенлар 306
Флуктуация (флюктуация) 23, 34

Х.

Химиявий бирикмалар 80, 84
— коррозия 339
Химиявий-термик ишлаш 166, 241
Хромаль 368
Хром-ванадийли пўлатлар 289
Хром-марганецли пўлатлар 288
Хром-никелли пўлатлар 288
Хромли пўлатлар 287
— феррит 287

Ц.

Цементит 125, 127, 130
Цементитланадиган пўлатлар 284
Цементитлаш 244
Цианлаш 256
Циклик юмшатиш 201
— қовушоқлик 62
Циркаллой 449
Цирконий 448

Ч.

Чала графитловчи юмшатиш 231
— тоблаш 204
— юмшатиш 166, 200
— қайновчи пўлат 146
Чекли қаттиқ эритмалар 439
Чексиз қаттиқ эритмалар 439
Чернов Д. К. 10, 34, 36, 123, 163
Чидамлилик чегараси 60
Чижевский Н. П. 252
Чизиқли дислокациялар 24
— кенгайиш коэффициенти 40
— нуқсонлар 22, 23
Чучитилган пўлат 38
Чучитиш 142
Чўзилиш кучланишлари 220
Чўкиш бўшлиғи 38
Чўкувчанлик 66
Чўян 137
Чўғланганда синувчанлик 145

Ш.

Шамоллатиб олиш йўли билан тоблаш 210
Шар нусҳа графит 155
Штамп пўлатлари 325
Штейнберг С. С. 73, 163, 178

Э.

Эвтектик процесс 138
— чўян 138
— ўзгариш 129
Эвтектика 93
Эвтектикагача бўлган чўянлар 137
Эвтектикадан кейинги чўянлар 138
Эвтектоид 111
— зона 247
— пўлат 137
Эвтектоидавий процесс 111
— ўзгариш 129
Эвтектоидгача бўлган зона 247
— — пўлатлар 137
Эвтектоиддан кейинги зона 247
— — пўлатлар 137
Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси 49
Экстратекислик 24
Эластик деформация 68
Эластиклик модули 45, 69
— чегараси 44, 69
Электр қаршилиги юқори бўлган қотишмалар 367
Электрон бирикмалар 85
Электротехника пўлати 374
Электрохимиявий коррозия 339, 340
Элементлар катакча 13
Элинвар 382
Эркин энергия 30
Эркинлик даражалари сони 78
Эрутувчи 81
Эрувчи 81
Эскириш (чиниқиш) 165, 398
Эссер Г. 163

Ю.

Юза тобланадиган деталларни газ аланғасида қиздириш 234
— — —контакт усулида қиздириш 239
— — — суюқлантирилган туз ёки металларда қиздириш 236
— — — электролитда қиздириш 240
— — — юқори частотали ток билан қиздириш 236
— тоблаш 232, 233
Юм-Розери В. 85
— фазалари 85
Юмшатиш 166, 198
Юмшаш графити 226
— углероди 156, 226
Юмшоқ кавшарлар 432
Юнг модули 69
Юқори сифатли чўян 157
— температурада бўшатиш 198, 225
— — цианлаш 257, 259
— частотали ток билан қиздириб тоблаш 238

Я.

Ядро ёқилғилари 450
Ярим мартенситли зона 215
— — структура 215
— текислик 24
Яхшиланадиган пўлатлар 284, 291
Яхшиланган пўлат 284

Ў.

Ўздиффузия 23, 82, 243
Ўрин олиш қаттиқ эритмалари 81
Ўртача легирланган пўлатлар 282
— температурада бўшатиш 225
Ўта куйиш 173
— совиш 33
— — даражаси 33
— тўйинган қаттиқ эритма 398
— қиздириш 173
— қизиш 33, 167, 173
— — даражаси 167

Қ.

Қаватли ликвация 101
Қайнамайдиган пўлат 38, 146
Қайновчи пўлат 38, 146
Қайта кристалланиш 38
— ишланувчи чўян 154
Қайтар мўртлик 280
Қайтариш 142
Қайтмас мўртлик 306
Қайтиш 74
«Қалай вабоси» 39
Қалай баббитлари 429
Қалайли бронза 410
Қат-қатлик 308
Қаттиқ кавшарлар 434
— карбюризаторлар 245
— карбюризаторда цементитлаш 245
— муҳитда цементитлаш 244
— — цианлаш 260
— эритмалар 80, 81
— қотишмалар 333
— ҳолатда графитланиш 225
Қиздириш элементлари қотишмалари 367
Қиздириб босим билан ишлаш 75
Қизиган ҳолатда дарз кетиш 304
Қизийдиган штамплар 326
— штамп пўлатлари 326
Қизимайдиган штамплар 326
— штамп пўлатлари 326
Қирқилишдаги мустаҳкамлик чегараси 49
Қовушоқ ҳолатда емирилиш 72
Қолдиқ аустенит 185
— кучланишлар 220
— магнит индукцияси 42, 369
Қора ўзакли чўян 160, 231
Қотишма 77
Қуйиш чўяни 155
Қўрғошин баббитлари 429, 430
Қўрғошинли бронза 417

Ҳ.

Ҳажми марказлашган куб панжара 15, 16, 17, 18
Ҳажмий кенгайиш коэффициенти 40
Ҳақиқий дона 170
Ҳимоя атмосферали печлар 208
— атмосфераси 221
Ҳолат диаграммаси 88
Ҳордиқ 74

Борис Давидович

На узбекском языке

АБДУРАХМАН САТТАРОВИЧ ТУРАХАНОВ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ
И
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

1- ИЗДАНИЕ

Учебное пособие для высших технических учебных заведений

Научный редактор доц. *Вахид Алиевич Мирбабаев*

Издательство „Ўқитувчи"
Ташкент — 1968

Илмий муҳаррир *В. А. Мирбобоев*

Нашриёт муҳаррири *А. Аҳмедов*

Бадиий муҳаррир *И. Е. Митирёв*

Муқова рассоми *Э. Исҳоқов*

Техн. муҳаррир *Б. Ёқубов*

Корректор *Ғ. Муродов*

Теришга берилди 25/I-1968 й. Босишга рухсат этилди 23/X-68 Формати 70 × 108¹/₁₆. Физик л. 29,0+0,25. вкл. Шарт. б. л. 41,3. Нашр. л. 32,12+0,13 вкл. Тиражи 5000. Р14998.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси 30. Шартнома №118-67. Баҳоси 90 т. Муқоваси 18 т.

Ўзбекистон ССР Министрлар Совети Матбуот давлат комитетининг 3- босмахонасида терилиб, 1- босмахонасида босилди. Тошкент ш. Ҳамза кўчаси 21. 1968. Заказ № 736

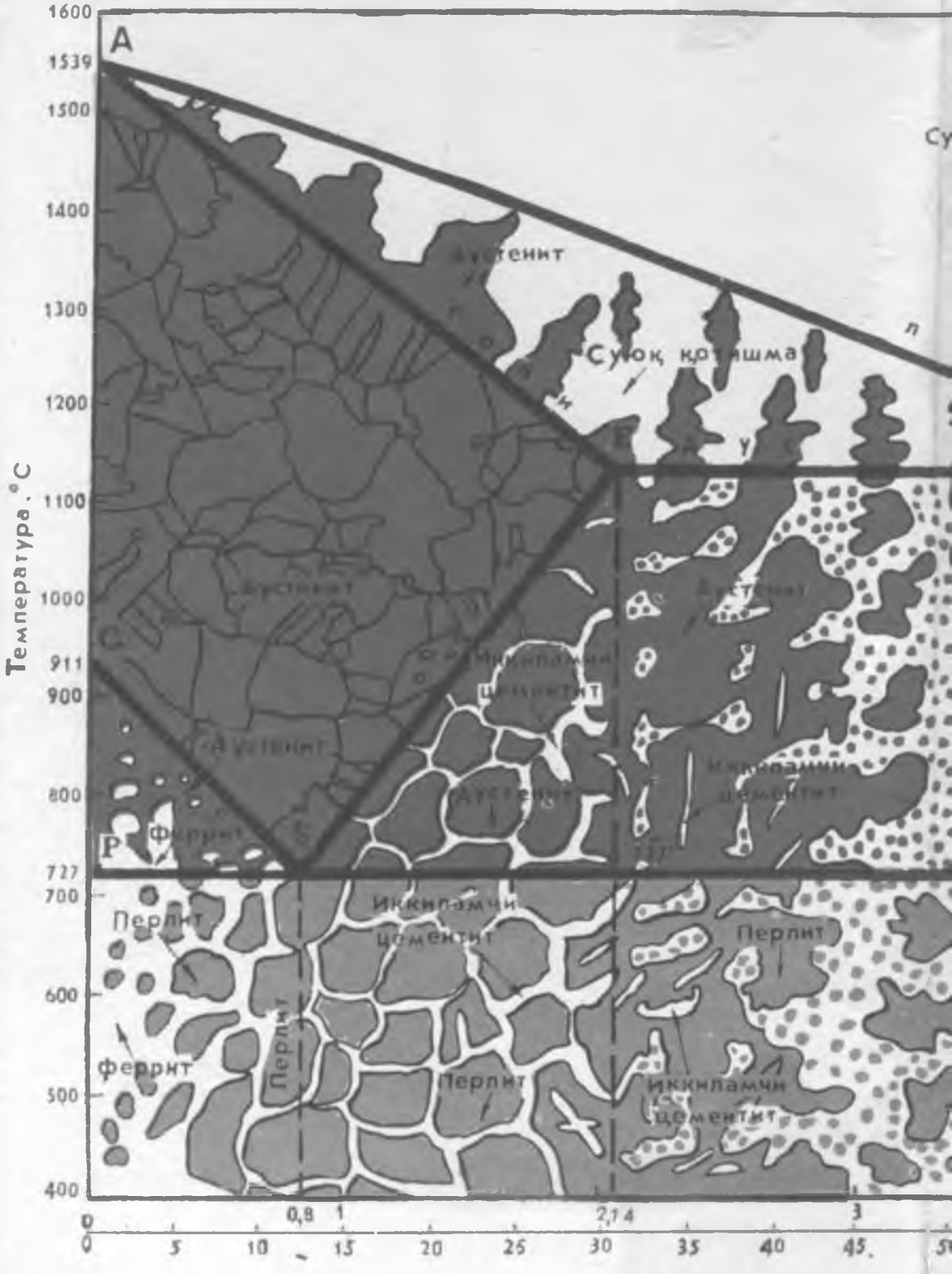
Набрано в типографии № 3 Государственного комитета Совета Министров УзССР по печати. Отпечатано в типографии № 1, г. Ташкент, ул. Хамзы, 21.

А.С.ТЎРАХОНОВ

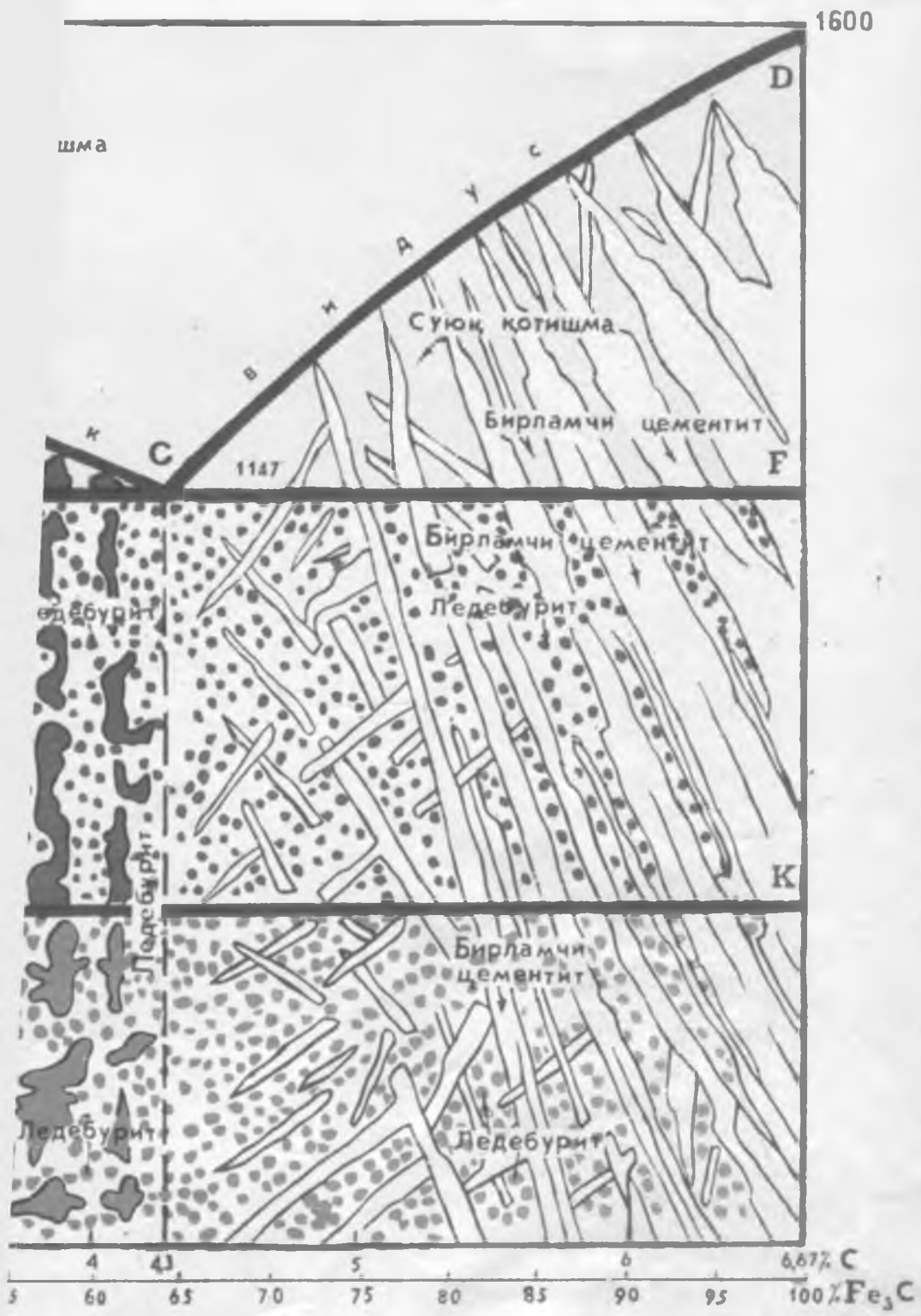
МЕТАЛЛШУНОСЛИК ВА ТЕРМИК ИШЛАШ



$Fe-Fe_3C$ системасининг содд



ирилган диаграммаси



А. С. ТЎРАХОНОВ

УЗБ
669.2
Т 37

МЕТАЛЛШУНОСЛИК ВА ТЕРМИК ИШЛАШ

[illegible] ОЛИЙ ВА МАХСУС ЎРТА ТАЪЛИМ МИНИСТРЛИГИ ОЛИЙ ТЕХНИКА ЎҚУВ ЮРТЛАРИНИНГ СТУДЕНТЛАРИ УЧУН ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМА СИФАТИДА ТАВСИЯ ЭТГАН

БИБЛИОТЕКА
Бух ТИ
№ 4/135

БИБЛИОТЕКА
ТашПИ
№ 694828

ОПИСАНО

«ЎҚИТУВЧИ» НАШРИЁТИ ● ТОШКЕНТ — 1968

14

Ушбу китоб олий техника ўқув юртларининг студентлари учун ўқув қўлланма бўлиб, унда металларнинг кристалл тузилиши ва кристалланиш процесси, металл ва қотишмаларнинг физик, механик ҳамда технологик хоссалари, металларнинг пластик деформацияси ва рекристалланиши, қотишмаларнинг умумий назарияси, темир—углерод қотишмалари, қотишмаларни термик ишлаш, қотишмаларнинг сиртқи қатламини пухталаш, легирланган пўлатлар ва, ниҳоят, рангдор металлар ва уларнинг қотишмалари тўғрисидаги маълумотлар баён этилган.

Китобдан сиртдан ўқувчи студентлар, машинасозлик саноатининг инженер-техник ходимлари ҳам фойдаланиши мумкин.

Рецензент: Тошкент Политехника институтининг Металлар технологияси кафедраси.

Илмий муҳаррир: техника фанлари кандидати, доцент
В. А. МИРБОБОЕВ.

Хусниддин

3—II—1
160 Укит. 1968.

МУНДАРИЖА

Сўз боши 7
Муқаддима 9

I БОБ. МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ ВА КРИСТАЛЛАНИШ ПОЦЕССИ

1- §. Металлар ва уларнинг асосий хоссалари 11
2- §. Металларнинг атом-кристалл тузилиши 12
3- §. Металлар кристалл панжараларининг турлари 14
4- §. Кристалл панжараларнинг базиси ва координацион сони . . 17
5- §. Кристаллографик текисликлар 19
6- §. Қаттиқ жисмлардаги боғланишларнинг турлари 20
7- §. Реал кристалларнинг тузилиши. Дислокациялар тўғрисида умумий тушунчалар 22
8- §. Кристалл жисмларнинг хоссалари 26
9- §. Металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари . . 28
10- §. Фаза ўзгаришларининг термодинамик асослари 30
11- §. Металлар аллотропияси 31
12- §. Металларнинг кристалланиши 33
Бирламчи кристалланиш 33
Иккиламчи кристалланиш 38

II БОБ. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК, МЕХАНИК ҲАМДА ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

А. Металл ва қотишмаларнинг физик хоссалари 40

Б. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари 43

1- §. Металл ва қотишмаларнинг чўзилишдаги мустаҳкамлигини синаш 43
2- §. Металл ва қотишмаларнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигини синаш 47
3- §. Металл ва қотишмаларнинг эгилишдаги мустаҳкамлигини синаш 48
4- §. Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш 49
5- §. Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синаш 49
6- §. Металл ва қотишмаларнинг зарбий қовушоқлигини синаш . 51
7- §. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини синаш 53
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш 53
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Роквелл прессида аниқлаш 55
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Виккерс усулида аниқлаш 57
Металл ва қотишмалар микроқаттиқлигини аниқлаш . . 57
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини зарб таъсирида шар ботириш усули билан аниқлаш 59
Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида (Шор усулида) аниқлаш 59
8- §. Металл ва қотишмаларнинг даврий равишда такрорланувчи нагрузкага чидамлилигини синаш 60
9- §. Металл ва қотишмаларнинг ёйилувчанлигини аниқлаш . . . 62

В. Металл ва қотишмаларнинг технологик хоссалари 64

1- §. Металл ва қотишмаларнинг букилувчанлигини синаш 65
2- §. Металл ва қотишмаларнинг такрор букилувчанлигини синаш 65
3- §. Металл ва қотишмаларнинг ботилувчанлигини синаш 66
4- §. Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синаш 66

III БОБ. МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ ВА РЕКРИСТАЛЛАНИШИ

1-§. Металларнинг эластик деформацияланиши 68
2-§. Металларнинг пластик деформацияланиши 69
3-§. Металларнинг емирилиши 71
4-§. Пластик деформациянинг металл структурасига таъсири . . . 72
5-§. Температуранинг деформацияланган металлар структураси ва хоссаларига таъсири (қайтиш ва рекристалланиш ҳодисалари) 73

IV БОБ. ҚОТИШМАЛАР УМУМИЙ НАЗАРИЯСИ

1-§. Қотишмалар тўғрисида умумий тушунча 77
2-§. Фаза, система ва компонентлар тўғрисида тушунча 77
3-§. Фазалар қоидаси 78
4-§. Қотишмаларнинг бирламчи кристалланиши 80
5-§. Механик аралашмалар 80
6-§. Қаттиқ эритмалар 81
7-§. Химиявий бирикмалар ва оралиқ фазалар 84
8-§. Қотишмаларнинг иккиламчи кристалланиши 87
9-§. Икки компонентли (бинар) системалар (қотишмалар) 88
Ҳолат диаграммалари тузиш усуллари 88
Биринчи тип ҳолат диаграммаси 92
Иккинчи тип ҳолат диаграммаси 101
Учинчи тип ҳолат диаграммаси 103
Тўртинчи тип ҳолат диаграммаси 106
Бешинчи тип ҳолат диаграммаси 109
Ўрта совиш шароитида қаттиқ қотишмаларда бўладиган қайта кристалланиш 111
10-§. Бинар системаларнинг ҳолат диаграммалари билан хоссалари орасидаги боғланиш (Курнаков қонуни) 112
11-§. Уч компонентли (учлама) системалар (қотишмалар) 114
Компонентлари учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг ҳолат диаграммаси 118
Қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаси 120

V БОБ. ТЕМИР—УГЛЕРОД ҚОТИШМАЛАРИ

Умумий маълумот 123

1-§. Темир ва унинг хоссалари 125
2-§. Цементит ва унинг хоссалари 127

А. $Fe — Fe_3C$ системасининг ҳолат диаграммаси 128

Б. Углеродли пўлатлар 139

1-§. Углеродли пўлатларнинг классификацияси 140
2-§. Пўлатнинг хоссаларига углероднинг таъсири 141
3-§. Пўлатнинг хоссаларига доимий қўшимчаларнинг таъсири . . 142
4-§. Пўлатларнинг маркаланиши 145
5-§. Халқ хўжалигининг баъзи тармоқларида ишлатиладиган пўлатлар 147
6-§. Автомат пўлатлари 148

В. Чўянлар 150

1-§. Темир — графит диаграммаси ва графитланиш процесси . . . 150
2-§. Графитланиш процессига доимий қўшимчаларнинг ва легирловчи элементларнинг таъсири 153
3-§. Чўянларнинг классификацияси 154
4-§. Кул ранг чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 156
5-§. Жуда пухта чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 157
6-§. Болғаланувчан чўяннинг маркаланиши ва хоссалари 159
7-§. Совитиш тезлигининг чўян структурасига таъсири 162

VI БОБ. ҚОТИШМАЛАРИНИ ТЕРМИК ИШЛАШ

1-§. Қотишмаларни термик ишлашга оид умумий тушунчалар . . 163
2-§. Қотишмаларни термик ишлаш режими 163
3-§. Қотишмаларни термик ишлаш турлари 164

А. Пўлатни термик ишлаш 166

I. Пўлатни термик ишлаш турлари 166
II. Пўлатни термик ишлаш назарияси асослари . . . 167
1-§. Пўлатни қиздиришда шу пўлатда бўладиган ўзгаришлар. Аустенит донасининг ўсиши 167
2-§. Пўлатни совитишда аустенитда бўладиган ўзгаришлар. Ўта совитилган аустенитнинг ўзгариши 173
3-§. Аустенитнинг мартенситга айланиши 182
4-§. Пўлатни узлуксиз совитишда аустенитнинг ўзгариши. Аустенитнинг термокинетик (анизотермик) ўзгариш диаграммаси 187
5-§. Тобланган пўлатни бўшатишда бўладиган ўзгаришлар . 188
6-§. Тобланган пўлатни бўшатишнинг пўлат хоссаларига таъсири 191
7-§. Пўлатнинг тобланғандан кейин эскириши (чиниқиши) . . 194
8-§. Пўлатнинг совуқлайин босим билан ишланғандан кейин эскириши 197
III. Пўлатни термик ишлаш технологияси 198
1-§. Пўлатни юмшатиш 198
2-§. Пўлатни нормаллаш 203
3-§. Пўлатни тоблаш 204
4-§. Пўлатга нолдан паст температурада ишлов бериш 212
5-§. Пўлатнинг тобланувчанлиги ва тобланиш чуқурлиги . . . 213
6-§. Тоблашда вужудга келадиган ички кучланишлар 219
7-§. Тоблашда вужудга келадиган нуқсонлар 220
8-§. Пўлатни термомеханик ишлаш 222
9-§. Пўлатни бўшатиш 223

Б. Чўянни термик ишлаш 225

I. Чўянни термик ишлаш назарияси асослари . . . 225
II. Чўянни термик ишлаш технологияси 228
1-§. Кул ранг чўянни термик ишлаш 228
2-§. Оқ чўянни термик ишлаш 229
3-§. Болғаланувчан чўянни термик ишлаш 232
4-§. Оқартирилган чўянни термик ишлаш 232

VII БОБ. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИРТҚИ ҚАТЛАМИНИ ПУХТАЛАШ

А. Пўлатни юза тоблаш 233

Б. Қотишмаларни химиявий-термик ишлаш 241
1-§. Цементитлаш (углеродлаш) 244
2-§. Азотлаш 252
3-§. Цианлаш 256
4-§. Диффузион легирлаш 260
Диффузион алюминийлаш 261
Диффузион хромлаш 263
Диффузион кремнийлаш (силицийлаш) 265
Диффузион олтингугуртлаш (сульфидлаш) 266

В. Металл ва қотишмаларнинг сиртқи қатламини пластик деформация воситасида пухталаш 268

VIII БОБ. ЛЕГИРЛАНГАН ҚОТИШМАЛАР

А. Легирланган пўлатлар 271
1-§. Легирловчи элементларнинг пўлат хоссаларига таъсири . . . 271
Легирловчи элементларнинг темир аллотропик шакл ўзгаришларига таъсири 271
Пўлатда легирловчи элементларнинг қандай ҳолатда бўлиши 272
Легирловчи элементларнинг ферритга таъсири. . . 273
Легирловчи элементларнинг критик нуқталар вазиятига таъсири 274
Легирланган пўлатларда карбид фазалар 274
Пўлатда фазалар ўзгаришига легирловчи элементларнинг таъсири 277

2-§. Легирланган пўлатларнинг классификацияси ва маркаланиши 280
Легирланган пўлатларнинг классификацияси 280
Легирланган пўлатларнинг маркаланиши 282
3-§. Конструкцион пўлатлар 283
Конструкцион пўлатларнинг механик хоссалари . . . 283
Цементитланадиган конструкцион пўлатлар 284
Яхшиланадиган конструкцион пўлатлар 291
Конструкцион пўлатларни термик ишлаш 297
Пружина ва рессора пўлатлари 298
Шарикли ва роликли подшипник пўлатлари 301
Қурилишда ишлатиладиган кам легирланган пўлатлар . . 303
Легирланган конструкцион пўлатларда бўладиган нуқсонлар 304
4-§. Асбобсозлик пўлатлари 308
Углеродли асбобсозлик пўлатлари 309
Легирланган асбобсозлик пўлатлари 312
Тезкесар пўлатлар 316
Штамп пўлатлари 325
Б. Металлокерамик ва қуйма қаттиқ қотишмалар 333
1-§. Металлокерамик қаттиқ қотишмалар 333
2-§. Қуйма қаттиқ қотишмалар 336
В. Алоҳида хоссаларга эга бўлган пўлат ва қотишмалар 339
1-§. Занглamас (коррозиябардош) пўлатлар 339
Коррозия назарияси асослари 339
Хромли занглamас пўлатлар 342
Хром-никелли занглamас пўлатлар 345
2-§. Оловбардош пўлатлар 352
3-§. Иссиқбардош пўлатлар 354
4-§. Ейилишга чидамли пўлатлар 366
5-§. Электр қаршилиги юқори бўлган қотишмалар 367
6-§. Алоҳида магнит хоссаларига эга бўлган қотишмалар . . . 369
Магнит жиҳатидан қаттиқ қотишмалар 372
Магнит жиҳатидан юмшоқ қотишмалар 374
Магнитланмайдиган қотишмалар 379
7-§. Алоҳида иссиқлик ва эластиклик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 380
Алоҳида иссиқлик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 380
Алоҳида эластиклик хоссаларига эга бўлган қотишмалар 382
IX БОБ. РАНГДОР МЕТАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ
1-§. Алюминий ва унинг қотишмалари 383
Алюминий 383
Алюминий қотишмалари 385
Алюминий қотишмаларини термик ишлаш 397
2-§. Мис ва унинг қотишмалари 402
Мис 402
Мис қотишмалари 406
3-§. Магний ва унинг қотишмалари 417
Магний 417
Магний қотишмалари 417
4-§. Рух ва унинг қотишмалари 419
Рух 419
Рух қотишмалари 421
5-§. Босмахона қотишмалари 423
6-§. Подшипник қотишмалари 424
7-§. Кавшарлар 431
8-§. Жуда осон суюқланувчи қотишмалар 435
9-§. Титан ва унинг қотишмалари 435
Титан 435
Титан қотишмалари 438
Титан қотишмаларини термик ишлаш 442
Титан қотишмаларига легирловчи элементларнинг таъсири 443
Титан қотишмаларининг классификацияси 443
Титан қотишмаларини химиявий-термик ишлаш . . . 446
10-§. Атом энергетикасида ишлатиладиган металл ва қотишмалар 446
11-§. Кукун қотишмалари 453
Адабиёт 456
Алфавитли кўрсаткич 457

СЎЗ БОШИ

Бу китоб олий техника ўқув юртлари уч[illegible] Олий ва махсус ўрта таълим министрлиги тасдиқлаган «Металлшунослик ва термик ишлаш курси» программаси асосида ёзилди.

Китобда металлшунослик ва термик ишлашнинг асосий масалалари, чунончи, металларнинг кристалл тузилиши ва кристалланиш процесси, металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари, металларнинг пластик деформацияланиши ва рекристалланиши, қотишмаларнинг умумий назарияси, темир — углерод қотишмалари, қотишмаларни термик, химиявий-термик, термомеханик ишлаш масалалари, легирланган қотишмалар, рангдор металлар ва уларнинг қотишмаларига оид масалалар баён этилди.

Китобнинг тегишли жойларида 1963 йилнинг 1 январидан бошлаб жорий қилинган Халқаро бирликлар системаси (СИ)дан фойдаланилди ва қавслар ичида эски ўлчов системасидаги қийматлари кўрсатилди. Аммо ГОСТ жадвалларидан олинган маълумотларда ўлчов бирликларининг қийматлари ўзича қолдирилди.

Металлшунослик ва термик ишлашдан ўзбек тилида ҳанузгача лаборатория практикуми бўлмаганлиги учун ва унинг амалда зарурлигини эътиборга олиб, китобга металл ва қотишмаларнинг физик, механик ҳамда технологик хоссалари ва бу хоссаларни аниқлаш усуллари тўғрисида қисқача маълумот ҳам киритилди

ва бу маълумот майда шрифт билан берилди.

Китобдан фойдаланишни осонлаштириш мақсадида унинг охирига алфавитли кўрсаткич илова қилинди.

Китобнинг қўл ёзмасини кўриб чиқиб, қимматли маслаҳатлар берган техника фанлари кандидати, доцент В. А. Мирбобоевга, шунингдек, Тошкент Политехника институти Металлар технологияси кафедрасининг қўл ёзма муҳокамасида иштирок этган барча аъзоларига автор самимий ташаккур изҳор этади.

Китоб ҳақидаги фикр ва мулоҳазаларни юборган ўртоқлардан автор ғоят миннатдор бўлар эди, чунки китоб ўзбек тилида биринчи чиқаётгани учун уни камчиликлардан ҳоли деб бўлмайди. Фикр ва мулоҳазаларни қуйидаги адресга юбориш илтимос қилинади:

Тошкент, Навоий кўчаси, 30. «Ўқитувчи» нашриёти.

МУҚАДДИМА

Металларнинг ва улар қотишмаларининг ички тузилиши ҳамда хоссаларини, шунингдек, уларнинг тузилиши билан хоссалари орасидаги боғланишни ўрганувчи фан *металлшунослик* деб аталади.

Металлар ва қотишмаларнинг хоссалари шу металл ва қотишмаларнинг химиявий таркибигагина боғлиқ бўлиб қолмай, балки уларнинг ички тузилишига, бошқача қилиб айтганда, структурасига ҳам боғлиқдир. Металлар ва қотишмаларнинг ички тузилишини ва, демак, хоссаларини ҳам ўзгартириш учун улар совуқлайин ёки қиздирилган ҳолда босим билан, термик, термомеханик ёки химиявий-термик ишланади. Металл ва қотишмаларнинг таркиби, структураси ва хоссалари орасидаги миқдорий ҳамда сифат нисбатлар тўғрисидаги маълумотлар металлшуносликка оид турли тадқиқот усулларидан фойдаланиш йўли билан олинади. Бундай тадқиқот усуллари жумласига металл ва қотишмаларнинг макроструктурасини ва микроструктурасини текшириш, радиографик, рентген ва электронографик анализ, физик-механик ва химиявий хоссаларини текшириш усуллари киради.

Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари нормал температурада ҳам, тайёрланадиган буюмнинг ишлаш шароитига тўғри келадиган температурада, яъни юқори ёки паст температурада ҳам аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссаларини синаш натижасида топилган қийматлар — чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси $\sigma_ь$, оқувчанлик чегараси $\sigma_{оқ}$, нисбий узайиши δ, кўндаланг кесим юзининг нисбий торайиши ψ, қаттиқлиги H, зарбий қовушоқлиги $a_н$ ва бошқалар металл ҳамда қотишмаларнинг асосий характеристикалари бўлиб, улар давлат стандартлари (ГОСТ) ва техника шартлари (ТУ) да келтирилади.

Металл ҳамда қотишмаларнинг физик-механик ва химиявий хоссаларидан ташқари, уларнинг технологик хоссалари ҳам амалда катта аҳамиятга эга. Бундай хоссалар жумласига металл ва қотишмаларнинг деформацияланувчанлиги, қуйилувчанлиги, кесиб ишланувчанлиги, пайвандланувчанлиги, тобланувчанлиги ва бошқа хоссалари киради. Металл ва қотишмаларнинг эксплуатацион (ишлатилиш) хоссалари, яъни пухталик (мустаҳкамлик), ейилишга чидамлилик, оловбардошлик (ўтга чидамлилик), иссиқбардошлик (иссиққа чидамлилик), коррозиябардошлик (коррозияга чидамлилик) каби хоссаларининг ҳам аҳамияти жуда каттадир.

Металлшунослик металл ва қотишмаларни термик ва химиявий-термик ишлашнинг, қуйиш иши, босим билан ишлаш, кесиб ишлаш ва пайвандлашнинг назарий асосидир. Металлшуносликни билмай туриб,

хилма-хил хоссали қотишмалар ҳосил қилиш, бу қотишмалардан тайёрланган деталь, асбоб ва бошқаларнинг хоссаларини зарур томонга ўзгартириш мумкин бўлмайди.

Металлшунослик фанига XIX асрнинг иккинчи ярмидагина асос солинди. Бу фан шунчалик ёш бўлишига қарамай, ҳозирги вақтда кенг тараққий этмоқда. Металлшунослик фанини тараққий эттиришда ватанимиз олимларининг хизмати ниҳоятда буюкдир. Улуғ рус олими М. В. Ломоносов (1711—1765) металларнинг ўзига хос хусусиятларини (ялтироқлик ва пластиклик хоссаларини) жаҳонда биринчи бўлиб тавсифлаб берди ва талаб этилган хоссали қотишмалар ҳосил қилиш йўлини кўрсатди. Металларнинг хоссалари уларнинг атом-кристалл тузилишига қараб ўзгаради, элементларнинг Д. И. Менделеев (1834—1907) кашф этган даврий системаси ана шу қонуният сабабларини изоҳлашга имкон берди. Д. И. Менделеев ўз асарларида эритмалар ва металл қотишмалари ҳосил қилиш масаласига катта эътибор берди. Рус олими Е. С. Федоров (1853—1919) кристалларда ион, атом ва молекулаларнинг жойланиш қонунларини топди. Рус олими П. П. Аносов (1797—1871) пўлат структурасини ўрганиш учун микроскопдан жаҳонда биринчи бўлиб фойдаланди. Металлшуносликнинг илмий асосларини улуғ рус олими Д. К. Чернов (1839—1921) яратди. Д. К. Чернов пўлатнинг хоссалари унинг химиявий таркибигагина эмас, балки тузилишига ҳам боғлиқ эканлигини кўрсатди. У критик нуқталар назариясининг пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ эканлигини аниқлаб, темир — углерод қотишмалари ҳолат диаграммасини тузиш учун асос яратиб берди (V бобга қаранг, 123-бет). Темир — углерод диаграммаси бир қатор олимларнинг: Р. Аустен, Ф. Осмонд, А. Ле-Шателье ва бошқаларнинг ишларига асосланиб, XIX асрнинг охирида тузиб чиқилди. Рус олими Н. С. Курнаков (1860—1941) металларнинг химиявий таркиби, тузилиши ва физикавий хоссалари орасида боғланиш борлигини топди ва жаҳонда биринчи бўлиб, таркиб — хосса диаграммаларини тузди. Унинг қотишмалар назариясига оид ишлари ҳам катта аҳамиятга эгадир. Рус олимларидан А. А. Байков (1870—1946) пўлатгина эмас, балки баъзи рангдор металларнинг қотишмалари ҳам тобланиши мумкинлигини аниқлади. У аустенит (углероднинг γ-темирдаги қаттиқ эритмаси) мавжуд эканлигини ҳам исботлади. А. А. Бочвар (1870—1947) янги антифрикцион (ишқаланишга чидамли) қотишмалар тайёрлади ва уларга нисбатан қўйиладиган талабларни асослаб берди.

Металлшунослик фани мамлакатимизда Улуғ Октябрь социалистик революциясидан кейин айниқса илдам қадамлар билан ривожлантирилди ва ҳозир ҳам ривожлантирилмоқда.

I БОБ

МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ ВА КРИСТАЛЛАНИШ ПРОЦЕССИ

1-§. МЕТАЛЛАР ВА УЛАРНИНГ АСОСИЙ ХОССАЛАРИ

Металларни бошқа қаттиқ жисмлардан фарқ қилдирадиган энг муҳим физикавий хосса электр ўтказувчанликдир. Аммо электр ўтказувчанликнинг қиймати металларни металлоидлардан (металлмаслардан) фарқ қилдирадиган аломат бўла олмайди, чунки металлар гарчи электр ўтказса ҳам, аммо ҳар хил металларнинг электр ўтказувчанлиги турличадир. Бинобарин, электр ўтказувчанлиги юқори бўлган элемент ёки жисмларни металлар деб таърифлаб бўлмайди, чунки шундай элементлар ҳам борки, уларнинг электр ўтказувчанлиги баъзи металлоидларникидан сал юқорироқдир, холос. Бундан ташқари, электр ўтказувчанлик температурага боғлиқ бўлади. Электр ўтказувчанликнинг температурага боғлиқлиги элементнинг металлик ҳолатини характерловчи энг муҳим аломатлардан биридир. Соф металларнинг электр ўтказувчанлиги температуранинг кўтарилиши билан пасаяди. Демак, температура пасайган сари электр ўтказувчанликнинг ортиши металлар учун хос хусусиятдир.

Температура абсолют нолга яқинлашган сари металларнинг электр ўтказувчанлиги ғоят даражада (тахминан миллион баравар) ортса, металлоидларнинг электр ўтказувчанлиги пасаяди.

Шундай қилиб, *температура пасайган сари электр ўтказувчанлиги ортадиган элементларни металлар деб атамоқ керак.*

Бундан ташқари, абсолют ноль температурада модданинг энергияси минимал бўлади. Бундай ҳолатда металларнинг электрон ўтказувчанлик хоссаси бўлса, металлоидларнинг бундай хоссаси бўлмайди, аммо температура кўтарилса, металлоидларда ҳам электрон ўтказувчанлик пайдо бўлади. Бинобарин, металларга берилган юқоридаги таърифга *электрон ўтказувчанликни* ҳам қўшиш керак. Машҳур рус олими М. В. Ломоносов бундай деган эди: «Металлар болғалаш мумкин бўлган ялтироқ жисмлардир». Шундай қилиб, металлар таърифига *болғаланувчанлик* ва *ялтироқлик* хоссаларини, шунингдек, *иссиқ ўтказувчанлик* хоссасини ҳам қўшиш керак экан.

Энди, металларга мана бундай таъриф берса бўлади: *температура пасайган сари электр ўтказувчанлиги ортадиган, электрон ўтказувчанликка эга бўлган, болғаланувчан, иссиқ ўтказувчан* ва *ялтироқ моддалар металлар деб аталади.*

Металлар Д. И. Менделеев элементлар даврий системасининг (жадвалининг) чап қисмида жойлашган (1-расм).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, металлар билан металлоидлар орасига кескин чегара қўйиб бўлмайди, чунки баъзи металларда, масалан,

кумушда газ ҳолатида металлик аломатлари бўлмайди, баъзи металлоидларда, масалан фосфорда юқори босим остида металлик хоссалар пайдо бўлади. Демак, модданинг металлик ёки металлоидлик аломатлари деган иборалар ўрнига *металлик ҳолатининг ўзига хос хусусиятлари* деган иборалар ишлатиш тўғрироқ бўлади.

Жуда кўпчилик металлар атомларининг сиртқи (валент) электронлари битта ёки иккита бўлади. Металлар маълум шароитда ана шу электронларининг бирини ёки иккаласини ҳам металлоидларга беради, мусбат зарядли ионларга айланади, чунки бу электронлар ядро билан пухта боғланган эмас.

Металлар ялтироқ ва пластик бўлади. Ялтироқлик ва, кўпинча, пластиклик хоссалари соф металларгагина хос бўлиб қолмай, балки уларнинг қотишмаларига ҳам хосдир. Демак, металларнинг қотишмаларини ҳам металлар деб атаса бўлади.

Юқорида баён этилганлардан соф металл билан қотишма орасида бир қадар фарқ бор, деган хулоса чиқариш мумкин, аммо металларга берилган таъриф уларнинг ички тузилишидаги ўзига хос хусусиятларига асосланади, ички тузилиш хусусиятлари эса соф металларда ҳам, қотишмаларда ҳам бир хил бўлади. Металл ва қотишмалар ички тузилишининг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, уларнинг атомларидаги сиртқи электронлар ядрога металлоидларнинг атомларидаги электронларга қараганда заифроқ тортилиб туради. Металларнинг физикавий ва химиявий хоссаларидаги ўзига хос хусусият ана шундан келиб чиқади.

✓Металларнинг электр токини яхши ўтказишига сабаб шуки, жуда кичик потенциаллар айирмаси ҳосил қилинди дегунча улар атомларидаги электронлар ҳаракатга кела бошлайди, яъни мусбат қутб томон боради, натижада электр токи вужудга келади. Металлоидларда бундай хосса бўлмаганлигидан, улар электр токини ўтказмайди.✓

Металл ва қотишмалар кристалл жисмлар бўлиб, уларда мусбат ионлар кристалл панжаралар ҳосил қилади, шиша, мум, ёғоч, чинни ва шу каби аморф жисмларда эса атомлар тартибсиз жойлашган бўлиб, кристалл панжара ҳосил қилмайди. Металлар ва улар қотишмаларининг кристалл панжарасидаги мусбат ионлар панжаранинг муайян жойларида туради, уларни эса эркин электронлар (электронлар булути) қуршаб олган бўлади. Ионларни қуршаб олган электронлар шу ионлар билан заиф боғланган бўлиб, осон ҳаракатланади. Металларнинг баъзи хоссалари, масалан, электр ўтказувчанлиги, иссиқ ўтказувчанлиги, пластиклиги ва бошқа хоссалари электронлар булутининг ионлар билан заиф боғланганлиги ва осон ҳаракатланишидан келиб чиқади.

2-§. МЕТАЛЛАРНИНГ АТОМ-КРИСТАЛЛ ТУЗИЛИШИ

Металларнинг кристалл панжараларида мусбат ионлар муайян тартибда жойлашганлиги юқорида айтиб ўтилди. Кристалл панжараларда атомларнинг (ионларнинг) муайян тартибда жойлашганлиги тўғрисидаги фикрни XIX асрда машҳур рус олими Е. С. Федоров майдонга ташлаган эди. Рентген нурлари кашф этилиб, бу нурлардан кристалларнинг тузилишини ўрганишда фойдаланилгандан кейин Е. С. Федоровнинг фикри батамом тасдиқланди.

Энди металларнинг қандай агрегат ҳолатларда бўла олишини кўриб чиқайлик.

Металлар, бошқа ҳар қандай модда каби, шароитга қараб, уч хил агрегат ҳолатда: қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатларда бўла олади. Соф ме-

талл бир агрегат ҳолатдан иккинчи агрегат ҳолатга маълум температурадагина ўтади ва бунда металлнинг хоссалари ўзгаради.

Металлнинг агрегат ҳолатлари орасидаги фарқ нимада? Бу саволга жавоб қайтарайлик.

Масалан, қаттиқ ҳолатда металл заррачалари муайян тартибда жойлашган бўлади, бу заррачаларнинг бир-бирини тортиш кучи билан бир-бирини итариш кучи ўзаро мувозанатда туради, натижада қаттиқ жисм ўз шаклини сақлайди.

Газ ҳолатидаги металл заррачалари тартибсиз ҳаракатланади, бир-бирини итаради, натижада металл гази имкони борича катта ҳажмни олишга интилади.

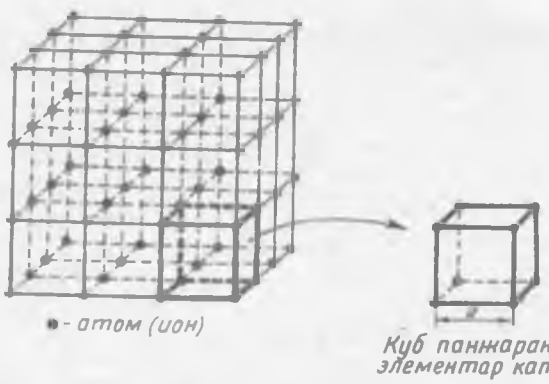
Суюқ ҳолатдаги металл заррачаларининг озроқ қисмигина батартиб жойлашган бўлиб, бу жойлашув иссиқлик таъсирида гоҳ бузилиб, гоҳ тикланиб туради. Демак, суюқ ҳолатдаги металл қаттиқ ҳолатдаги металл билан газ ҳолатидаги металл орасида оралиқ мавқени эгаллайди. Металлнинг, умуман модданинг, агрегат ҳолати орасидаги фарқ ана шу.

Шуни ҳам айтиш керакки, металлар маълум шароитда (атмосфера босимидан паст босимларда) қаттиқ ҳолатдан бевосита газ ҳолатига ўтиши ҳам мумкин. Қаттиқ ҳолатда барча металлар ва уларнинг қотишмалари кристалл жисмлардир, чунки уларнинг заррачалари фазода муайян тартибда жойлашган бўлади.



2- расм. Кристаллографик текисликда атомларнинг (ионларнинг) жойлашуви.

2- расмда атомларнинг кристаллографик текисликлардан* бирида қандай жойлашганлиги кўрсатилган. Атомларнинг марказидан ўтказилган фаразий чизиқлар панжара ҳосил қилади. Бир-бирига параллел жойлашган бир қанча кристаллографик текислик фазовий кристалл панжара ҳосил қиладн, кристалл панжаранинг тугунларида эса атомлар (ионлар) туради (3- расм). Модданинг атом-кристалл тузилиши тўғрисида тасаввур ҳосил қилиш учун панжаранинг битта элементар катакчасини кўрсатиш кифоя.



3- расм. Фазовий кристалл панжара ва унинг тугунларида атомларнинг (ионларнинг) жойлашуви.

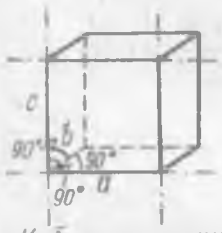
* Кристаллографик текислик тўғрисида шу бобнинг 5- параграфида батафсил сўзланади.

Элементар кристалл катакчадаги қўшни икки атом марказлари оралиги (a) ангстрем (Å) ҳисобида ёки килоикс бирликлари ($кX$) да ўлчанади. Энг оддий кристалл панжара куб панжарадир (3-расм).

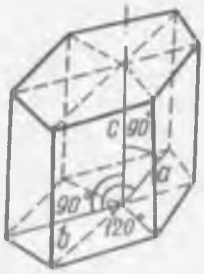
Энди, металларда қанақа кристалл панжаралар бўлишини кўриб чиқишга ўтамиз.

3-§. МЕТАЛЛАР КРИСТАЛЛ ПАНЖАРАЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ

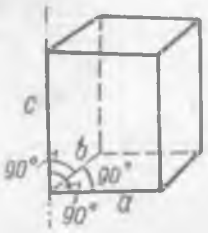
Кристалл панжаранинг энг оддий тури куб панжара эканлиги юқорида айтиб ўтилди. Бундай оддий куб панжарада атомлар (ионлар) етарли даражада зич жойлашган эмас, аммо металл атомлари (ионлари) бир-



Куб системанинг элементар катакчаси
$a=b=c$



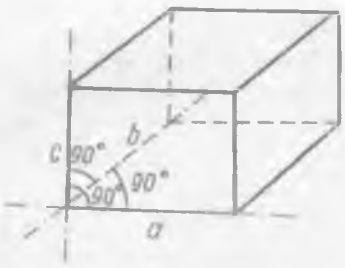
Гексагонал системанинг элементар катакчаси;
$a=b\neq c$



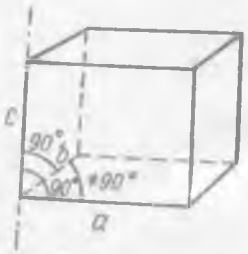
Тетрагонал системанинг элементар катакчаси;
$a=b\neq c$



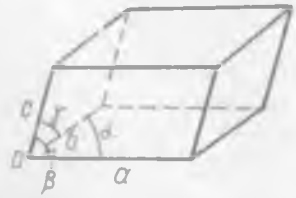
Ромбоэдрик системанинг элементар катакчаси;
$a=b=c;\ \alpha=\beta=\gamma<90^\circ$



Ромбик системанинг элементар катакчаси,
$a\neq b\neq c$



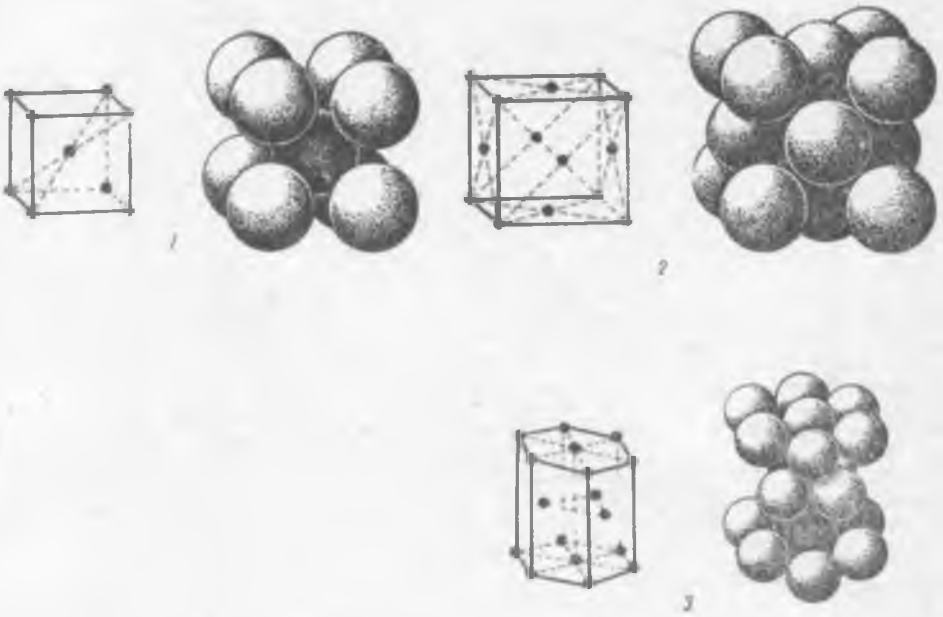
Моноклиник системанинг элементар катакчаси;
$a\neq b\neq c$



Триклиник системанинг элементар катакчаси
$a\neq b\neq c;\ \alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$

4-расм. Кристалл панжараларнинг элементар катакчалари (кристалларнинг симметрия ўқлари штрих-пунктир чизиқ билан, симметрия маркази эса O ҳарфи билан кўрсатилган.

бирига имкони борича яқинлашишга интилади, бунинг натижасида бошқа тур панжаралар ҳосил бўлади. Ҳажми марказлашган куб, ёқлари марказлашган куб ва атомлари (ионлари) зич жойлашган (компакт) гексагонал панжаралар ана шундай панжаралар жумласидандир.



5- расм. Куб ва гексагонал системадаги кристалл панжараларнинг элементар катакчалари:

1 — ҳажми марказлашган куб катакча, *2* — ёқлари марказлашган куб катакча, *3* — атомлари (ионлари) зич жойлашган гексагонал катакча.

Умуман олганда, кристалл панжараларнинг етти хил системаси мавжуд, булар куб система, гексагонал система, тетрагонал система, ромбаэдрик (тригонал) система, ромбик система, моноклиник система ва триклиник системадир. Бу тур панжараларнинг элементар катакчалари 4- расмда тасвирланган.

4- расмдан кўриниб турибдики, куб системадаги кристалларда тўртта симметрия ўқи, гексагонал системадаги кристалларда — битта, тетрагонал системадаги кристалларда — битта, ромбаэдрик системадаги кристалларда — битта, ромбик системадаги кристалларда — учта, моноклиник системадаги кристалларда — битта симметрия ўқи, триклиник системадаги кристалларда эса битта симметрия маркази бўлади.

Кристалл панжаранинг ўлчамлари панжара *параметрлари,* бошқача қилиб айтганда, *даврлари* билан ифодаланади. Куб панжара ўз параметрларининг бири билан аниқланади, чунки унинг учала параметри ҳам бир-бирига тенг (4- расмга қаранг).

Металларнинг жуда кўпчилиги куб ва гексагонал системада кристалланади (5- расм).

Баъзи металлар кристалл панжараларининг турлари ва уларнинг параметрлари 1- жадвалда келтирилган.

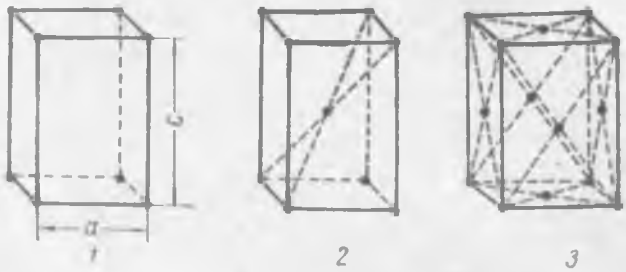
1-жадвал

Баъзи металлар кристалл панжараларининг турлари ва уларнинг параметрлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг тури	Панжаранинг параметрлари, Å ҳисобида		
		a	*b*	*c*
Алюминий (Al)	Ёқл. марк. куб	4,041	—	—
Ванадий (V)	Ҳажми марк. куб	3,034	—	—
α-Вольфрам (W)	Ҳажми марк. куб	3,158	—	—
Иридий (Ir)	Ёқл. марк. куб	3,832	—	—
α-Кобальт (Co)	Гексагонал	2,5	—	4,07
β-Кобальт (Co)	Ёқл. марк. куб	3,54	—	—
Кумуш (Ag)	Ёқл. марк. куб	4,078	—	—
Магний (Mg)	Гексагонал	3,203	—	5,2
Мис (Cu)	Ёқл. марк. куб	3,607	—	—
Молибден (Mo)	Ҳажми марк. куб	3,14	—	—
α-Никель (Ni)	Гексагонал	2,49	—	4,08
β-Никель (Ni)	Ёқл. марк. куб	3,517	—	—
Ниобий (Nb)	Ҳажми марк. куб	3,294	—	—
Олтин (Au)	Ёқл. марк. куб	4,07	—	—
Платина (Pt)	Ёқл. марк. куб	3,915	—	—
Рух (Zn)	Гексагонал	2,659	—	5,607
Тантал (Ta)	Ҳажми марк. куб	3,296	—	—
α-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,86	—	—
β-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,90	—	—
γ-Темир (Fe)	Ёқл марк куб	3,56	—	—
δ-Темир (Fe)	Ҳажми марк. куб	2,93	—	—
α-Титан (Ti)	Гексагонал	2,95	—	4,72
β-Титан (Ti)	Ҳажми марк. куб	3,32	—	—
Хром (Cr)	Ҳажми марк. куб	2,871	—	—
α-Цирконий (Zr)	Гексагонал	3,22	—	5,12
β-Цирконий (Zr)	Ҳажми марк. куб	3,61	—	—
Қўрғошин (Pb)	Ёқл марк. куб	4,939	—	—

Панжаранинг параметри ниҳоятда муҳим аҳамиятга эга. Илмий текширишнинг ҳозирги усуллари — рентген нурларидан фойдаланиш усуллари кристалл панжараларнинг параметрларини жуда аниқ ўлчашга имкон беради.

Ёқлари марказлашган куб панжарада ҳам, атомлари (ионлари) зич жойлашган гексагонал панжарада ҳам атомлар бошқа панжаралардагига қараганда зичдир. Масалан, бу иккала панжаранинг ҳар бирида атомлар ҳажми панжара ҳажмининг 74 процентини ташкил этади, ҳолбуки, ҳажми марказлашган куб панжарада атомлар ҳажми бутун панжара ҳажмининг 68 процентига тенгдир.



6- расм. Тетрагонал панжара

1 — оддий, *2* — ҳажми марказлашган, *3* — ёқлари марказлашган.

Жуда озчилик металлар, масалан, қалай, марганец ва бошқалар тетрагонал системада ҳам кристалланади. Бундай кристалл панжара 6-расмда тасвирланган. Тетрагонал панжара катта параметри (*c*)нинг кичик параметри *(a)* га нисбати *тетрагоналлик даражаси* дейилади. Тетрагоналдик даражаси $\left(\frac{a}{c}\right)$ бирга тенг бўлганда тетрагонал панжара куб панжарага айланади. Демак, тетрагонал панжара куб панжарадан *c* параметрининг *a* параметридан узунроқ бўлиши билан фарқ қилади. Куб панжара каби, тетрагонал панжара ҳам оддий, ҳажми марказлашган ва ёқлари марказлашган бўлиши мумкин.

Қайси металлнинг қандай системада кристалланиши 1-расмдаги жадвалда шартли белгилар билан кўрсатилган.

4-§. КРИСТАЛЛ ПАНЖАРАЛАРНИНГ БАЗИСИ ВА КООРДИНАЦИОН СОНИ

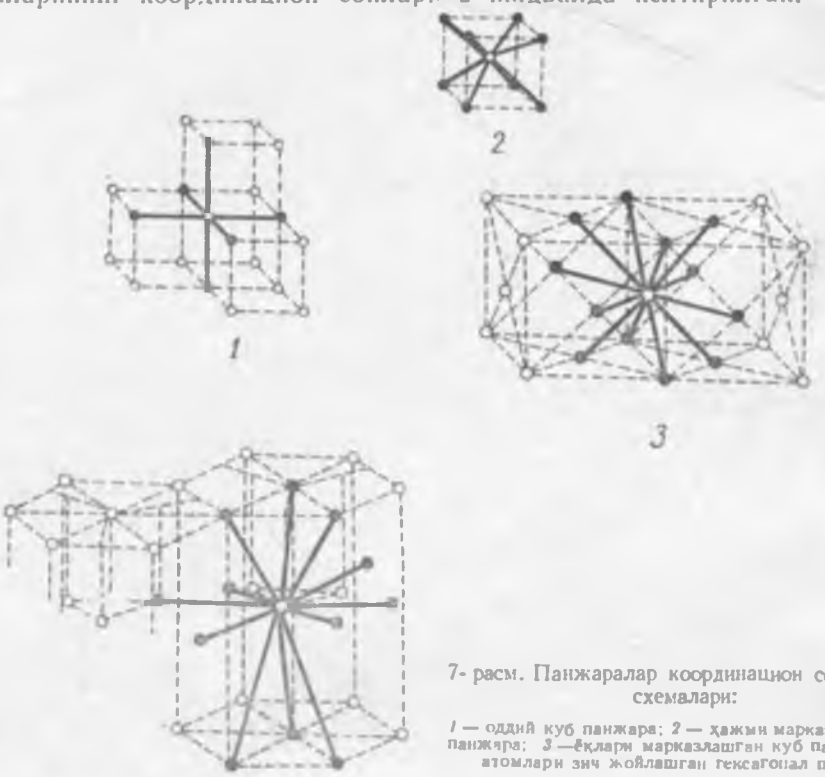
Кристалл панжаранинг асосий характеристикалари шу *панжаранинг базиси* билан *координацион сонидир*

Панжаранинг базиси. Кристалл панжарадаги битта элементар катакчанинг ўзига тегишли атомлар сони шу кристалл панжаранинг *базиси* деб аталади. Кристаллнинг бутун ҳажмида элементар катакчалар такрорланади, шуни назарга олиб, ҳар қайси катакчага тўғри келадиган атомлар сонини аниқлаш мумкин. Ҳар қайси катакчага тўғри келадиган атомлар сони панжаранинг турига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳажми марказлашган куб панжарада элементар катакчанинг тугунларидаги саккиз атомдан ҳар бири бошқа саккизта элементар катакча таркибига ҳам киради, фақат битта атом, яъни катакчанинг марказида турган атомгина шу катакчанинг ўзига тааллуқлидир. Демак, ҳар қайси элементар катакчага иккита $(8:8+1=2)$ атом тўғри келади. Ёқлари марказлашган куб панжарада ҳам, элементар катакчанинг тугунларидаги саккизта атом бошқа саккизта элементар катакча таркибига киради, ёқларининг марказларида турган олтита атомнинг ҳар бири эса бир вақтнинг ўзида иккита элементар катакчага тааллуқлидир. Бинобарин, ёқлари марказлашган куб панжарада ҳар қайси элементар катакчага тўртта $(8:8+6:2=4)$ атом тўғри келади. Шундай қилиб, ҳажми марказлашган куб панжаранинг базиси 2 га, ёқлари марказлашган куб панжаранинг базиси эса 4 га тенг.

Панжаранинг координацион сони. Кристалл панжарада ҳар қайси атомга энг яқин ва бир хил оралиқда турган атомлар сони шу панжаранинг *координацион сони* деб аталади. Оддий куб панжарада панжара ичида жойлашган ҳар бир атом ўзига энг яқин (панжара параметри *a* га тенг оралиқда) турган олтита атом билан (7-расм, *1*), ҳажми марказлашган куб панжарада ҳар бир атом (куб марказидаги атом) ўзига бир хил ва энг яқин оралиқда турган саккизта атом билан (7-расм, *2*), ёқлари марказлашган куб панжарада ҳар бир атом ўзига энг яқин ва бир хил оралиқда турган ўн икки атом билан (7-расм, *3*), атомлари зич жойлашган гексагонал панжарада ҳам ҳар бир атом ўзига энг яқин ва бир хил оралиқда турган ўн икки атом билан қуршалган (7-расм, *4*) ва ҳоказо. Бинобарин, оддий куб панжаранинг координацион сони 6 га, ҳажми марказлашган куб панжаранинг координацион сони эса 8 га тенг, ёқлари марказлашган куб панжаранинг координацион сони 12 га, атомлари зич жойлашган гексагонал панжаранинг координацион сони ҳам 12 га тенг ва ҳоказо.

Агар панжаранинг турини шу панжара номининг биринчи ҳарфи билан, координацион сонини тегишли рақам билан белгиласак, оддий куб панжарани К6 тарзида, ҳажми марказлашган куб панжарани К8 тарзида, атомлари зич жойлашган гексагонал панжарани эса Г12 тарзида ифодалаш мумкин ва ҳоказо.

Куб ва гексагонал системаларда кристалланадиган металлар панжараларининг координацион сонлари 2- жадвалда келтирилган.



7- расм. Панжаралар координацион сонларининг схемалари:

1 — оддий куб панжара; *2* — ҳажми марказлашган куб панжара; *3* —ёқлари марказлашган куб панжара; *4* — атомлари зич жойлашган гексагонал панжара.

2- жадвал

Баъзи металлар панжараларининг координацион сонлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг координацион сони	Панжаранинг белгиси	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Панжарасининг координацион сони	Панжаранинг белгиси
Алюминий (Al)	12	К12	Осмий (Os)	12	Г12
Ванадий (V)	8	К8	Платина (Pt)	12	К12
Вольфрам (W)	8	К8	Рений (Re)	12	Г12
Иридий (Ir))	12	К12	Рубидий (Rb)	12	Г12
α-Кобальт (Co)	12	Г12	Рух (Zn)	6	Г6
β-Кобальт (Co)	12	К12	Тантал (Ta)	8	К8
Кумуш (Ag)	12	К12	α-Темир (Fe)	8	К8
Магний (Mg)	12	Г12	γ-Темир (Fe)	12	К12
Мис (Cu)	12	К12	α-Титан (Ti)	12	Г12
Молибден (Mo)	8	К8	β-Титан (Ti)	8	К8
α-Никель (Ni)	12	Г12	Хром (Cr)	8	К8
β-Никель (Ni)	12	К12	α-Цирконий (Zr)	12	Г12
Ниобий (Nb)	8	К8	β-Цирконий (Zr)	8	К8
Олтин (Au)	12	К12	Қўрғошин (Pb)	12	К12

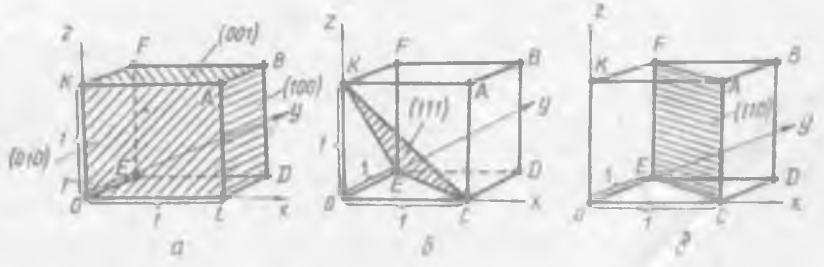
Металларнинг кўпгина хоссалари, шу жумладан зичлиги ҳам улар панжараларининг координацион сонига ва базисига боғлиқ. Панжаранинг координацион сони ва базиси қанчалик катта бўлса, металл шунчалик зич бўлади.

5- §. КРИСТАЛЛОГРАФИК ТЕКИСЛИКЛАР

Металларда кристалл панжаранинг атомлар зичлиги энг кўп бўлган текислиги *кристаллографик текислик* ёки *атомлар текислиги* деб аталади. Атомларнинг бундай текисликлар бўйлаб сирпанишига кўрсатиладиган қаршилик энг кичикдир. Кристалл панжаранинг шаклига қараб, унда кристаллографик текислик битта ёки бир нечта бўлиши мумкин.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, кристаллографик текисликларнинг танлаб олинган координата ўқларига нисбатан йўналиши махсус индекслар билан белгиланади. Бу индекслар кристаллографик текисликнинг ҳақиқий вазиятини эмас, балки унинг координата ўқларига нисбатан қандай йўналганлигинигина кўрсатади. Бинобарин, индекслар бирор муайян текисликни ифодаламай, балки бир хил йўналишдаги параллел бир гуруҳ текисликларни ифодалайди. Индекслар ўлчамли сонлар эмас, балки мавҳум сонлар бўлади. Кристаллографик текисликнинг индексларини топиш учун шу текислик координата ўқларини кесиб ўтган нуқталардан то координаталар бошигача бўлган масофалар мавҳум бирликларда ўлчанади (ҳар қайси ўқдаги бирлик сифатида кристалл панжара элементар катакчасининг шу ўққа тўғри келган қирраси узунлиги қабул қилинади). Ўлчаш натижасида чиққан сонларнинг тескари қийматлари олиниб, сўнгра уларнинг нисбати учта оддий бутун сонлар нисбатига келтирилади (одатда, нисбат белгиси қўйилмайди).

Мисол келтирамиз. Куб системасидаги панжаранинг элементар катакчасини олайлик (8-расм). Бу катакчада *ABDC* кристаллографик текислик *Ox* ўқини кесиб ўтади. *Oy* ва *Oz* ўқларини эса чексизликда кесади. *ABDC* текислигининг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар *OC*: $:\infty:\infty$ $(1:\infty:\infty)$. Худди шунингдек, *FBDE* текислигининг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар $\infty:OE:\infty(\infty:1:\infty)$; *FBAK* текислигининг координата ўқларини кесишидан ҳосил бўлган кесмалар $\infty:\infty:$ $:OK$ $(\infty;\infty:1)$. Бу кесмаларнинг қийматига тескари қийматлар тегишлича $1:0:0$; $0:1:0$; $0:0:1$ бўлади. Агар бу индекслар қавслар ичига олиниб, нисбат белгилари туширилиб қолдирилса, (100); (010); (001) келиб чиқади. Демак, *ABDC* текислигининг йўналиши (100) индекс билан, *FBDE* текислигининг йўналиши (010) индекс билан, *FBAK* текислигининг йўналиши (001) индекс билан (8- расм, *а*); *KCE* текислигининг йўналиши (111) индекс билан (8-расм, *б*); *FACE* текислигининг йўналиши эса (110) индекс билан

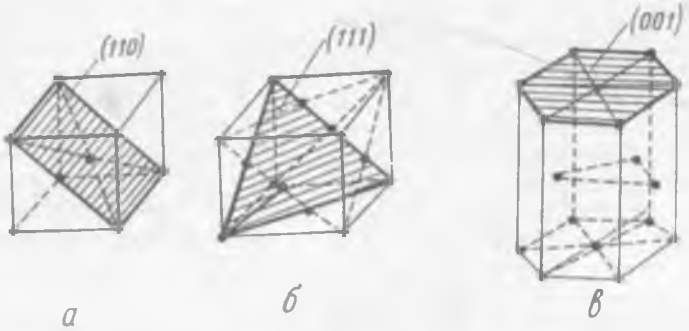


8- расм Куб системадаги панжаранинг элементар катакчасидаги кристаллографик текисликлар.

белгиланади. Куб панжарада индекси (100) бўлган текислик *куб текислиги* деб, индекси (111) бўлган текислик *октаэдр текислиги* деб, индекси (110) бўлган текислик эса *ромбик доджаэдр текислиги* деб аталади.

Ҳар хил шаклли кристалл панжарадаги кристаллографик текисликлар 9-расмда тасвирланган.

9-расмдан яққол кўриниб турибдики, ҳажми марказлашган куб панжарада кристаллографик текисликлар сони олтита, ёқлари марказлашган куб панжарада — тўртта, гексагонал панжарада эса биттадир.



9-расм. Ҳар хил шаклли кристалл панжаралардаги кристаллографик текисликлар:

а — ҳажми марказлашган куб панжара; *б* — ёқлари марказлашган панжара; *в* — гексагонал панжара.

Металлнинг пластиклиги шу металл кристалл панжарасидаги кристаллографик текисликлар сонига тўғри пропорционалдир. Бинобарин, кристалл панжараси гексагонал бўлган металларнинг пластиклиги бошқа тур панжарали металларникидан паст бўлиб, уларни босим билан ишлаш анча қийин.

6-§. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРДАГИ БОҒЛАНИШЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Қаттиқ жисмлардаги богланишлар тўртта асосий турга бўлинади. Булар ион (гетерополяр*), атом (гомеополяр** ёки ковалент), молекуляр боғланишлар ва металл боғланишлардир. Ана шу богланишларни кўриб чиқайлик.

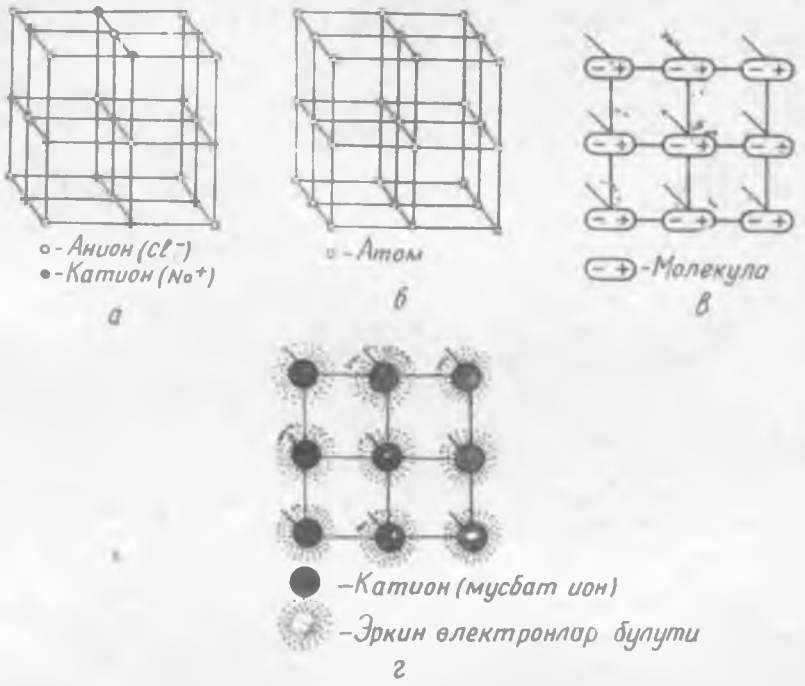
И о н (г е т е р о п о л я р) б о ғ л а н и ш л а р. Бундай боғланишли қаттиқ жисмлар кристалл панжараларининг тугунларида ионлар туради (10-расм, *а*). Ион боғланиш электроманфийлик жиҳатидан бир-биридан катта фарқ қилган икки элемент орасида вужудга келади. Бинобарин, ион боғланиш биринчи группа металлари, яъни ишқорий металлар билан еттинчи группа элементлари (галогенлар) орасида вужудга келади.

Ион боғланиш вужудга келишини натрий хлорид (NaCl) мисолида кўриб чиқайлик. Хлор атоми натрий атомига қараганда анчагина электроманфий бўлганлигидан ўзининг сиртқи қаватидаги бир электронини хлор атомига беради, натижада натрий атоми мусбат зарядли натрий иони Na^+ га (катионга), хлор атоми эса бир электрон бириктириб олиб, манфий зарядли хлор иони Cl^- га (анионга) айланади. Қарама-қарши зарядли бу ионлар кулон кучи воситасида ўзаро тортилиб, бирикма

* Куп қутбли.
** Бир қутбли.

(NaCl) ҳосил қилади. Бирикма (молекула) таркибидаги ҳар қайси ион ўз атрофида электр майдони вужудга келтиради. Демак, ион боғланишли молекулаларда бир неча (камида иккита) электр майдони бўлади. Ион боғланишнинг гетерополяр боғланиш деб ҳам аталишига сабаб ана шу.

Ион боғланишли бирикмаларда таъсир этувчи кулон кучлари заррачаларнинг (ионларнинг) бир-бирига пухтароқ тортилишига сабаб бўлади, шунинг учун бундай бирикмаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги юқорироқ бўлади.



10- расм. Қаттиқ жисмлардаги асосий боғланишлар:

а — ион боғланиш; *б* — атом боғланиш; *в* — молекуляр боғланиш; *г* — металл боғланиш.

Атом (гомеополяр, ковалент) боғланишлар. Атом боғланишли қаттиқ жисмлар кристалл панжараларининг тугунларида ўзаро ковалент боғланган атомлар туради (10- расм, *б*). Ковалент боғланган атомлар бир-бирини жуда пухта тортиб турганлиги учун бундай бирикмаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги ниҳоятда юқори бўлади.

Электроманфийлиги бир-бирига тенг бўлган элементларгина ковалент боғланади. Ковалент боғланиш назариясига кўра, бундай боғланиш ҳосил бўлишида электрон бир атомдан иккинчи атомга ўтмайди (чунки бу атомларнинг электроманфийлиги бир хил), балки ўзаро таъсир қилувчи иккала атомга тегишли бўлиб қолади.

Атом боғланишли қаттиқ моддаларга мисол қилиб, олмосни кўрсатиш мумкин. Олмосда углероднинг ҳар бир атоми углероднинг бошқа тўртта атоми билан боғланган, бу тўртала боғланиш бир хил бўлганлигидан олмос кристалини битта гигант молекула деб қараш лозим.

Молекуляр боғланиш. Бундай боғланишли қаттиқ моддалар кристалл панжараларининг тугунларида молекулалар туради (10- расм, *в*). Бу молекулалар бир-бирига молекулалараро кучлар воситасида тортилиб туради. Молекулалараро кучлар молекулаларни бир-бирига нисбатан заиф тортиб турганлигидан молекуляр боғланишли қаттиқ моддаларнинг суюқланиш температураси ва қаттиқлиги паст бўлади.

Металл боғланишлар. Бундай боғланишли қаттиқ жисмлар (металлар) кристалл панжараларининг тугунларида мусбат зарядли ионлар туради, ионларни эса эркин электронлар, яъни электронлар булути қуршаб олган бўлади (10- расм, *г*). Электронлар булути айрим ион ёки атомларнинг қобиқлари билан боғланган бўлмай, балки кристаллнинг бутун ҳаммасига оиддир. Демак, металл боғланишлар мусбат зарядли ионлар билан эркин электронларнинг ўзаро тортишувидан иборатдир.

7- §. РЕАЛ КРИСТАЛЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ. ДИСЛОКАЦИЯЛАР ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Реал кристалларнинг тузилиши. Металларнинг реал кристаллари тузилишида, идеал кристалларникидагининг аксича, бир қатор нуқсонлар (номукаммалликлар) бўлади. Металларнинг жуда муҳим кўпгина механик ва физикавий хоссалари, металларнинг структурасида содир бўладиган кўпгина процесслар шу металлар кристалларининг тузилишидаги нуқсонлардан келиб чиқади.

Металларнинг кристаллари тузилишидаги нуқсонлар, одатда, уч группага бўлинади. Булардан бири нуқтавий нуқсонлар бўлиб, иккинчиси чизиқли нуқсонлар ва учинчиси сирт (текислик) нуқсонлардир. Ана шу нуқсонларни бирма-бир кўриб чиқайлик.

1. Нуқтавий нуқсонлар. Ўлчамлари уч йўналишнинг ҳаммасида ҳам кичик бўлган нуқсонлар *нуқтавий нуқсонлар* дейилади. Бундай нуқсонлар жумласига вакансиялар, яъни кристалл панжаранинг бўш жойлари, оралиқ атомлар — тугунлар оралиғига силжиган атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари киради. Қўшимчаларнинг атомлари металл кристалл панжараси тугунларидаги атомлар ўрнини олиши ҳам, панжара тугунлари оралиғига кириб бориши ҳам мумкин. Учала ҳолда ҳам асосий металлнинг кристалл панжараси ўзининг мунтазам геометрик тузилишини ўзгартиради, яъни панжарада нуқсонлар ҳосил бўлади.



11-расм. Кристалл панжаранинг нуқтавий нуқсонлари

Вакансиялар ёки оралиқ атомлар температура кўтарилиб, кристалл панжара тугунларидаги атомларнинг тебраниш амплитудаси кучайиши натижасида ҳосил бўлади.

Вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимча атомлари схема тарзида 11- расмда кўрсатилган.

Реал кристалл панжараларда вакансиялар сони жуда кам бўлади. Қўшимчаларнинг ниҳоятда оз, ҳатто процентнинг мингдан бир улушлари қадар миқдори ҳам кристалл панжарага жуда кўп атомлар киритиб, унда кўпдан-кўп нуқсонлар ва ҳар хил жинсликлар ҳосил қилади.

Кристалл панжарадаги атомларнинг иссиқликдан ҳаракатининг тасодифанлиги туфайли, айрим жойларда вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари тўпланиб қолади, натижада иссиқликдан тебранишлар энергияси ва атомларнинг жойланиш зичлиги ўртача статистик қийматидан четга чиқади. Ана шу четга чиқишлар *флуктуация (флюктуация)* деб аталади. Атомларнинг иссиқликдан ҳаракати натижасида вакансиялар, оралиқ атомлар ва қўшимчаларнинг атомлари кристалл панжарада силжиши мумкин. Атомларнинг кристалл панжарада бир мувозанат ҳолатдан бошқа бир мувозанат ҳолатга ўтиш процесси *ўздиффузия* деб, ўздиффузия учун зарур бўладиган ортиқча энг кичик энергия эса *активланиш энергияси* деб аталади ва *кал/г-ат* ёки *кал/г-моль* билан ўлчанади. Активланиш энергияси айни атомнинг ортиқча эркин энергияга эга бўлган вазиятидан чиқишида энергетик тўсиқни енгиб, эркин энергияси камроқ вазиятга ўтиши учун зарур бўлган ишдир.

Температура кўтарилиши билан вакансиялар сони ўсиб боради, аммо металлнинг суюқланиш температурасигача вакансиялар сони 1—2% дан ошмайди.

2. Чизиқли нуқсонлар. Ўлчамлари фақат икки йўналишдагина кичик бўладиган нуқсонлар *чизиқли нуқсонлар* дейилади. Чизиқли нуқсонларнинг энг муҳим тури дислокациялардир; вакансияларнинг ва бошқа нуқтавий нуқсонларнинг занжирлари ҳам чизиқли нуқсонлар жумласига киради.

3. Сирт (текислик) нуқсонлар. Ўлчамлари фақат бир йўналишдагина кичик бўлган нуқсонлар *сирт нуқсонлар* дейилади. Сирт нуқсонлар жумласига блоклар орасидаги ва доналар орасидаги чегаралар ёки қўш чегаралар, қаттиқ фазалар орасидаги чегара сиртлар ва бошқалар киради. Бундай ҳолларда номукаммал соҳа сирт бўлади.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, юқорида тилга олинган нуқсонлар ҳаракатсиз бўлмай, балки пластик деформация ва ўздиффузия процессида сурилиб туради.

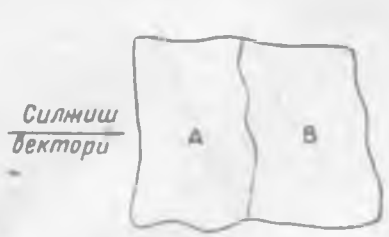
Дислокациялар. Дислокациялар назарияси ҳозирги замон металлшунослигининг физикавий асосларидан биридир. Бу назария металларнинг структурасида содир бўладиган энг муҳим бир қатор процесслар механизми сабабларини изоҳлаб беришга имконият туғдиради.

Дислокациялар суюқлантирилган металларнинг кристалланиш процессида, металларнинг пластик деформацияланишида, металларга термик ва бошқа тур ишловлар беришда ҳосил бўлади.

Дисклокациянинг ўзи нима? Бу саволга қуйидаги таърифдан жавоб оламиз.

Металлнинг атомлар силжиган (сирпанган) соҳаси билан атомлар силжимаган соҳаси орасидаги чегара *дислокация* деб аталади.

Дислокациянинг энг муҳим геометрик характеристикаси силжиш векторидир*. Силжиш вектори *А* соҳадаги атомларнинг силжиш йўналишини ва уларнинг *В* соҳадаги атомларга нисбатан қанча оралиққа силжиганлигини кўрсатади (12-расм).



12-расм.

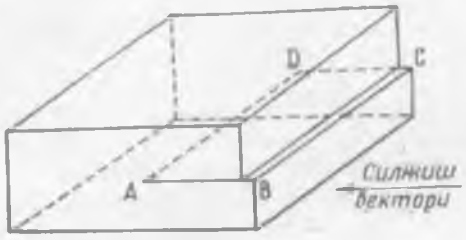
Дислокациялар мукаммал ва номукаммал бўлади. Атомларнинг силжиш оралиғи мукаммал дислокацияларда пан-

* Силжиш вектори, одатда, Бургерс (Бюргерс) вектори деб ҳам аталади.

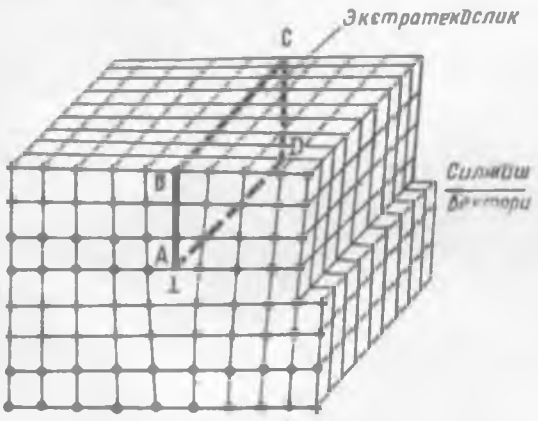
жара параметрларининг бутун сонига, номукаммал дислокацияларда эса панжара параметрларининг каср сонига тенг бўлади. Номукаммал дислокациялар вужудга келишида атомларнинг янги конфигурацияларини ҳосил қилади; бундай дислокациялар иккиланиш дислокацияларидир. Бу турдаги дислокацияларнинг баъзилари сурила олмайди ва, шу сабабли, *тутилиб қолган дислокациялар* деб аталади. Тутилиб қолган дислокациялар сурила оладиган дислокацияларнинг силжишига халақит беради, натижада монокристалларнинг пластик деформацияга қаршилиги ортади.

Дислокациялар, асосан, чизиқли (чекка) ва бурама (винтсимон) дислокацияларга бўлинади. Дислокацияларнинг ана шу турларини кўриб чиқайлик.

Чизиқли дислокациялар. Силжиш векторига перпендикуляр бўлган дислокация *чизиқли дислокация* дейилади. Масалан, бирор кристаллга силжиш вектори бўйлаб ташқи куч таъсир эттирилган ва бу куч таъсирида сирпаниш текислигида* атомлар бир параметр силжиган бўлсин. Силжиш сирпаниш текислигининг бошидан охиригача эмас, балки унинг *ABCD* қисмида содир бўлиб, текисликнинг қолган қисмида содир бўлмаган деб фараз қилайлик (13-расм).



13- расм.



14- расм.

Силжиш зонасининг силжиш векторига перпендикуляр бўлган *AD* чегараси чизиқли дислокациядир.

Чизиқли дислокацияни бошқача кўрсатиш ҳам мумкин. Кристалл панжаранинг элементар катакчаларига тўғри келадиган кублардан иборат кристалл бор, шу кристаллнинг юқориги қисмида атом текисликлари сони пастки қисмидаги атом текисликлари сонидан битта ортиқ, деб фараз қилайлик (14-расм).

Бунда кристаллнинг юқориги қисмида битта ортиқча *ABCD* ярим текислик ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган бу ярим текислик *экстратекислик* деб аталади. Ана шу экстратекисликнинг *AD* чети чизиқли дислокациядир. Бу дислокация 14-расмда ⊥ белги билан кўрсатилган. *AD* чизиқ *дислокация ўқи* деб аталади.

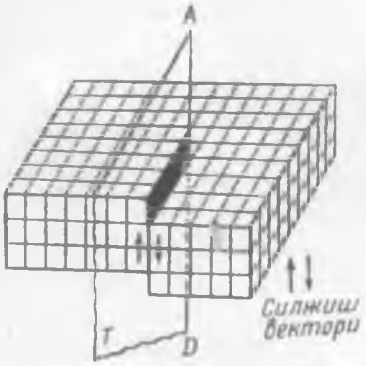
Кристалл панжаранинг дислокация ўқи атрофидаги қисми эластик равишда бузилганлигидан, бу қисм кучланишлар тўпланган соҳадир; бундай соҳа ҳосил қилиш учун каттагина энергия сарфлаш зарур бўлади, аммо дислокация ҳосил қилингандан кейин у анча осон силжийди.

* Энг кўп атомни ўз ичига олган кристаллографик текислик сирпаниш текислиги дейилади.

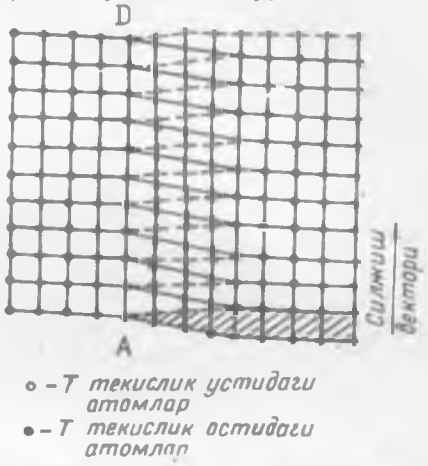
Кристалл панжаранинг энн энг кўп бузилган, яъни дислокация ўқига яқин қисми *дислокация маркази*, бошқача айтганда, *дислокация ўзаги* деб аталади.

Дислокация ўқи жуда узун — панжаранинг бир неча ўн минг параметри узунлигига, дислокация энн, яъни дислокация марказидан панжаранинг бузилмаган жойигача бўлган оралиқ эса жуда қисқа — панжаранинг атиги икки-уч параметри узунлигига тенг бўлади.

Бурама дислокациялар. Бурама дислокацияда атомларнинг силжиш йўналиши силжиш векторига параллел бўлади. Бундай дислокацияни қуйидаги мисолда тушунтириб берайлик. Бир кристалл олиб, унинг озроқ жойини T текислик бўйлаб кесайлик-да, кесилган қисмининг бирини иккинчисига нисбатан панжаранинг бир параметрига тенг оралиққа силжиш векторига параллел тарзда силжитайлик (15-расм). Бундай қилинганда атомларнинг горизонтал текисликлари бир қадар эгилади ва улардан ҳар бирининг чети шу текисликка энг яқин текисликнинг чети билан туташади. Натижада, кристаллнинг шакли винт бўйича буралган битта сирпаниш текислигидан ҳосил бўлгандек кўринади.



15-расм. Бурама дислокация ҳосил бўлиш схемаси.



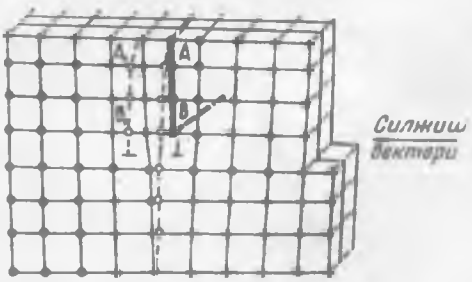
16-расм. Бурама дислокацияли кристаллнинг тузилиш схемаси.

Ҳосил бўлган бу дислокация бурама дислокациядир. Бурама дислокацияли кристаллнинг тузилиш схемаси 16-расмда тасвирланган. AD чизиқ *бурама дислокация ўқи* дейилади. Бу ўқ силжиш векторига параллелдир.

Дислокацияларнинг сурилиши. Дислокациялар икки йўл билан сурилиши мумкин; булардан бири сирпаниш йўли билан сурилиш бўлса, иккинчиси диффузия йўли билан сурилишдир.

Дислокацияларнинг ана шу сурилиш усулларини кўриб чиқайлик.

Дислокациянинг сирпаниш йўли билан сурилиши. Дислокациянинг дастлабки вазияти AB экстратекислик билан ифодаланади деб



17-расм. Чизиқли дислокациянинг бир параметрга тенг оралиққа сурилишида атомларнинг силжишини кўрсатувчи схема.

фараз қилайлик (17-расм). Тангенциал кучлар таъсирида атомларнинг ўрни бир оз ўзгаради ва дислокация янги вазиятга ўтади; бу ҳол 17-расмдаги схемада штрих чизиқ билан кўрсатилган (A_1B_1 — дислокациянинг янги вазияти). Шуни айтиб ўтиш керакки, бунда AB экстратекислик сурилмай, балки ўз функцияларини қўшни текисликка (A_1B_1 текисликка) узатади (дислокация сурилишининг эстафета усули). Янги вазиятда (A_1B_1 да) дислокация яна мувозанат ҳолатида бўлади. Агар ташқи кучнинг таъсири давом этса, дислокация ҳам чап томонга қараб сурилишда давом этади ва, ниҳоят, кристаллнинг чегарасига ётиб, погонача ҳосил қилади, бу погоначанинг эни кристалл панжаранинг бир параметрига тенг бўлади.

Дислокациянинг осон ҳаракатланишига сабаб шуки, экстратекислик мавжуд бўлганлигидан, кристалл панжарадаги атомлар ўзларининг мунтазам вазиятларидан бир оз силжиган бўлади, натижада дислокация олдидаги атомлар илгариги вазиятини эгаллашга, дислокация кетидаги атомлар эса панжаранинг бир параметрига тенг оралиққа сурилишга (илгари сурилишга) интилади; бинобарин, дислокация олдидаги атомлар дислокациянинг силжишига тўсқинлик қилса, дислокация кетидаги атомлар дислокациянинг силжишига ёрдам беради. Агар дислокация олдидаги атомларнинг таъсири билан дислокация кетидаги атомларнинг таъсири тахминан мувозанатда турса, дислокацияни силжитиш учун зарур кучланиш энг кичик бўлади.

Дислокацияларнинг диффузия йўли билан сурилиши. Силжиш векторига перпендикуляр бўлган дислокацияларгина диффузия йўли билан сурилади. Дислокацияларнинг бундай сурилиши учун кристалл панжарада атомларнинг ва нуқтавий нуқсонларнинг анчагина силжиши керак. Дислокациянинг диффузия йўли билан сурилиш процесси экстратекисликнинг ўсиши ёки қисқариши ҳисобига боради. Масалан, атомлар панжара тугунларидан экстратекислик четига (дислокацияга) диффузиланса, шу атомлар ўрнида вакансиялар ҳосил бўлади, бунинг натижасида эса экстратекислик ўсади ва, аксинча, экстратекислик четига вакансиялар диффузиланса, яъни у ердан атомлар кетса, экстратекислик қисқаради. Бу иккала ҳолда ҳам дислокация сурилади. Оралиқ атомларнинг (нуқтавий нуқсонларнинг) дислокацияга диффузиланиши натижасида ҳам дислокация сурилади, бунда нуқтавий нуқсонлар йўқолади.

Диффузия туфайли дислокация бирданига иккита сирпаниш текислигида жойлашиб, ғов ҳосил қилиши ҳам мумкин.

Металл билан сингиш қаттиқ эритмаси ҳосил қиладиган қўшимчаларнинг майда атомлари дислокация атрофида панжаранинг сиқиқ зонасида, йирик атомлари эса чўзиқ зонасида жойлашиб, дислокация атрофида атомлар атмосферасн ҳосил қилади. Атомларнинг бундай атмосфераси *Коттрел атмосферасн* деб аталади. Коттрел атмосфераси дислокациянинг силжишда давом этишига тўсқинлик қилади.

8-§. КРИСТАЛЛ ЖИСМЛАРНИНГ ХОССАЛАРИ

Кристалл моддаларнинг ўзига хос бир қатор хусусиятлари, шу жумладан анизотроплик (векториаллик) хусусияти бўлади. Бу хусусиятлар кристалл модданинг атомлари фазода маълум тартибда жойлашганлигидан келиб чиқади. Кристалл модданинг ҳар хил йўналишларида турлича хоссаларга эга бўлиши *анизотропия (векториаллик)* деб аталади. Кристалл моддада атомлар батартиб жойлашганлиги туфайли, ҳар

хил йўналишдаги кристаллографик текисликларда атомларнинг зичлиги, яъни атомларнинг сони турлича бўлади, шу сабабли кристалларнинг химиявий ва механик хоссалари ҳам ҳар хил йўналишларда турличадир. Масалан, миснинг сунъий йўл билан ҳосил қилинган монокристалида (бир кристаллдан иборат намунасида) ҳар хил йўналишларда мустаҳкамлик чегараси ($\sigma_в$) 146 дан 350 *Мн/м²* (14.6 дан 35 *кГ/мм²*) гача, нисбий узайиши (δ) эса 10 дан 55% гача бўлади. Миснинг монокристалида мустаҳкамлик чегарасининг йўналишга қараб ўзгаришини тасвирловчи модель 18-расмда кўрсатилган.

Шуни назарда тутиш керакки, анизотропия ҳодисаси фақат монокристаллардагина намоён бўлади, монокристаллар эса бир хил ориентацияланган элементар катакчалардан иборатдир. Поликристаллардан (кўп кристаллардан) иборат намуналарда ҳар хил йўналишларда ўлчанадиган хоссалар қиймати бир хил бўлади. Масалан, миснинг мустаҳкамлик чегараси, қайси йўналишда текширилишидан қатъи назар, 220 *Мн/м²* (22 *кГ/мм²*) га, нисбий чўзилиши эса 40% га тенг. Бунинг сабаби шуки, поликристаллардан иборат металл бир-бирига нисбатан турлича тарзда жойлашган кўпдан-кўп монокристаллардан иборатдир. Шунинг учун битта монокристаллга хос бўлган анизотропликни бошқа монокристаллар йўқотади, натижада поликристаллардан иборат металларда *сохта изотропия,* яъни *квазиизотропия* хусусияти бўлади.



18- расм.

Кристалларнинг ўзига хос яна бир хусусияти шундан иборатки, уларда *сирпаниш* ёки *ёпишиш* текисликлари бор; кристаллга механик куч таъсир эттирилганда заррачалар ана шу текисликлар бўйича силжийди ёки кўчади. Маълумки, кристалл моддага механик куч таъсир кўрсатилганда кристалл ё синади (агар у мўрт бўлса)ёки емирилмай, ташқи шаклини ўзгартиради (деформацияланади).

Кристалл моддага механик куч таъсир эттирилганда унинг синган жойида текисликлар кўринади, кристаллар ана шу текисликлар бўйича энг осон синади. Бундай текисликлар *ёпишиш текисликлари* дейилади.

Агар механик куч таъсир эттирилганда кристалл модда синмай, фақат деформацияланса, модданинг заррачалари сирпаниш текисликлари бўйича силжиган бўлади. Кристалл моддаларда сирпаниш ёки ёпишиш текисликларининг бўлиши ҳам кристалларда заррачаларнинг маълум тартибида жойлашувидан келиб чиқади.

Кристалл жисмнинг мунтазам ташқи шакли ҳам унинг ўзига хос хусусиятларидан биридир. Бу хусусият ҳам кристалларда заррачаларнинг маълум тартибда жойлашганлигидан келиб чиқади.

Кристалл модданинг яна бир хусусияти шундан иборатки, у бир агрегат ҳолатдан иккинчи агрегат ҳолатга бирданига (ўзгармас температурада) ўтади.

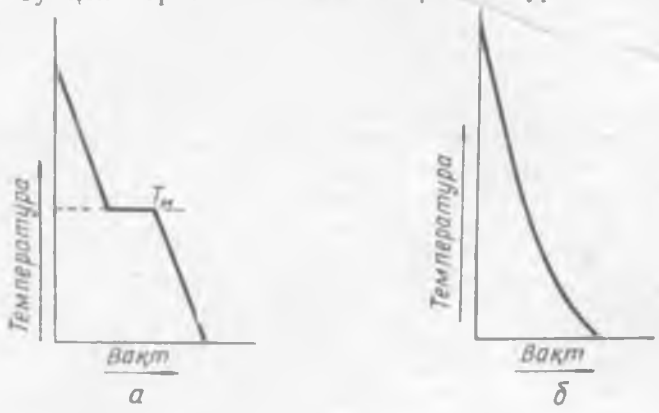
Термик анализ ёрдамида моддаларнинг қизиш ёки совиш эгри чизиқларини тузиш мумкин. Температура — вақт координаталарида чизилган бундай эгри чизиқлар 19-расмда тасвирланган.

(19- расм, *а* да кристалл модданинг совиш эгри чизиғи тасвирланган. Кристалл модданинг маълум бир температурада суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши диаграммадан яққол кўриниб турибди. Модданинг суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиш температураси кристалланишнинг *критик*

ё *мувозанат* ёки *назарий температураси* деб аталади ва *Тм* билан белгиланади.

Мувозанат температурасидан юқорида модда суюқ ҳолатда, пастда эса қаттиқ ҳолатда бўлади.

Кристалл модда суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга муайян вақт оралиғида ўтади ва бунда *кристалланиш яширин иссиқлиги* ажралиб чиқади. Шу иссиқлик ажралиб чиққанлиги учун, металл совитила боришига қарамай, температура маълум вақт ўзгармай туради. 19- расм, *а* даги диаграммада бу ҳол горизонтал кесма тарзида кўрсатилган. Аморф



19- расм. Моддаларнинг совиш эгри чизиқлари:
а — кристалл моддага оид; *б* — аморф моддага оид.

модда эса муайян температуралар оралиғида секин-аста қотади (19-расм, *б*) ва модданинг суюқ ҳолати билан қаттиқ ҳолати орасида кескин чегара бўлмайди.

9- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИ ТЕКШИРИШНИНГ АСОСИЙ УСУЛЛАРИ

Металл ва қотишмаларни текширишнинг асосий усуллари жумласига металларнинг синиқ жойи юзасини кўздан кечириш, макроструктурасини текшириш, микроскопик тузилишини (микроструктурасини) анализ қилиш, электрон-микроскопия, рентгенография ва радиография усуллари киради. Ана шу усуллар билан қисқача танишиб ўтайлик.

Металларнинг синиқ жойи юзасини кўздан кечириш усули. Бу усул металлар ички тузилишини текширишнинг энг оддий усули бўлиб, у металл доналарининг майда-йириклигини аниқлашга имкон беради. Аммо металлнинг синиқ жойи юзаси яширин-кристаллик ва тола-тола бўлиши мумкин, бунда синиқ жойи юзасини кўздан кечириш усулидан фойдаланиб, металл доналарининг майда-йириклигини аниқлаб бўлмайди, чунки синишдан олдин металл пластик деформацияланган бўлиб, натижада бу металл доналарининг ҳақиқий шакли ўзгариб кетади. Бундан ташқари, ишлов бериш ва синаш натижасига қараб, бир металлнинг ўзида синиқ жойи юзасининг шакли турлича бўлиши мумкин.

Металлнинг синиқ жойи юзасининг майда донали бўлиши металлнинг механик хоссалари юқори эканлигини кўрсатади.

Металларнинг макростурктурасини текшириш усули. Бу усулда металлдан намуна олиниб, макрошлиф* тайёрланади. Металлнинг ана шу макрошлифи бевосита ёки лупа воситасида қаралганда кўринадиган

* Металлнинг бир томони эговланиб, сўнгра жилвирлангандан кейин кислота ёки бошқа реактив эритмаси таъсир эттирилган намунаси макрошлиф дейилади.

структураси *макроструктура* деб аталади. Агар макрошлиф бевосита ёки лупа воситасида қаралса, металлнинг тузилишини ва ички нуқсонларини: дарзлар, шлак қўшилмалари, пуфакча ўринлари, бўшлиқлар, бор-йўқлигини, тола йўналишларини кўриш мумкин.

Металларнинг микроскопик тузилишини текшириш усули. Металлдан махсус тайёрланган намуна (микрошлиф*)нинг, одатда, 50 дан 2000 мартагача катта қилиб кўрсатадиган оптик микроскоп остида кўринадиган структураси шу металлнинг *микроструктураси* деб аталади. Ҳозирги оптик микроскоплар металлнинг 10^{-5} *см* ўлчамли заррачаларини кўришга имкон беради. Ватанимизда ишлаб чиқарилган оптик (металлографик) микроскопларнинг энг кўп тарқалгани МИМ-6, МИМ-7, МИМ-8 микроскоплардир.

Микрошлиф микроскоп остига қўйиб қаралганда металл структурасининг кўринишига сабаб шуки, металлнинг турли структура компонентларига реактив турлича таъсир этади.

Металлографик микроскоп ёрдамида шлифнинг микроскопик тузилишини фотосуратга олиш ҳам мумкин.

Электрон-микроскопия усули. Металларнинг ички тузилишини текширишда электронлар тутамидан фойдаланиладиган усул *электрон-микроскопия усули* деб аталади. Электрон-микроскоп моддаларнинг, шу жумладан металларнинг ҳам ички тузилишини текширишда тобора кўп ишлатилмоқда. Бу асбоб 100000 мартагача катталаштириб кўрсатиш имконини беради, аммо металларнинг тузилишини ўрганишда 10—15 минг марта катталаштириб кўрсатишнинг ўзи кифоя, шунда 10—100Å ўлчамли заррачаларни кўрса бўлади. Электрон микроскопнинг катталаштириш даражаси юқори бўлганлигидан металларнинг тузилишидаги анча йирик томонларни, масалан, пўлатдаги троостит тузилишини, мозаика блоклари ва бошқаларни, яъни оптик микроскоп воситасида кўриб бўлмайдиган тузилмаларни ҳам кўриш мумкин.

Электрон микроскопда металлнинг ғоят юпқа пардасидан ёки махсус тайёрланадиган юпқа ва шаффоф пардалардан (нусхалардан) фойдаланилади. Шаффоф пардалар (нусхалар) сифатида металл оксидлари, коллодий ва бошқа моддалар ишлатилади. Шаффоф пардалардан, масалан, коллодийдан фойдаланишга тўғри келса, коллодий реактив таъсир эттирилган микрошлиф юзига суртилади, микрошлиф юзидан олинган коллодий пардаси шу шлиф юзининг рельефини тўла акс эттиради.

Ватанимизда ишлаб чиқарилладиган электрон микроскопларнинг энг кўп тарқалгани УЭМБ-100 электрон микроскопидир.

Рентгенография усули. Металларнинг тузилишини текширишнинг рентгенография усули металл кристалл панжарасидаги бир қатор атомларнинг рентген нурларини дифракциялашига асосланган бўлиб, атомларнинг 1Å чамаси оралиғини ўлчашга ва, демак, металл ёки қотишмалар кристалл панжараларининг шаклини ҳамда панжаралардаги атомларнинг (ионларнинг) оралиғини аниқлашга имкон беради.

Атомларнинг (ионларнинг) фазовий жойлашуви рентгенограммада акс эттирилади. Ҳар қайси металл рентгенограммада жойлашуви, эни ва интенсивлиги муайян бўлган ўзига хос чизиқлар системаси ҳосил қилади.

Рентгеноструктура анализи воситасида қарийб барча металл ва қотишмаларнинг кристалл панжаралари аниқланган.

---

* Металлнинг бир томони яхшилаб силлиқланган, ялтиратилган ва реактив эритмаси таъсир эттирилган намунаси микрошлиф деб аталади.

Физика курсидан маълумки, рентген нурлари ўз табиати жиҳатидан ёруғлик нурларига ўхшашдир, аммо рентген нурлари ёруғлик нурларидан тўлқин узунлигининг анча кичиклиги билан фарқ қилади. Рентген нурларининг тўлқин узунлиги кичик бўлганлигидан, бу нурлар модда сиртидан қайтмай, балки шу модда ичига кириб боради. Атомлар мусбат зарядли ядро билан манфий зарядли электронлардан иборат система бўлганлиги учун, рентген нурларининг электромагнит майдони таъсири остида атомларнинг электронлари тебранма ҳаракатга келиб, ҳар томонга тарқалувчи электромагнит тўлқинлари — тарқалувчи нурлар манбаи бўлиб қолади. Кристаллда атомлар муитазам жойлашганлигидан тарқалувчи нурлар бнр йўналишда бир-бирини кучайтирса, иккинчи йўналишда бир-бирини сўндиради. Агар ана шу нурлар оқими йўналишига фотопластинка қўйилса, нурларинг кучайиш йўналишида доғлар — рентгенограмма ҳосил бўлади. 1913 йилда Москва университетининг профессори Г (Ю). В. Вульф бу рентгенограммани атомларнинг ўзаро параллел айрим-айрим текисликларидан қайтган нурларнинг интерференцияланувн натижаси деб талқин қилиш мумкинлигини кўрсатди. Металл кристалл панжарасининг шаклини ва панжарадаги атомлар оралиғини аниқлаш ана шунга асосланган.

Металларнинг ички тузилишини текширишда, масалан, УВС-70-К-1 рентген установкасидан фойдаланилади.

Радиография усули. Металларнинг қотишмаларида бнрор элементнинг қандай тарқалганлигини текширишда радиография усулидан фойдаланилади. Радиография усулининг моҳияти шундан иборатки, қотишмада қандай тарқалганлиги текширилиши керак бўлган элементнинг радиоактив изотопидан маълум миқдори қотишма суюқлантирилаётганда металлга қўшилади. Қотишма тайёр бўлгандан кейин совитилиб, ундан намуна олинади ва макрошлиф ёки микрошлиф тайёрланади. Тайёрланган шлиф сиртига фотография плёнкаси қўйилади. Текширилаётган элемент радиоактив изотопининг нурланиши натижасида плёнкада шу элемент бор жойларнинг изи қолади. Плёнка очилтирилгандан кейин микроскоп остига қўйилиб, унинг сурати олинса, микрорадиография ҳосил бўлади. Ана шу микрорадиографияга қараб, қотишмада элементнинг қандай тарқалганлиги аниқланади.

10-§. ФАЗА ЎЗГАРИШЛАРИНИНГ ТЕРМОДИНАМИК АСОСЛАРИ

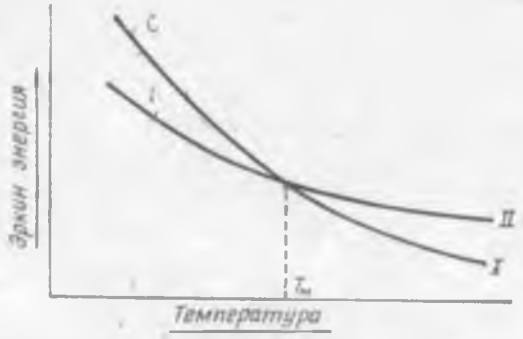
Термодинамиканинг иккинчи конунига биноан, ҳар қандай фаза ўзгариши вақтида системанинг эркин энергияси* камаяди, яъни система эркин энергияси катта бўлган беқарор ҳолатдан эркин энергияси кичик бўлган барқарор ҳолатга ўтишга интилади. Бинобарин, ўзгармас босимда температуранинг ўзгариши билан система эркин энергиясининг ўзгариш характери маълум бўлса, система (фазалар) барқарор бўладиган температуралар соҳасини кўрсатиш мумкин.

20-расмда суюқ ва қаттиқ фазалар эркин энергиясининг температурага қараб ўзгариш графиги эркин энергия — температура координаталарида тасвирланган.

Диаграммада *I* эгри чизиғи суюқ фаза эркин энергиясининг ўзгаришини, *II* эгри чизиғи эса қаттиқ фаза эркин энергиясининг ўзгаришини кўрсатади. $T_м$ температурада суюқ фазанинг эркин энергияси билан қат-

*Эркин энергия алоҳида термодинамик функция бўлиб, иссиқликдан ҳаракатда бўлган гоят кўп атом ва молекулаларни ўз ичига олган системанинг энергетик ҳолатини характерлайди. Эркин энергия F ҳарфи билан белгиланади: $F = U - TS$, бу формулада U — системанинг ички энергияси, T — абсолют температура, S — энтропия.

тиқ фазанинг эркин энергияси баравар ($F_{с.ф.} = F_{к.ф.}$) бўлади, яъни суюқ фаза билан қаттиқ фаза мувозанатда туради, бинобарин, $T_м$ *мувозанат температурасидир*. $T_м$ температурадан юқорида суюқ фазанинг эркин энергияси кичик, қаттиқ фазанинг эркин энергияси эса катта, $T_м$ температурадан пастда, аксинча, суюқ фазанинг эркин энергияси катта, қаттиқ фазаники эса кичик бўлади. Бинобарин, $T_м$ дан юқори температурада модда суюқ ҳолатда, $T_м$ дан паст температурада эса қаттиқ (кристалл) ҳолатда бўлиши керак. $T_м$ температура *назарий кристалланиш температураси* деб ҳам аталади (27-бетга ҳам қаранг).



20-расм. Суюқ ва қаттиқ фазалар эркин энергиясининг температурага қараб ўзгариш графиги.

Шуни ҳам айтиш керакки, термодинамика маълумотларининг ўзигагина асосланиб, металларнинг кристалланиш ёки суюқланиш тезлиги тўғрисида хулоса чиқариб бўлмайди. Бунинг учун фазанинг ўзгариш йўлини ва бу процесснинг бориш кинетикасини ҳам билиш керак.

Суюқ фазанинг қаттиқ фазага ўтиш процесси кристалланиш марказлари ҳосил бўлиши ва бу марказларнинг ўсиши йўли билан боради. Бу процесснинг кинетикаси икки параметр билан, яъни ҳажм бирлигида вақт бирлиги ичида ҳосил бўладиган кристалланиш марказлари сони билан кристалларнинг ўсиш тезлиги воситасида баҳоланиши мумкин. Кристалланиш марказлари сони қанчалик кўп ва кристалларнинг ўсиш тезлиги қанчалик катта бўлса, суюқ фаза қаттиқ фазага шунчалик тез айланади.

11-§. МЕТАЛЛАР АЛЛОТРОПИЯСИ

Бир металлнинг, умуман, бир элементнинг ҳар хил шароитда, масалан, ҳар хил температураларда турлича кристалл панжаралар ҳосил қила олиш хусусияти *аллотропия*, бошқача қилиб айтганда, *полиморфизм* деб аталади. Металлнинг ҳар хил кристалл турлари шу металлнинг *аллотропик шакл ўзгаришлари* ёки *модификациялари* дейилади. Металларнинг аллотропик шакл ўзгаришлари грек ҳарфлари: α, β, γ, δ ва бошқалар билан белгиланади. Металларнинг энг паст температурада мавжуд бўладиган аллотропик шакл ўзгариши α билан, ундан юқорироқда мавжуд бўладиган шакл ўзгариши β билан кўрсатилади ва хоказо. Масалан, темир икки хил панжара: 911° С дан паст ва 1392—1539°С температураларда ҳажмий марказлашган куб панжара, 911—1392°С температураларда ёқлари марказлашган куб панжара ҳосил қилади. Демак, 911°С дан паст температурадаги темир α(β)-темир бўлса, 911—1392°С температуралардаги темир γ-темирдир. Темир-

нинг 1392—1539°С температуралардаги шакл ўзгариши ҳам α-темирдир, бу тўғрида кейинроқ батафсил сўзланади (126-бетга қаранг).

Аллотропик шакл ўзгариш вақтида иссиқлик ажралиб чиқади ёки ютилади.

Металларнинг қайси температураларда қандай аллотропик шакл ўзгаришлари мавжуд бўла олиши 3-жадвалда кўрсатилган.

3-жадвал

Баъзи металларнинг аллотропик шакл ўзгаришлари

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Аллотропик шакл ўзгариши	Барқарор ҳолат температуралари, °С	Кристалл панжарасининг тури
Қалай (Sn)	α	18 гача	Олмос типидаги куб панжара
	β	18 дан 232 гача	Ҳажми марказлашган тетрагонал панжара
Темир (Fe)	α (β, δ)	911 гача ва 1392 дан 1539 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
	γ	911 дан 1392 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
Кобальт (Co)	α	450 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	450 дан 1480 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
Титан (Ti)	α	882 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	882 дан 1725 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Цирконий (Zr)	α	867 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	β	867 дан 1860 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Марганец (Mn)	α	727 гача	Кўп атомли мураккаб куб панжара
	β	727 дан 1095 гача	Кўп атомли мураккаб куб панжара
	γ	1095 дан 1134 гача	Ёқлари марказлашган тетрагонал панжара
	δ	1134 дан 1244 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
Уран (U)	α	668 гача	Орторомбик панжара
		668 дан 720 гача	Тетрагонал панжара
	β	720 дан 1132 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара
	γ		
Кальций (Ca)	α	250 гача	Ёқлари марказлашган куб панжара
	β	250 дан 464 гача	Атомлари зич жойлашган гексагонал панжара
	γ	464 дан 851 гача	Ҳажми марказлашган куб панжара

12-§. МЕТАЛЛАРНИНГ КРИСТАЛЛАНИШИ

Бирламчи кристалланиш. Металларнинг суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши *бирламчи кристалланиш* деб аталади.

Совитилганда кристалланиш (қиздирилганда эса суюқланиш) температураси ўзгармас босимда айни бир металл учун ўзгармас катталикдир (4-жадвал).

4-жадвал

Баъзи металларнинг суюқланиш температураси

Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида	Металлнинг номи ва химиявий белгиси	Суюқланиш температураси, °С ҳисобида
Симоб (Hg)	—38,9	Кальций (Ca)	851	Цирконий (Zr)	1860
Қалай (Sn)	232	Германий (Ge)	936	Ниобий (Nb)	2450
Висмут (Bi)	271	Мис (Cu)	1083	Молибден (Mo)	2600
Қўрғошин (Pb)	327	Марганец (Mn)	1244	Вольфрам (W)	3390
Рух (Zn)	419	Никель (Ni)	1452		
Сурьма (Sb)	631	Кобальт (Co)	1490		
Магний (Mg))	651	Темир (Fe)	1539		
Алюминий (Al)	657	Титан (Ti)	1725		
		Хром (Cr)	1850		

Металл бир агрегат ҳолатдан бошқа бир агрегат ҳолатга ўтганда иссиқлик ажралиб чиқади ёки ютилади, демак, бундай системани иссиқлик ҳодисаси рўй берадиган система дейиш мумкин.

Суюқ модда совитилганда $T_м$ температурада (20-расмга қаранг) кристалланиш процесси содир бўлмайди, чунки бу температурада, юқорида айтиб ўтилганидек, $F_{с.ф} = F_{қ.ф}$ бўлади. Суюқ фазанинг кристаллана бошлаши учун системанинг эркин энергияси камайиши, қаттиқ фазанинг (кристаллнинг) суюқликка айланиши учун эса системанинг эркин энергияси ортиши керак. 20-расмдаги эгри чизиқлардан яққол кўриниб турибдики, суюқ фаза $T_м$ дан паст температурагача совитилганда унинг эркин энергияси камаяди, қаттиқ фаза $T_м$ дан юқори температурагача қиздирилганда эса системанинг эркин энергияси ортади.

Суюқ фазанинг $T_м$ дан паст температурагача совиши *ўта совиш* деб, қаттиқ фазанинг $T_м$ дан юқори температурагача қизиши эса *ўта қизиш* деб аталади.

Назарий кристалланиш (суюқланиш) температураси билан амалий кристалланиш (суюқланиш) температураси орасидаги айирма *ўта совиш даражаси* дейилади ва n ҳарфи билан белгиланади. Масалан, сурьманинг назарий кристалланиш (суюқланиш) температураси 631°С га тенг, ўта совиш даражаси (n) 41°С га етиши мумкин, демак, унинг амалий кристалланиш температураси 631°—41°=590°С бўлади.

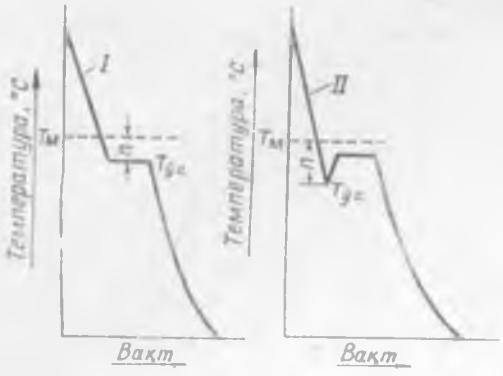
Кристалл жисмнинг (металлнинг) суюқ ҳолатдан кристалл ҳолатига ўтиш процессини ифодаловчи эгри чизиқлар 21-расмда тасвирланган.

Баъзи металларда (масалан, сурьмада) ўта совиш даражаси катта бўлганлигидан яширин суюқланиш иссиқлиги кристалланишнинг дастлабки пайтида шу қадар шиддат билан ажралиб чиқадики, бунда температура тўсатдан кўтарилиб, назарий кристалланиш температурасига

БИБЛИОТЕКА 694828

яқинлашиб қолади, бунда ўта совиш сиртмоғи (петляси) ҳосил бўлади (21-расм, *II*). Кўпчилик металлар учун кристалланиш вақтида ўта совиш даражаси жуда кичик бўлади.

Суюқ ҳолатдаги металлнинг кристалланиш процесси икки босқичдан: *кристалланиш марказлари* ҳосил бўлиш босқичи билан шу марказлар теварагида *кристалларнинг ўсиш* босқичидан иборатлигини илмий металлшуносликка асос солган олим Д. К. Чернов 1878 йилдаёқ кўрсатиб ўтган эди. Г. Тамман эса кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги ўта совиш даражасига боғлиқ эканлигини аниқлади.



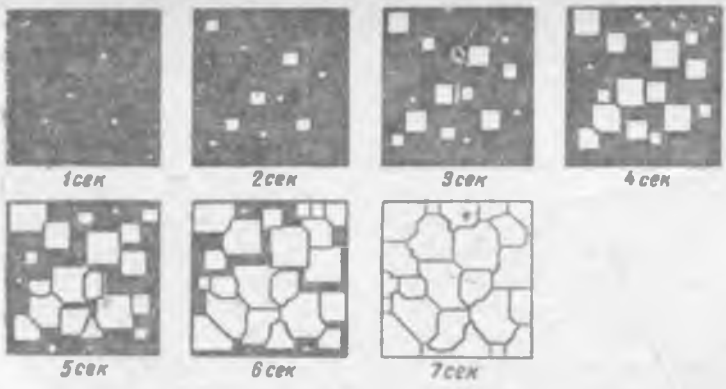
21-расм. Металлнинг совиш эгри чизиқлари:
I — ўта совиш сиртмоғи бўлмаган металлники;
II — ўта совиш сиртмоғи бўлган металлники.

Суюқ металлнинг температураси мувозанат температурасига яқинлашганда айрим жойлардаги атомлар, флуктуация * туфайли, фазода худди кристалл панжаралардагидек жойлашиб, атомлардан иборат группалар ҳосил қилади. Ана шу группаларнинг баъзилари кристалланиш марказлари бўлиб қолиши мумкин (кристалланиш марказларининг ўз-ўзидан ҳосил бўлиши).

Шуни ҳам айтиш керакки, кристалланиш марказлари ҳосил бўлишида суюқ металлдаги бегона заррачалар ҳам катта роль ўйнайди (кристалланиш марказларининг бегона заррачалардан ҳосил бўлиши).

Ҳосил бўлган кристалланиш марказлари ёқларидан кристаллар ўса бошлайди. Кристалларнинг ўсиш схемаси 22-расмда тасвирланган.

22-расмдаги схема кристалланиш тезлиги ва кристалланиш марказлари ҳосил бўлиш тезлиги ўзгармайдиган шароит учун тузилган. Схе-



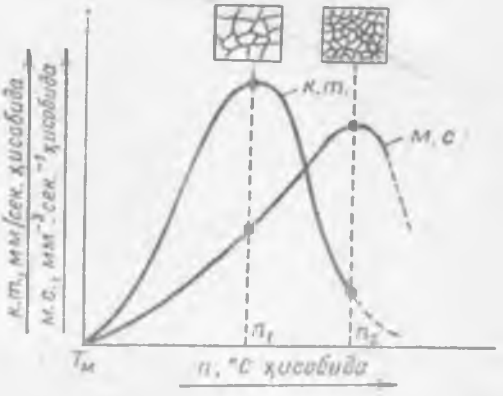
22-расм. Кристалларнинг ўсиш схемаси (И. Л. Миркин).

* Флуктуация (флюктуация) сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси тебраниш демакдир. Физикада бу терминдан газ ёки суюқликда молекулаларнинг (атомларнинг) бир текис тарқалишидан вақтинча, тасодифан четга чиқиши тушунилади. Флуктуация кристалланиш процессининг зарурий шартларидан биридир.

мадан кўринниб турибдики, кристалланишнинг дастлабки пайтларида кристаллар ўз геометрик шаклларини сақлаган ҳолда бемалол ўсади, аммо ўсаётган кристаллар бир-бири билан учрашган жойларда ўсишлан тўхтаб, ўсиш учун тўсқинлик бўлмаган томонга қараб ўса бошлайди. Бундай шароитда кристаллнинг мунтазам геометрик шакли бузилади. Мунтазам геометрик шакли бузилган бундай кристаллар *доналар* ё *кристаллитлар* ёки *полиэдрлар* деб аталади.

Энди, кристалланиш марказлари сони (*м. с.*) ва кристалларнинг ўсиш тезлиги (*к. т.*) билан ўта совиш даражаси (*n*) орасидаги боғланишни кўриб чиқайлик.

Кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги билан ўта совиш даражаси орасидаги боғланиш графиги 23-расмда тасвирланган*. Ўта совиш даражасининг ортиши билан кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги ортиб боради-да, ўта совиш даражаси бирор қийматга етганда улар максимумга эришади, ўта совиш даражаси ортишда давом этса, *м. с.* ва *к. т.* нолгача пасаяди. Ўта совиш даражасининг қийматлари кичик бўлганда кристаллар ўсиш тезлигининг ва кристалланиш марказлари сонининг ортишига сабаб шуки, мувозанат температураси ($T_м$) яқинида суюқликнинг ҳаракатчанлиги юқори бўлиб, суюқ фаза билан қаттиқ фаза (кристалл) эркин энергиялари айирмаси ортади, натижада кристалланиш тезлашади. Ўта совиш даражасининг қийматлари катта бўлганда кристаллар ўсиш тезлигининг ва кристалланиш марказлари сонининг пасайиши заррачалар ҳаракатчанлигининг пасайишидан келиб чиқади; ўта совиш даражасининг қийматлари катта бўлганда ва, бинобарин, паст температураларда заррачаларнинг ҳаракатчанлиги пасайиб, системанинг ўзгариш хусусияти заифлашади.



23- расм. Кристаллар ўсиш тезлиги (*к.т.*) нинг ва кристалланиш марказлари сони (*м. с.*) нинг ўта совиш даражаси (*n*) га қараб ўзгариш диаграммаси.

Ҳосил бўладиган кристалларнинг ўлчамлари кристалланиш марказлари сони билан кристалларнинг ўсиш тезлигига боғлиқдир. Кристалланиш марказлари сони кўп ва кристалларнинг ўсиш тезлиги кичик бўлса (масалан, n_2 да, 23-расм), майда кристаллар ҳосил бўлади ва, аксинча, кристалланиш марказлари сони кам, кристалларнинг ўсиш тезлиги юқори бўлса (масалан, n_1 да, 23-расм), йирик кристаллар ҳосил бўлади. Шундай қилиб, ўта совиш даражаси кристалланиш процессининг бориши учун зарур шарт-шароитлардан бири бўлиб, ҳосил бўладиган кристалларнинг майда-йириклигига таъсир этади.

Доналарнинг майда-йириклиги. Яқин вақтгача, суюқликлар ички тузилиши жиҳатидан қаттиқ моддалардан кўра газларга яқин туради деб ҳисобланар эди. Аммо суюқ металлнинг ички тузилишини рентген анализи ёрдамида ўрганиш соҳасида ўтказилган тадқиқотлар

*Кристалланиш марказлари сони 1 секундда 1 $мм^3$ ҳажмда ҳосил бўлган марказлар сони ($1/мм^3 \cdot сек = 1мм^{-3}сек^{-1}$) билан, кристалларнинг ўсиш тезлиги эса *мм/сек* ёки *мм/мин* билан ўлчанади.

кристалланиш температурасига яқин температурада суюқ металларда батартиб жойлашган (яқин тартибдаги) атомлар группаси бўлишини кўрсатди. Бу группа суюқ металлда кристалланиш марказлари вужудга келишига асос бўлади. Бинобарин, бирламчи кристалланиш процессининг бориши учун зарур бўлган иккинчи шарт-шароит суюқ металларда батартиб жойлашган атомлар группалари мавжудлигидир.

Кристалланиш процесси бошқа бир қатор факторларга ҳам боғлиқ. Суюқ металлда жуда майда бегона заррачаларнинг бўлиши, металл қуйиладиган қолип деворларининг ҳолати, суюқ металлнинг қолипга қуйилиш пайтидаги температураси ва бошқа факторлар ҳам кристалланиш процессига ҳамда ҳосил бўладиган кристалларнинг майда-йириклигига таъсир этади. Кристалланиш процессига қўшимчаларнинг таъсир этиш ҳодисасндан металлургияда ва қуйиш ишида пўлат, чўян, силумин ва бошқа металл ҳамда қотишмаларни модификациялаш учун кенг кўламда фойдаланилади. Масалан, суюқ металл ёки қотишмага қийин суюқланадиган бошқа металларнинг жуда майда (дисперс) заррачалари қўшилса, қўшимча кристалланиш марказлари ҳосил бўлиб, кристалланиш процесси тезлашади, натижада қуйма майда кристалли тузилишга эга бўлиб қолади. Суюқ металл ёки қотишмага қўшиладиган бундай дисперс заррачалар *модификаторлар* деб аталади.



24-расм. Дендритнинг схемаси (*а*) ва Чернов кристали (*б*).

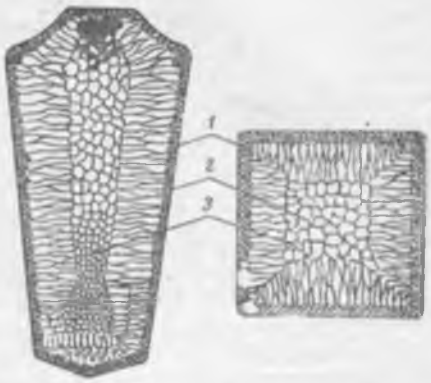
К р и с т а л л а р н и н г ш а к л и. Ута совиш даражаси кристалларнинг шаклига ҳам таъсир этади. Ўта совиш даражаси жуда кичик бўлса, мунтазам геометрик шаклдаги кристаллар ҳосил бўлади. Ўта совиш даражаси бир қадар каттароқ бўлса, кристаллар дендрит шаклини олади, яъни кристаллар, асосан фазовий кристалл панжаранинг асосий ўқларига мос йўналишда ўсади (24-расм). Ўта совиш даражаси анча катта бўлса, сферонд шаклндаги кристаллар ҳосил бўлади.

Металл қуймаларда кристаллар, умуман айтганда, дендрит шаклида бўлади. Дендритнинг схемасини жаҳонда биринчи бўлиб, Д. К. Чернов чизиб берган эди.

Агар кристалланиш шароити яхши бўлса, ғоят катта дендритлар ўсади. 100 тоннали пўлат қуйманинг чўкиш (киришиш) бўшлиғида (чўкиш раковинасида) Д. К. Чернов 39 *см* узунликдаги дендритни топди. Бу дендрит одатда, «Чернов кристали дейилади». Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, дендритлар, ўз навбатида, жуда кўп минг ва миллион кристаллитлардан (доналардан) иборат бўлади. Ҳар хил кристалланиш

марказларидан ҳосил бўлган дендритлар бир-бири билан тўқнашади, бунинг натижасида дендритлар ташқи шакли номунтазам бўлган кристаллитларга, яъни доналарга айланади.

Металл қуймаларнинг тузилиши. Маълумки, ишлаб чиқариш шароитида суюқ металлар маълум шаклли қолипларга қуйилади, қолиплар деворларининг температураси эса суюқ металлникидан паст бўлади ва ҳосил қилинган қуйманинг макроструктраси ҳам, химиявий таркиби ҳам бир жинсли бўлмайди, чунки бундай қуймаларнинг турли зоналарида кристалланиш шароити турлича бўлади Қуйманинг макроструктураси дастлаб Д. К. Чернов таклиф этган схемага, асосан, мувофиқ келади (25-расм).



25- расм. Пўлат қуйманинг тузилиши (схема):

1 — майда донали зона; *2* — узунчоқ кристаллар зонаси. *3* — тенг ўқли кристаллар зонаси.

25-расмдан кўриниб турибдики, қуйма металлнинг структураси учта асосий зонадан: майда донали сиртқи зона, узунчоқ кристаллар зонаси ва тенг ўқли кристаллар зонасидан иборат.

Биринчи зона, яъни майда донали зона тартибсиз жойлашган майда дендрит-кристаллардан иборат. Маълумки, суюқ металл қанчалик тез совитилса ва унинг ўта совиш даражаси қанчалик катта бўлса, кристалланиш марказлари шунчалик кўп ҳосил бўлиб, доналар шунчалик майдалашади. Суюқ металлнинг қолип деворларига тегиб турган жойида совиш тезлиги ва ўта совиш даражаси бошқа жойларига қараганда энг катта бўлади. Биринчи зонада майда дендрит-кристаллар ҳосил бўлишининг сабаби ана шу. Майда донали зона, расмдаги схемадан кўриниб турибдики, бошқа зоналардан кичикдир.

Иккинчи зона, яъни узунчоқ кристаллар зонаси маълум йўналишда — майда донали зона (қобиқ) томон жойлашган кристаллардан иборат. Бундай кристаллар ҳосил бўлишига сабаб шуки, иккинчи зонада совиш тезлиги пасаяди, чунки қолипнинг девори исийди, ҳосил бўлган биринчи зона (қобиқ) иссиқликнинг чиқишига қаршилик кўрсатади ва ҳоказо, бундан ташқари, суюқ металлнинг қобиқ ёнидаги қаватида температуралар градиенти тез пасаяди, ўта совиш даражаси кичраяди, бинобарин, кристалланиш марказлари сони кам бўлади. Кристалланиш марказлари сони кам бўлганлигидан, қобиқ томон, яъни иссиқликнинг чиқиб кетиш йўналишида узунчоқ кристаллар ўса бошлайди. Иккинчи зонанинг батартиб жойлашган узунчоқ кристаллардан иборат бўлишига сабаб ана шу. Иккинчи зона транскристаллизацион зона деб ҳам аталади.

Учинчи зона, яъни тенг ўқли кристаллар зонаси тартибсиз йўналган йирик кристаллардан иборат. Учинчи зонада совиш тезлиги энг паст бўлади ва иссиқликнинг чиқиб кетишида муайян йўналиш бўлмайди. Бу зонанинг тартибсиз йўналган кристаллардан иборат эканлигининг сабаби ана шу. Тенг ўқли кристаллар зонасида кристалланиш марказлари вазифасини, одатда, суюқ металлдаги жуда майда ҳар хил қўшилмалар ўтайди.

Қуйманинг энг зич зонаси иккинчи зона бўлиб, унинг механик хоссалари энг юқоридир, аммо қуйма босим билан ишланганда узунчоқ кристалларнинг туташган жойлари пластик деформацияга энг кам

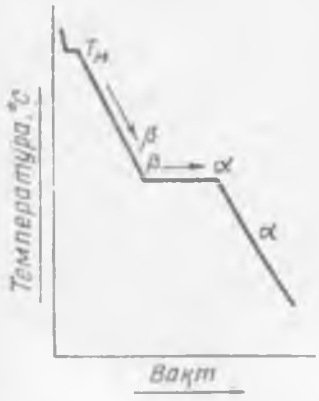
қаршилик кўрсатади ва металл ана шу жойларидан ёрилади, чунки узунчоқ кристалларнинг чегараларида қўшимчалар бўлади. Бинобарин, босим билан ишланадиган қуймаларда узунчоқ кристаллардан иборат зонанинг бўлиши номақбулдир.

Қуймада зоналар ҳажмини ўзгартириш мумкин, бунинг учун, асосан, суюқ металлнинг совиш тезлиги ўзгартирилади: совиш тезлиги қанчалик паст бўлса, узунчоқ кристаллар зонасининг ҳажми шунчалик кичик бўлади.

Маълумки, суюқ металлнинг ҳажми қотган (кристалланган) металлнинг ҳажмидан катта бўлади, бинобарин, қолипга қуйилган суюқ металл қота борган сари унинг ҳажми кичраяди, натижада чўкиш бўшлиқлари деб аталадиган бўшлиқлар ҳосил бўлади. Бундан ташқари, суюқ металлда эриган газлар металл қотганда (кристалланганда) ажралиб чиқиб, ғоваклар ёки чиқиб кета олмай газ пуфаклари ҳосил қилади. Чўкиш бўшлиқлари, ғоваклар ва газ пуфаклари қуйманинг нуқсонларидир, улар, шароитга қараб, қуйманинг тепа қисмида ёки бутун ҳажмига тарқалган ҳолда бўлиши мумкин. Яхши чучитилган, яъни оксидсизлантирилган (қайнамайдиган) пўлат қуймасида чўкиш бўшлиғи қуйманинг юқориги қисмида, яхши чучитилмаган (қайновчи) пўлат қуймасида эса чўкиш бўшлиғи ва газ пуфаклари қуйманинг бутун ҳажмига тарқалган ҳолда бўлади.

Иккиламчи кристалланиш. Қаттиқ ҳолатдаги металлар кристалл панжараларининг ўзгариши *иккиламчи кристалланиш* ёки *қайта кристалланиш* деб аталади. Қаттиқ ҳолатдаги металларда бўладиган ўзгаришлар жумласига юқорида айтиб ўтилган аллотропия ҳодисаси киради. Аллотропия ҳодисаси Д. И. Менделеев даврий системасининг қўшимча группача металлари ва баъзи бошқа металлар орасида энг кўп тарқалган. Темир, қалай, титан, марганец, кобальт ва бошқа металлар ана шулар жумласидандир.

Барқарор ва, демак, реал мавжуд бўла оладиган панжара эркин энергия запаси энг кам панжарадир. Масалан, қаттиқ ҳолатда литий, калий, цезий, вольфрам ва бошқа металларнинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб, кальций, кумуш, олтин, платина ва бошқа металларнинг кристалл панжараси ёқлари марказлашган куб, бериллий, цирконий ва баъзи бошқа металларники эса гексагонал панжаралардир. Аммо бир қатор ҳолларда температура ва босимнинг ўзгариши билан айни бир металлнинг кристалл панжараси ҳам ўзгаради, яъни у қайта кристалланади. Масалан, темирнинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб бўлиши ҳам, ёқлари марказлашган куб бўлиши ҳам мумкин ва ҳоказо.



26- расм. Қайта кристалланишда металлнинг совиш эгри чизиғи.

Амалий металлшунослик учун, асосан, температуранинг ўзгариши натижасида келиб чиқадиган шакл ўзгаришлар муҳим аҳамиятга эга, чунки босимнинг озроқ ўзгариши, амалда, аллотропик шакл ўзгаришга олиб бормайди.

Қиздирилган металлнинг аллотропик шакл ўзгариши билан боғлиқ бўлган қайта кристалланиш вақтида ўзгармас температурада иссиқлик ютилади, совитилганда эса, назарий жиҳатдан олганда, қиздирилгандаги каби ўзгармас температурада иссиқлик ажралиб чиқади. Қайта кристалланишда металлнинг совиш эгри чизиғи 26-расмда тасвирланган.

Аллотропик шакл ўзгаришлар учун кристалланиш марказлари сони ва кристалларнинг ўсиш тезлиги билан ўта совиш даражаси орасидаги богланишни кўрсатувчи эгри чизиқлар шакли ҳам суюқ ҳолатдан кристалланишдаги каби бўлади.

Металларда бўладиган аллотропик шакл ўзгаришларнинг аҳамияти катта, чунки ҳар хил модификацияда бўла оладиган металларнинг хоссалари аллотропик шакл ўзгаришларга кўп даражада боғлиқдир. Масалан, темирнинг ҳар хил шакл ўзгаришларининг физикавий хоссалари турлича бўлади: γ-темирнинг кристалл панжараси α-темирникига қараганда анча ихчам ва анча зич бўлади. Шунинг учун γ-темирнинг α-темирга айланишида ҳажм ўзгаради. Бу эса металлда структура кучланишлари ҳосил бўлишига олиб келади. Бундан ташқари, углероднинг α-темирда эрувчанлиги билан γ-темирда эрувчанлиги орасида ҳам фарқ бор. α-темирда кўпи билан 0,02% углерод эриса, γ-темирда 2,14% углерод эрийди; α-темирда магнитланиш хусусияти бўлса, γ-темирда бундай хусусият бўлмайди ва ҳоказо.

Яна бир мисол келтирайлик. Қалай икки хил модификацияда бўла олади. Қалайнинг аллотропик шакл ўзгаришларидан бири кул ранг қалай, иккинчиси эса оқ қалайдир. 18°С дан паст температурада қалайнинг α-модификацияси (кул ранг қалай), 18°С дан юқори температурада эса β-модификацияси (оқ қалай) мавжуд бўлади. α-қалайнинг кристалл панжараси ҳажми марказлашган тетрагонал панжара бўлиб, координацион сони 6 га тенг, β-қалайнинг кристалл панжараси олмос типидаги куб панжара бўлиб, координацион сони 4 га тенгдир. β-қалайнинг кристалл панжараси α-қалайникига қараганда анча зич (компакт), шунинг учун β-қалайнинг α-қалайга айланишида β-қалай сиртида α-қалайнинг кукунлари ҳосил бўлади, бу ҳодиса «қалай вабоси» деб аталади. β-қалайнинг α-қалайга айланиш тезлиги тахминан — 30°С гача ўта совитилганда энг катта қийматига эришали. Шунинг учун қалай — 30°С дан паст температураларда сақланганда «қалай вабоси» хавфи кучаяди.

II БОБ

МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК, МЕХАНИК ҲАМДА ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

А. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ФИЗИК ХОССАЛАРИ

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги, иссиқ ўтказувчанлиги, электр ўтказувчанлиги ва шу каби хоссалари уларнинг *физик хоссалари* дейилади.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма оғирлиги. Жисм оғирлигининг ҳажмига нисбати шу жисмнинг *солиштирма оғирлиги деб* аталади ва d* ҳарфи билан белгиланади:

$$d = \frac{G}{V} \; Мн/м^3 \; (10^{-2} Г/см^3) \qquad (1)$$

бу ерда d — жисмнинг солиштирма оғирлиги, $Мн/м^3$ ҳисобида;
G — жисмнинг оғирлиги, $Мн$ ҳисобида,
V — жисмнинг ҳажми, $м^3$ ҳисобида.

Металл ва қотишмаларнинг кенгайиш коэффициентлари. Кенгайиш коэффициентлари ишлаш вақтида қизийдиган деталларни ҳисоблашда катта аҳамиятга эга. Металл ва қотишмалар ҳам. худди бошқа жисмлар каби, қиздирилганда кенгаяди. l узунликдаги металл Δt°С қиздирилганда узунлигининг ортиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\Delta l = \alpha l \Delta t \; м \cdot град \; (10^{-3} мм \cdot град) \qquad (2)$$

бу ерда Δl — металл узунлигининг ортиши, $м \cdot град$ ҳисобида;
α — пропорционаллик коэффициенти;
l — қиздирилмасдан олдинги узунлиги;
Δt — температуранинг ортиши, °С ҳисобида.

(2) формуладан:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta t} \; град^{-1} \qquad (2\text{ а})$$

бўлади. Пропорционаллик коэффициенти (α) *чизиқли кенгайиш коэффициенти* деб ҳам юритилади.

Ҳажмий кенгайиш коэффициенти (β) қуйидаги муносабатдан тақрибан ҳисоблаб топилади; металл 1°С қиздирилганда ҳажм бирлигининг ортишини бундай ёзиш мумкин:

$$1 + \beta = (1 + \alpha)^3 = 1 + 3\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^3. \qquad (3)$$

Бу тенгламадаги $3\alpha^2$ ва α^3 жуда кичик миқдорлар бўлганлиги учун уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, шу сабабли (3) тенгламани бундай ёза оламиз:

$$\beta \approx 3\alpha, \qquad (3\text{ а})$$

бу ерда α — чизиқли кенгайиш коэффициенти;
β — ҳажмий кенгайиш коэффициенти.

Металл ва қотишмаларнинг суюқланишида улар ҳажмининг ўзгариш коэффициенти. Бу коэффициент қуйиш ишида катта аҳамиятга эга. Металл суюқланиш температурасигача қиздирилганда у суюқланади, бунда унинг ҳажми бирданига ўзгаради (27- расм). Суюқланиш вақтида металл ҳажмининг ўзгаришини ΔV билан, металл-

*СИ системасида d ўрнига γ ишлатилади.

нинг суюқланишдан олдинги ҳажмини V билан белгилайлик. ΔV нинг V га нисбати *суюқланиш вақтида металл ҳажмининг ўзгариш коэффициенти* деб аталади ва γ билан белгиланади:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V}. \qquad (4)$$

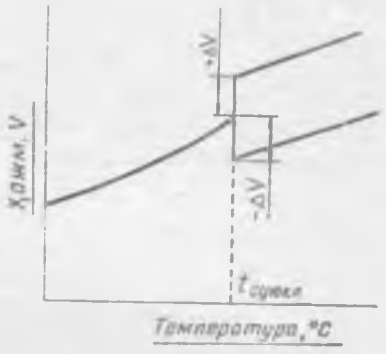
Бу нисбатни % билан ифодаласак, қуйидагича бўлади:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100\%. \qquad (4\text{ а})$$

Металл ёки қотишма қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтишида унинг ҳажми кенгайса, γ нинг қиймати мусбат, агар торайса, γ нинг қиймати манфий бўлади.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма иссиқлик сиғими. 1 *кг* металлни 1°С иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори *шу металлнинг солиштирма иссиқлик сиғими* деб аталади ва C ҳарфи билан белгиланади. Иссиқлик сиғими *кж/кг · град* (4^{-1} *кал/г · град*) билан ўлчанади.

Металл ва қотишмалар иссиқлик сиғимининг қиймати уларни термик ишлаш, болғалаш, штамплаш ва прокатлаш учун қиздиришда сарф этиладиган иссиқлик миқдорини ҳисоблашда эътиборга олинади. Шуни назарда тутиш керакки, солиштирма иссиқлик сиғимининг ўзгариши натижасида пўлат бирмани ҳар хил температураларда маълум градус қиздириш учун сарф қилинадиган иссиқлик миқдори бир хил бўлмайди, масалан, юқори температуралар оралиғида қиздириш учун паст температуралар оралиғида қиздиришдагига қараганда тахминан бир ярим баравар ортиқ иссиқлик сарф қилинади.



27- расм. Суюқланиш вақтида металл ҳажмининг температурага қараб ўзгаришини кўрсатувчи график.

Металл ва қотишмаларнинг солиштирма иссиқ ўтказувчанлиги. Металлнинг бир-биридан 1 *см* оралиқда турган ва ҳар бирининг юзи 1 *см²* дан бўлган иккита майдонча орасида 1 *сек* давомида ўтказилган иссиқлик миқдори *шу металлнинг солиштирма иссиқ ўтказувчанлиги* дейилади ва λ билан белгиланади. Солиштирма иссиқ ўтказувчанлик *вт/м · град* ($\frac{1}{420}$ *кал/см · сек · град*) билан ўлчанади.

Металларнинг иссиқ ўтказувчанлиги температура кўтарилган сари пасаяди:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \alpha t), \qquad (5)$$

бу ерда λ_t — металлнинг t °С даги иссиқ ўтказувчанлиги;
λ_0 — шу металлнинг нормал температурадаги иссиқ ўтказувчанлиги;
α — иссиқ ўтказувчанликнинг температура коэффициенти;
t — температура.

α нинг қиймати манфий бўлади. Масалан, темир учун 0 дан 600°С гача бўлган температураларда α нинг қиймати — 5,8 10^{-4}га тенгдир. Темирнинг нормал температурадаги иссиқ ўтказувчанлиги 54,6 *вт/м · град* (0,13 *кал/см · сек · град*) га тенг, унинг 600°С даги иссиқ ўтказувчанлиги эса: $\lambda_{600°} = 45{,}7$ *вт/м · град* (0,085 *кал/см · сек · град*) бўлади.

Металл ва қотишмаларнинг иссиқ ўтказувчанлиги уларни қиздириш режимини танлашда ҳисобга олиниши керак.

Пўлатнинг иссиқ ўтказувчанлиги унинг химиявий таркибига боғлиқ бўлади. Пўлат таркибидаги ҳамма қўшимчалар унинг иссиқ ўтказувчанлигини пасайтиради.

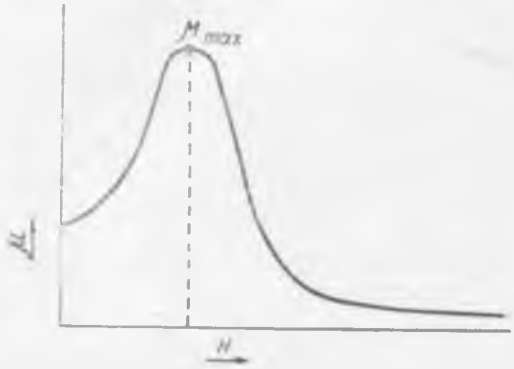
Металл ва қотишмаларнинг магнит хоссалари. Металл ва қотишмаларнинг магнит хоссаларини аниқлаш учун улар магнит майдонига киритилади. Кучланганлиги H бўлган магнит майдонига киритилган бирор металл ёки қотишма намунасида ҳам майдон ҳосил бўлади. Шу намунадаги майдоннинг кучланганлиги (B) билан ташқи майдоннинг кучланганлиги (H) орасида қуйидагича боғланиш бор:

$$B = \mu H, \qquad (6)$$

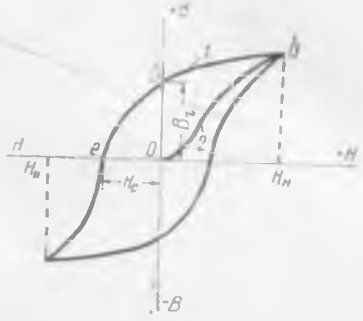
бу ерда B — магнит майдонига киритилган намунадаги майдоннинг кучланганлиги (магнит индукцияси), гаусс (*гс*) ҳисобида;
μ — коэффициент;
H — ташқи майдоннинг кучланганлиги, эрстед (*э*) ҳисобида.

μ коэффициент *магнит киритувчанлик* деб аталади. Магнит киритувчанлигининг қийматига кўра, металлар (қотишмалар) парамагнит металлар билан диамагнит металларга бўлинади. Парамагнит металлар учун $\mu > 1$, диамагнит металлар учун эса $\mu < 1$ бўлади.

Шундай металл ва қотишмалар борки, уларнинг магнит киритувчанлиги (μ) ташқи майдоннинг кучланганлигига боғлиқ бўлиб, бир неча минг бирликка етиши мумкин. Бу металл ва қотишмалар ферромагнит металлар группасига киради. Fe, Co, Ni ва баъзи қотишмалар ферромагнит металлардир. Ферромагнит металлар магнит киритувчанлигининг ташқи майдон кучланганлигига қараб ўзгариш эгри чизиғи 28-расмда тасвирланган.



28-расм. Ферромагнит металлар магнит киритувчанлигининг ташқи майдон кучланганлигига қараб ўзгариш эгри чизиғи

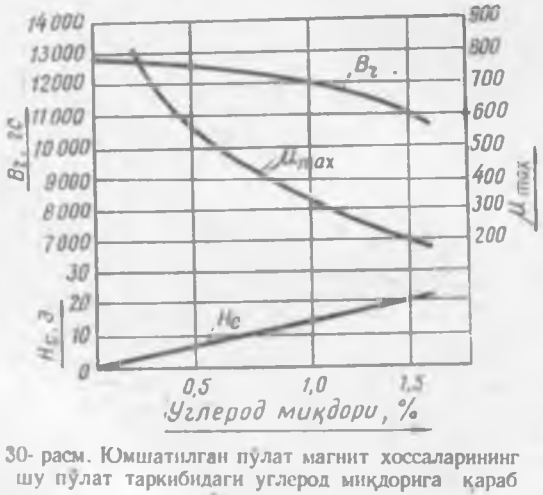


29-расм. Ферромагнит металларнинг магнитланиш эгри чизиғи:

1 — гистерезис сиртмоғи; 2 — бирламчи эгри чизиқ

Ташқи магнит майдони кучланганлиги билан ферромагнит металлдаги магнит индукцияси орасида маълум боғланиш бор. Ана шундай боғланиш диаграммаси 29-расмда тасвирланган.

29-расмдаги диаграммадан яққол кўриниб турибдики, ташқи майдоннинг кучланганлиги нолдан $H_н$ гача ортган сари ферромагнит металлдаги майдоннинг кучланганлиги *Ob* эгри чизиғи бўйлаб кўтарилади. Ташқи майдон олингандан кейин металлнинг магнитланганлиги сақланиб қолади ва, шунинг учун, металлдаги магнит майдонининг кучланганлиги нолга тенг бўлмайди, аммо *bв* чизиғи бўйлаб, B_r гача пасаяди. Ферромагнит металлдаги майдон кучланганлигининг бу қиймати *қолдиқ магнит индукцияси* деб аталади.



30-расм. Юмшатилган пўлат магнит хоссаларининг шу пўлат таркибидаги углерод миқдорига қараб ўзгариши.

Ферромагнит металлни магнитсизлантириш учун у тескари ишорали магнит майдонига киритилиши керак. Тескари (минус) ишорали ташқи майдоннинг кучланганлиги орта борса, металлдаги қолдиқ магнит индукцияси *ве* чизиғи бўйлаб камая боради ва тескари ишорали майдоннинг кучланганлиги H_c қийматга етганда ноль бўлиб қолади. Тескари ишорали майдоннинг ана шу кучланганлиги *коэрцитив* куч* деб аталади.

Қолдиқ магнит индукцияси (B_r) ва коэрцитив куч (H_c) ферромагнит металларнинг магнит хоссаларини акс эттиради.

Юмшатилган пўлатнинг магнит хоссаларн шу пўлат таркибидаги углерод миқдорига боғлиқ бўлади. Юмшатилган пўлат магнит хоссаларининг шу пўлат таркибидаги углерол миқдорига қараб ўзгаришини кўрсатувчи эгри чизиқлар 30-расмда тасвирланган.

30-расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, пўлат таркибидаги углерод миқдори ортиб борган сари пўлатнинг магнит киритувчанлиги тез пасаяди, қолдиқ магнит индукцияси секинроқ пасаяди, коэрцитив куч эса кўтарилади. Бинобарин, доимий

* «*Коэрцитив*» сўзи латинча «*коэрцито*» сўзидан олинган бўлиб, унинг маъноси «*ушлаб туриш*» демакдир.

магнитлар учун кўп углеродли пўлатлар, ўзак, трансформатор ва генераторлар учун эса кам углеродли пўлатлар ишлатилиши керак.

Металл ва қотишмаларнинг электр хоссалари. Металларнинг электр хоссаларини уларнинг солиштирма электр қаршилиги характерлайди. Узунлиги 1 *м* ва кўндаланг кесим юзи 1 *мм²* бўлган симнинг қаршилиги *унинг солиштирма электр қаршилиги* деб аталади ва ρ^* билан белгиланади. Солиштирма электр қаршилик қуйидаги формуладан топилади:

$$\rho = \frac{r}{l} s \quad ом \cdot м \quad (10^6 \; ом \cdot мм^2/м)$$

бу ерда ρ — солиштирма электр қаршилиги, *ом · м* ҳисобида;
r — электр қаршилиги, *ом* ҳисобида;
s — ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзи, *м²* ҳисобида.

Техникада электр ва радиотехника материалларининг солиштирма қаршилиги, кўпинча, *ом · мм²/м* билан ўлчанади (1 *ом · мм²/м* $= 10^{-6}$ *ом · м*). Металл ва қотишмаларнинг электр хоссаларини характерлаш учун, кўпинча, солиштирма электр қаршиликка тескари катталикдан, яъни $\frac{1}{\rho}$ дан фойдаланилади. Бу катталик *солиштирма ўтказувчанлик* ёки *солиштирма электр ўтказувчанлик* деб аталади.

Техникада ишлатиладиган металл ва қотишмаларнинг электр хоссалари ҳар хил бўлади. Масалан, электр симлари электр ўтказувчанлиги мумкин қадар катта бўлган металлардан, реостат ва бошқалар эса солиштирма электр қаршилиги имкони борича катта бўлган металлардан тайёрланади. Қаттиқ эритмалар ҳосил қилувчи металлар қотишмаларининг солиштирма электр қаршилиги катта бўлади. Аммо реостат каби асбоблар тайёрлаш учун ишлатиладиган қотишманинг солиштирма қаршилиги катта бўлишининг ўзигина кифоя қилмайди, бундай қотишма қизиганда ўзининг электр қаршилигини сақлаб қола оладиган бўлиши ҳам керак. Металларнинг юқори температуралардаги солиштирма электр қаршилиги температурага боғлиқ бўлиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

бу ерда ρ_t — металлнинг t температурадаги солиштирма қаршилиги;
ρ_0 — унинг 0°С даги солиштирма қаршилиги;
α — температура коэффициенти;
t — температура.

Кўпчилик тоза металлар учун α нинг қиймати $4 \cdot 10^{-3}$ га тенг.

В. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ МЕХАНИК ХОССАЛАРИ

Маълумки, машина деталларига ёки конструкция элементларига ташқи кучлар (нагрузкалар) хилма-хил тарзда таъсир этади. Масалан, тўсинларга эгувчи кучлар, ҳар хил валларга буровчи кучлар (моментлар), двигатель шатунларига сиқувчи кучлар, транспорт воситаларининг тиркамаларига эса чўзувчи кучлар таъсир этади ва ҳоказо. Бинобарин, машина деталлари ва конструкция элементлари ана шу кучларга бардош берадиган материаллардан тайёрланиши керак.

Машина деталлари ва конструкция элементларига ташқи кучлар уч хил тарзда: статик тарзда, динамик тарзда ва ўзгарувчан тарзда таъсир этиши мумкин.

Бир текисда таъсир этувчи нагрузка *статик нагрузка* деб, зарб билан таъсир этувчи нагрузка *динамик нагрузка* деб, таъсир этиш кучи ўзгариб турадиган нагрузка эса *ўзгарувчан нагрузка* деб аталади. Ўзгарувчан нагрузка нолдан маълум миқдоргача ошиб бориб, яна нолга тушиши, шунингдек, чўзувчи таъсир этиб, сўнгра сиқувчи таъсир этишга ўтиши мумкин.

Металл ва қотишмаларнинг ташқи кучлар таъсирига қаршилик кўрсатиш хусусияти *уларнинг механик хоссалари* деб аталади. Металл ва қотишмаларнинг механик хоссалари ҳар хил кучлар таъсирида синаб кўрилади.

Металл ва қотишмаларга кучларнинг қандай таъсир этишига қараб, уларнинг чўзилишдаги, сиқилишдаги, эгилишдаги, буралишдаги, зарб таъсиридаги пухталиги (мустаҳкамлиги), шунингдек, толиқиш чегараси аниқланади.

1-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЧЎЗИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг чўзилишдаги мустаҳкамлигини синашда уларнинг эластиклик чегараси, пропорционаллик чегараси, эластиклик модули, оқувчанлик чегараси, мустаҳкамлик чегараси, нисбий узайиши ва нисбий торайиши (ингичкаланиши) аниқланади.

---

* СИ системасида ρ ўрнига ϱ ишлатилади.

Намунада қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтига тўғри келадиган кучланиш *эластиклик чегараси* деб аталади ва $\sigma_э$ билан белгиланади:

$$\sigma_э = \frac{P_э}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

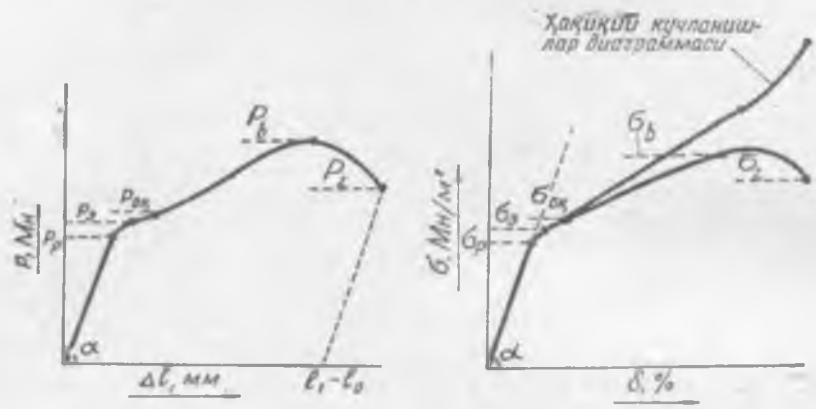
бу ерда $P_э$ — эластиклик чегарасига тўғри келган нагрузка, *Мн* ҳисобида;
F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

Намунанинг узайиши билан кучланиш орасидаги пропорционалликнинг бузилиш пайтига тўғри келган кучланиш *пропорционаллик чегараси* деб аталади ва $\sigma_р$ билан белгиланади:

$$\sigma_р = \frac{P_р}{F_0}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_р$ — пропорционаллик чегарасига тўғри келган нагрузка, *Мн* ҳисобида;
F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, пропорционаллик чегарасининг қиймати билан эластиклик чегарасининг қиймати намуна деформациясининг қанчалик аниқ ўлчанишига кўп даража-



а *б*

31- расм. Чўзиш ва кучланиш диаграммалари:

а — чўзиш диаграммаси; *б* — чўзишда кучланишлар диаграммаси ва ҳақиқий кучланишлар диаграммаси.

да боғлиқдир. Қолдиқ деформация ўлчаб бўладиган бирор қийматга, масалан, намуна узунлигининг 0,001, 0,002, 0,003, 0,005 ва ҳоказо процентига етгандагина шу қолдиқ деформация пайдо бўлганлиги қайд қилиниши мумкин. Қолдиқ деформациянинг ўлчаб бўладиган бу қиймати қанча кичик бўлса, яъни деформация қанчалик аниқ ўлчанса, шу деформацияни вужудга келтирган кучланиш—пропорционаллик чегараси ва эластиклик чегараси шунчалик кичик бўлади.

Намунани чўзилишга синаш вақтида шу намуна узунлигининг ва таъсир эттирилаётган кучнинг ўзгаришини диаграмма чизувчи махсус асбоб автоматик равишда қайд қилиб боради. Асбоб чизиб олган ана шундай диаграммалардан бири 31- расм, *а* да тасвирланган.

Чўзиш диаграммасида ординаталар ўқига нагрузка (P) қийматлари, абсциссалар ўқига эса абсолют узайиш (Δl) қийматлари қўйилади.

Дастлаб, намунанинг узайиши нагрузкага пропорционал равишда боради, яъни намунанинг узайиши билан нагрузка орасидаги боғланиш тўғри чизиқ билан ифодаланади, бу пропорционаллик нагрузканинг $P_р$ қийматигача — пропорционаллик чегарасигача давом этади. Пропорционаллик чегарасигача *Гук қонуни* ўз кучини сақлайди:

$$\sigma = E \cdot \delta,$$

бу ерда σ — чўзиш вақтидаги нормал кучланиш;
δ — нисбий узайиш;
E — пропорционаллик коэффициенти (эластиклик модули).

Юқоридаги муносабатдан эластиклик модулини топамиз:

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = \frac{\sigma \cdot l_0}{\Delta l}\ Мн/м^2\ (10^{-1} кГ/мм^2).$$

Бинобарин, нормал кучланишнинг эластик нисбий узайишга бўлган нисбатига сон жиҳатидан тенг катталик *эластиклик модули* деб аталади.

Диаграмманинг кучланишлар пропорционэл ўзгарадиган қисми абсциссалар ўқи билан α бурчак ҳосил қилганлигидан (31- расмга қаранг):

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sigma}{\delta}$$

бўлади, демак, эластиклик модулини график тарзда қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$E = \operatorname{tg}\alpha.$$

Пропорционаллик чегарасигача намунада фақат эластик деформация содир бўлади. Агар нагрузка олинса, намуна дастлабки ҳолатига қайтади. Нагрузка P_p қийматидан оширилса, намунанинг узайиши билан кучланиш орасидаги пропорционаллик бузилиб, намунада қолдиқ деформация пайдо бўлади. Намунада ана шундай қолдиқ деформация ҳосил киладиган нагрузка эластиклик чегараси нагрузкаси ($P_э$) деб аталади. Эластиклик чегарасида қолдиқ деформация қиймати жуда кичик (намуна дастлабки узунлигининг 0,005 процентигача) бўлганлигидан $P_э$ нагрузка P_p нагрузкага жуда яқин туради (31- расмга қаранг).

Нагрузканинг қиймати $P_э$ дан оширилса, эгри чизиқ ўнг томонга анча оғиб, сўнгра деярли горизонтал вазиятга келади, бу ҳол намунанинг чўзувчи куч таъсир этмаса ҳам узаяверишини кўрсатади. Бунда намуна гўё оқади, шунинг учун эгри чизиқнинг ана шу горизонтал қисмига тўғри келадиган нагрузка *оқувчанлик чегарасидаги нагрузка* ($P_{ок}$) деб аталади. Агар намунани чўзишда эгри чизиқда горизонтал қисм ҳосил бўлмаса, намуна дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг қолдиқ деформация ҳосил қиладиган нагрузка оқувчанлик чегарасидаги нагрузка деб қабул қилинади ва $P_{0,2}$ билан белгиланади.

Оқувчанлик чегарасидаги нагрузканинг намуна кўндаланг кесим юзига нисбати шу намуна *оқувчанлигининг физик чегараси* дейилади ва $\sigma_{ок}$ билан белгиланади:

$$\sigma_{ок} = \frac{P_{ок}}{F_0} \quad Мн/м^2 \ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_{ок}$ — оқувчанлик чегарасидаги нагрузка, $Мн$ ҳисобида;
F_0 — намуна кўндаланг кесимининг юзи, $м^2$ ҳисобида.

Намунанинг қолдиқ узайиши дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг бўлган пайтга тўғри келувчи кучланиш *оқувчанликнинг шартли чегараси* деб аталади ва $\sigma_{0,2}$ билан белгиланади:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \quad Мн/м^2 \ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда $P_{0,2}$ — намунанинг қолдиқ узайиши дастлабки узунлигининг 0,2 процентига тенг бўлган пайтга тўғри келувчи нагрузка, $Мн$ ҳисобида;
F_0 — намуна кўндаланг кесимининг юзи, $м^2$ ҳисобида.

Оқувчанлик чегарасидан сўнг металлнинг кучланиши узининг энг юқори қийматига етади. Кучланишнинг ана шу қийматидаги нагрузка *мустаҳкамлик чегарасидаги нагрузка* деб аталади ва P_b билан белгиланади (31- расмга қаранг). Нагрузка P_b қийматига етгач намунада бўйин ҳосил бўла бошлайди, бунинг натижасида нагрузка пасая боради. Ниҳоят, нагрузканинг қиймати P_z га тушганда намуна узилади. Нагрузканинг ана шу қиймати (P_z) намунанинг *узилиш пайтидаги нагрузка* деб аталади.

Мустаҳкамлик чегарасидаги нагрузканинг нагрузка таъсир эттирилишидан олдинги кўндаланг кесим юзига нисбати *мустаҳкамлик чегараси* деб аталади ва σ_b билан белгиланади:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \ Мн/м^2 \ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда P_b — намунага таъсир этган энг катта нагрузка, $Мн$ ҳисобида;
F_0 — намунанинг нагрузка таъсир эттирилишидан олдинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

Намунанинг узилишга кўрсатган ҳақиқий қаршилиги, бошқача айтганда, мустаҳкамлигининг ҳақиқий чегараси (σ_z) қуйидаги формуладан топилади:

$$\sigma_z = \frac{P_z}{F_0} \ Мн/м^2 \ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда P_z — намунанинг узилиши пайтидаги нагрузка, $Мн$ ҳисобида;
F_0 — намуна бўйинининг* узилгандан кейинги кўндаланг кесим юзи, $м^2$ ҳисобида.

* Намунанинг нагрузка таъсирида энг ингичкалашган жойи бўйин дейилади.

Бинобарин, $\frac{P_z}{F_0}$ нисбатан намунанинг *узилишга кўрсатган ҳақиқий қаршилиги* ёки *мустаҳкамлигининг ҳақиқий чегараси* деб аталади.

Намуна чўзилганда унинг бўйи узайиб, кўндаланг кесим юзи кичраяди.

Металл ёки қотишманинг пластиклигини иккита катталик: нисбий узайиш ва нисбий торайиш деб аталадиган катталиклар акс эттиради.

Намунанинг нисбий узайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда δ — намунанинг нисбий узайиши, % ҳисобида;
l_1 — намунанинг синашдан кейинги узунлиги;
l_0 — унинг синашдан олдинги узунлиги.

Бинобарин, % ҳисобида ифодаланган $\frac{l - l_0}{l_0}$ нисбат *нисбий узайиш* деб аталади.

Намунанинг нисбий торайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\varphi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда φ — намунанинг нисбий торайиши, % ҳисобида;
F_0 — намуна кўндаланг кесимининг синашдан олдинги юзи;
F_1 — унинг (бўйнининг) синашдан кейинги юзи.

Демак, % ҳисобида ифодаланган $\frac{F_0 - F_1}{F_0}$ нисбат *нисбий торайиш* деб аталади.

$P - \Delta l$ координаталарида тузилган диаграмманинг характери намунанинг ўлчамларига боғлиқ бўлади. Агар диаграмма $\sigma - \delta$ координаталарида тузилса (31- расм, *б*), диаграмманинг характери намуна ўлчамларига боғлиқ бўлмайди. 31- расмдан яққол кўриниб турибдики, чўзилиш эгри чизиғининг характери иккала диаграммада ҳам бир хил.

31- расм, *а* да келтирилган диаграммадан кучланиш ўзининг энг юқори қийматига етгандан кейин пасая боради, яъни намунанинг пухталиги камаяди деган хулоса келиб чиқади, аммо аслида бундай бўлмайди, шу сабабли 31- расм, *а* да келтирилган диаграмма, айниқса, унинг $P_{ож}$ нуқтадан кейинги қисми шартлидир. Агар нагрузка ортиши билан намуна кўндаланг кесимининг кичрайиб бориши назарда тутилиб, нагрузка намуна кўндаланг кесимининг юзига нисбатан олинса, чўзилиш эгри чизиғи бўйин ҳосил бўла бошлагандан кейин пасаймай, балки кўтарилади, ҳосил бўлган диаграмма эса ҳақиқий кучланишлар диаграммаси бўлади (31- расм, *б*).

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, ҳақиқий диаграмма тузиш жуда қийин ишдир, чунки бундай диаграмма тузиш учун нагрузка таъсир қилаётган ҳар қайси пайт учун намуна кўндаланг кесимининг юзини ўлчаб бориш зарур бўлади, бу эса осон иш эмас. Шу сабабли, чўзилишнинг шартли диаграммаларидан фойдаланилади.

Синалиши керак бўлган материалдан чўзилишга синаш учун маълум шаклда ва ўлчамда қилиб, доиравий кесимли (цилиндрик) ёки ясси намуналар таёрланади; намуналарнинг шакли ва ўлчамлари ГОСТ да белгиланган бўлади. Доиравий кесимли намуналар (32- расм,*а*) токарлик станогида, ясси намуналар (32- расм,*б*) эса фрезерлаш станогида ясалади. Намуналар нормал ва пропорционал намуналарга бўлинади. Нормал ва пропорционал намуналар узун ҳам қисқа ҳам бўлиши мумкин.



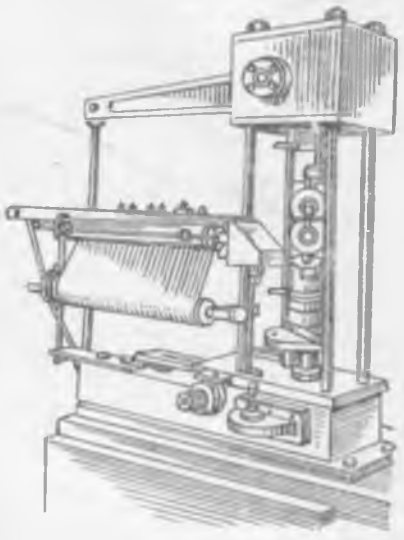
а *б*

32- расм. Чўзилишга синаш учун ишлатиладиган стандарт намуналар (ГОСТ 2055-43):

а — доиравий кесимли намуна; *б* — ясси намуна; *h* — каллагининг узунлиги; *a* — ясси намунанинг қалинлиги; *b* — ясси намунанинг эни; *l* — ясси намунанинг умумий узунлиги; *R* — юмалоқлаш радиуси; d_0 — доиравий кесимли намунанинг диаметри; *D* — доиравий кесимли намуна каллагининг диаметри; l_0 — ҳисоблаш (иш) узунлиги; *B* — ясси намуна каллагининг эни; *d'* — конус асосининг диаметри.

Доиравий кесимли нормал намунанинг диаметри 20 *мм*, кўндаланг кесим юзи эса 314 *мм* қилинади; узун намунанинг бўйи 200 *мм*, қисқа намунанинг бўйи эса 100 *мм* бўлади. Узун намуна бўйининг диаметрига нисбати 10, қисқа намуна бўйининг диаметрига нисбати 5 бўлганлигидан, синаш натижасида аниқланган нисбий узайиш узун намуна учун δ_{10} билан, қисқа намуна учун эса δ_5 билан белгиланади.

Ясси нормал намуна қундаланг кесимининг юзи худди доиравий кесимли намунаники каби бўлади. Ясси намуна қалинлигининг энига нисбати ихтиёрийдир. Ясси намунанинг қалинлиги чала фабрикатнинг қалинлигидек бўлади. Агар нормал намуна тайёрлаш имконияти бўлмаса, нормал намуна ўлчамларига пропорционал бўлган бошқа ўлчамли намуналар тайёрланади; бундай намуналарнинг пропорционал деб аталишига сабаб ҳам ана шу. Пропорционал намуналарнинг кўндаланг кесими ихтиёрий бўлиши мумкин, аммо иш узунлиги муайян бўлиши — узун намуна учун $l_0 = 11{,}3\sqrt{F_0}$, қисқа намуна учун эса $l_0 = 5{,}65\sqrt{F_0}$ бўлиши керак.



33- расм. ИМ-4Р типдаги универсал узиш машинасининг умумий кўриниши.

Намунани синаш олдидан унинг диаметри (агар намуна цилиндрик бўлса) ёки энн билан қалинлиги (агар намуна ясси бўлса) ўлчанади ва намунанинг иш узунлигига махсус машина ёрламида ҳар 5 ёки 10 *мм* оралиқда чизиқчалар қўйиб чиқилади. Бундай қилинганда намунанинг узайишини аниқлаш қулай бўлади. Ана шу тарзда тахт қилинган намуна узиш машинасининг қисқичларига маҳкамланиб, намуна узилгунча нагрузка қўйиб борилади. Намунани узиб юборган нагрузка аниқлангандан кейин, бу нагрузка намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзига тақсим қилинса, намуна материалининг мустаҳкамлик чегараси чиқади.

Намуналарнинг чўзилишга пухталиги универсал узиш машиналарида синалади. Бундай машиналардан бирининг умумий кўриниши 33- расмда тасвирланган.

Узиш машиналарининг конструкциялари, бу машиналарда намуналарни синаш, чўзилиш диаграммасидан пропорционаллик ва оқувчанлик чегараларини ҳамда бошқа характеристикаларни аниқлаш металлшуносликдан лаборатория ишларига оид қўлланмаларда батафсил баён этилганлигн учун улар тўғрисида биз бу ерда тухталиб ўтирмаймиз.

2- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ СИҚИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Одатда, сиқиш натижасида синадиган мўрт материалларнинг, масалан, чўян ва шу кабиларнингина сиқилишдаги мустаҳкамлиги синалади. Пластик материаллар, масалан, кам углеродли пўлат, мис ва бошқаларнинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди, чунки улар сиқилганда пластик деформацияланади-ю, аммо синмайди.

Чўян билан мисннинг сиқилиш диаграммалари 34- расмда схема тарзида тасвирланган. Бу диаграммалардан кўриниб турибдики (34- расм, *а*), чўян диаграммасида тўғри чизиқли қисми бор, диаграмманинг ана шу қисми пропорционаллик чегарасини аниқлашга имкон беради:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0}.$$

Намунанинг емирилиш пайтига тўғри келадиган нагрузка P_b дан сиқилишга мустаҳкамлик чегарасини аниқлаш мумкин:

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}.$$

34-расм, *б* даги схемадан кўриниб турибдики, сиқилиш эгри чизиги σ ўқи билан параллел бўлишга интилади, шунинг учун пластик материалнинг сиқилишга мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди.

Намуна сиқилганда у қисқаради, намунанинг бундай қисқариши қуйидаги формуладан топилади:

$$\varepsilon_{сиқ} = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда $\varepsilon_{сиқ}$ — намунанинг сиқилишда қисқариши, % ҳисобида;
h_0 — намунанинг синашдан олдинги баландлиги, *мм* ҳисобида;
h — намунанинг сиқилгандан кейинги баландлиги, *мм* ҳисобида.

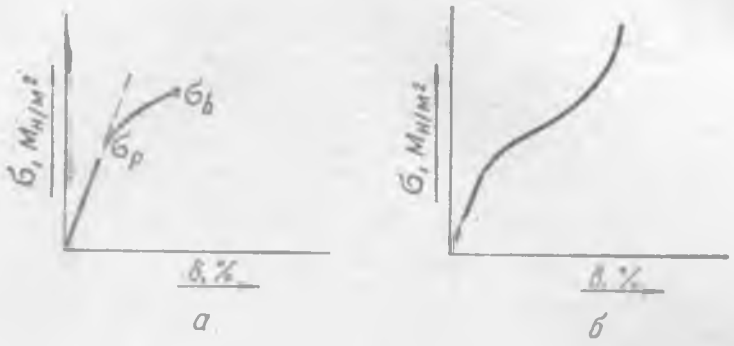
Намуна сиқилганда кўндаланг кесимини г кенгайиши қуйидаги формуладан топилади:

$$\psi_{сиқ} = \frac{F - F_0}{F_0} \cdot 100\%,$$

бу ерда $\psi_{сиқ}$ — намуна сиқилганда кўндаланг кесимининг кенгайиши, % ҳисобида;
F_0 — намунанинг синашдан олдинги кўндаланг кесим юзи, $мм^2$ ҳисобида;
F — намунанинг сиқилмасдан кейинги кўндаланг кесим юзи, $мм^2$ ҳисобида.

Намунани сиқилишга синаш натижалари намуна баландлиги h_0 нинг шу намуна диаметри d_0 га бўлган нисбатига боғлиқдир. Емирилишгача сиқилишга синаш учун, одатда, баландлиги диаметрилан уч марта катта ($h_0 = 3d_0$) намуналар, пропорционаллик чегараси билан оқувчанлик чегарасини аниқлаш мақсадида синаш учун эса баландлиги диаметридан саккиз марта ортиқ ($h_0 = 8d_0$) намуналар ишлатилади.

Намуналарнинг сиқилишдаги пухталиги универсал узиш машиналарида синалади.



а б

34- расм. Сиқилиш диаграммаларининг схемалари:
а — мўрт материал (чўян); *б* — пластик материал (мис).

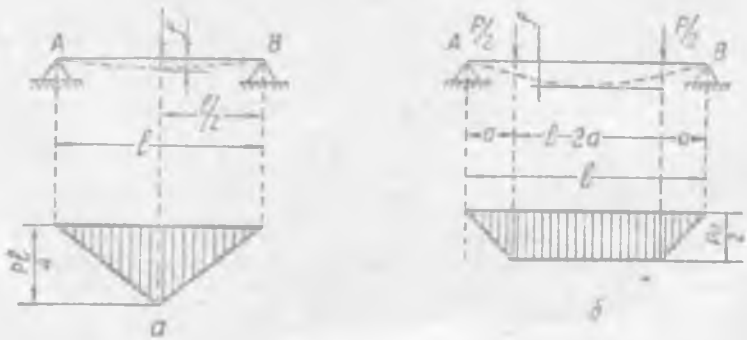
3- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЭГИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Эгилиш натижасида сезиларли даражада пластик деформацияланмай синалиган мўрт материаллар, масалан, чўян, тобланган пўлат ва бошқаларнинг эгилишдаги мустаҳкамлиги синалади. Бундай материалларни синаш натижасида уларнинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси аниқланади. Пластик материалларнинг, масалан, кам углеродли пўлат, мис ва бошқаларнинг эса эгилишдаги мустаҳкамлик чегарасини аниқлаб бўлмайди, чунки улар ҳар қанча эгилгани билан, барибир, синмай, пластик деформацияланаверади. Пластик материаллар учун эгувчи моментларнинг тегишли салқинликларга нисбатигина аниқланади.

Эгилишдаги мустаҳкамлиги синаладиган доиравий ёки тўғри тўртбурчак кесимли намуна икки (*A* ва *B*) таянчга ўрнатилиб, унинг ўртасига (35- расм, *а*) ёки таянчлардан бир хил оралиқдаги икки нуқтасига (35- расм, *б*) нагрузка таъсир эттирилади.

Намунани 35- расм, *а* даги схема билан синашда эгувчи моментлар учбурчак қонуни асосида тақсимланади ва энг катта эгувчи момент қуйидаги формуладан топилади:

$$M_{max} = \frac{Pl}{4} \; нм \; (10^{-1} \; кГ.м),$$



а б

35- расм. Намунанинг эгилишдаги мустаҳкамлигини синаш схемалари.

бу ерда P — намунага таъсир этувчи нагрузка, *н* ҳисобида,
l — икки таянч оралиғи, *м* ҳисобида.

Намунани 35- расм, *б* даги схема билан синашда эгувчи моментлар трапеция қонуни асосида тақсимланади ва энг катта эгувчи момент қуйидаги формуладан топилади:

$$M_{max} = \frac{Pa}{2} \text{ нм } (10^{-1} \text{ кГм}),$$

бу ерда a — нагрузкадан тегишли таянчгача бўлган оралиқ, *м* ҳисобида.

34- расм, *б* даги схемадан кўриниб турибдики, $l = 2a$ оралиғида M_{max} ўзгармаслир.

Биринчи схемадаги эгилиш *тўпланган эгилиш* деб, иккинчи схемадаги эгилиш эса *соф эгилиш* деб аталади.

Эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси қуйидаги формуладан топилади:

$$\tau_{эг} = \frac{M_{max}}{W} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2),$$

бу ерда $\tau_{эг}$ — эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси, *Мн/м²* ҳисобида;
M_{max} — энг катта эгувчи момент, *Мн · м* ҳисобида;
W — намуна кўндаланг кесимининг қаршилик моменти, *м³* ҳисобида.

Бинобарин, энг катта эгувчи моментнинг намуна кўндаланг кесими қаршилик моментига нисбати шу намунанинг *эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси* деб аталади.

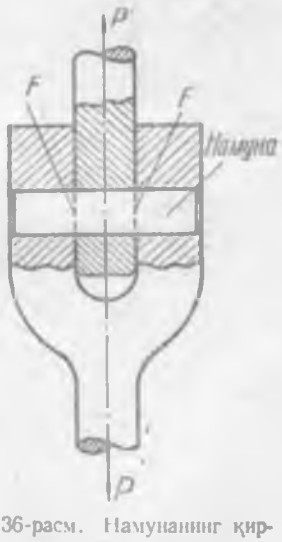
Диаметри d бўлган цилиндрик намуналар учун қаршилик моменти $W = \frac{\pi d^3}{32}$, эни b ва қалинлиги h бўлган тўғри тўртбурчак кесимли намуналар учун эса $W = \frac{bh^2}{6}$ бўлади.

Намуналарни эгилишга синашда уларнинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегарасидан ташқари, энг катта салқилик f қийматн ҳам аниқланади. Бунда махсус асбобдан фойдаланилади.

Намуналарнинг эгилишдаги пухталиги ҳам узувчи универсал машинада синалади.

4- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ҚИРҚИЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синашда уларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлик чегараси аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш учун диаметри 15—20 *мм* бўлган цилиндрик намуна олиниб, махсус мосламанинг худди шундай диаметрли тешикларига киритилади (36- расм). Мослама деталлари узиш машинасининг қисқичларига маҳкамланиб, сўнгра чўзилади. Чўзиш нагрузкаси маълум қийматга етгач, намуна ўз ўқига перпендикуляр бўлган икки текислик бўйича қирқилади.



36-расм. Намунанинг қирқилишдаги мустаҳкамлигини синаш схемаси.

Намунани қирқиб юборган кучнинг қирқилган иккала кесим юзига нисбати *қирқилишдаги мустаҳкамлик чегараси* деб аталади ва $\tau_к$ билан белгиланади:

$$\tau_к = \frac{P_к}{2F} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2),$$

бу ерда $P_к$ — намунани қирқиб юборган нагрузка, *Мн* ҳисобида;
F — намуна кўндаланг кесимининг юзи, *м²* ҳисобида.

5- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БУРАЛИШДАГИ МУСТАҲКАМЛИГИНИ СИНАШ

Намуналарнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда пропорционаллик чегараси, эластиклик чегараси, оқувчанлик чегараси, мустаҳкамлик чегараси аниқланади.

Намунанинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда намуна кўндаланг кесимларининг диаметрлари тўғрилигича қолади ва цилиндрик шакли сақланади, синаш пайтида бўйин ҳосил бўлмайди, бу ҳол кучланишларни ва деформацияларни аниқ ҳисоблаб топишга имкон беради.

Буралишдаги пропорционаллик чегараси. Пропорционаллик бузила бошлаш пайтидаги буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги пропорционалик чегараси* деб аталади ва τ_p билан белгиланади:

$$\tau_p = \frac{M_p}{W} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2),$$

бу ерда M_p — пропорционаллик бузила бошлаш пайтидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Буралишдаги эластиклик чегараси. Қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтидаги буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги эластиклик чегараси* деб аталади ва $\tau_э$ билан белгиланади:

$$\tau_э = \frac{M_э}{W}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2),$$

бу ерда $M_э$ — қолдиқ деформация ҳосил бўла бошлаш пайтидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Буралишдаги оқувчанлик чегараси. Буралишдаги оқувчанлик чегараси қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$\tau_{оқ} = \frac{M_{оқ}}{W}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2),$$

бу ерда $\tau_{оқ}$ — буралишдаги оқувчанлик чегараси, *Мн/м²* ҳисобида;
$M_{оқ}$ — оқувчанлик чегарасидаги буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

Бинобарин, тегишли буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги оқувчанлик чегараси* деб аталади.

Буралишдаги мустаҳкамлик чегараси. Энг катта буровчи моментнинг буралишдаги қаршилик моментига нисбати *буралишдаги мустаҳкамликнинг шартли чегараси* деб аталади ва τ_b билан белгиланади:

$$\tau_b = \frac{M_b}{W}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2),$$

бу ерда M_b — энг катта буровчи момент, *Мн·м* ҳисобида;
W — буралишдаги қаршилик моменти, $м^3$ ҳисобида.

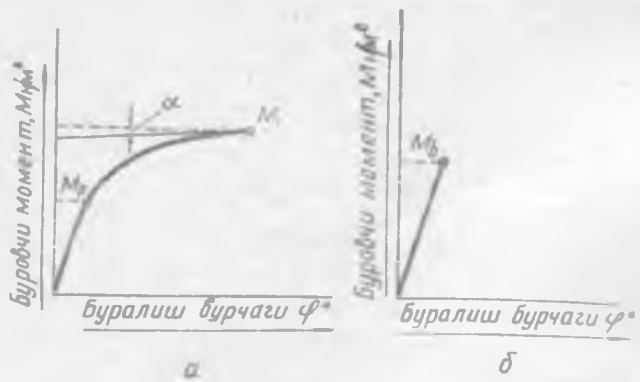
Мустаҳкамликнинг шартли чегараси дейилишига сабаб шуки, бу формуладан кучланиш Гук қонуни татбиқ қилинадиган чегараларда ҳисоблаб топилади.

Яхлит цилиндрик намуналар учун $W = \frac{\pi d^3}{16}$ бўлганлиги учун:

$$\tau = \frac{16\,M}{\pi\,d^3}$$

бўлади. Бу формуладаги M ўрнига M_p қўйилса, τ_p чиқади, $M_э$ қўйилса, $\tau_э$ чиқади, $M_{оқ}$ қўйилса, $\tau_{оқ}$ чиқади, M_b қўйилса, τ_b чиқади.

Металл ва қотишмаларнинг буралиш диаграммалари 37-расмда тасвирланган.



37-расм. Буралиш диаграммалари:
а — пластик материал; *б* — мўрт материал.

Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синашда силжишдаги эластиклик модули ҳам аниқланади. Силжишдаги эластиклик модули E_c билан белгиланиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$E_c = \frac{32\,M\,l_0}{\pi\,d_0^4\,\varphi}\ Мн/м^2\ рад\ (10^{-1}\ кГ/мм^2\ рад),$$

бу ерда M — буровчи момент, $Мн \cdot м$ ҳисобида,
l_0 — кесимлар оралиғи (намунанинг ҳисоблаш узунлиги), $м$ ҳисобида;
φ — буралиш бурчаги, $рад$ ҳисобида,
d_0 — намунанинг диаметри, $м$ ҳисобида.

Металл ва қотишмаларнинг буралишдаги пластиклиги нисбий максимал силжиш қиймати билан ифодаланади. Бу катталик γ_{max} билан белгиланиб, қуйидаги формуладан топилади:

$$\gamma_{max} = \frac{\varphi_{max} \cdot d_0}{2 l_0} \cdot 100\%,$$

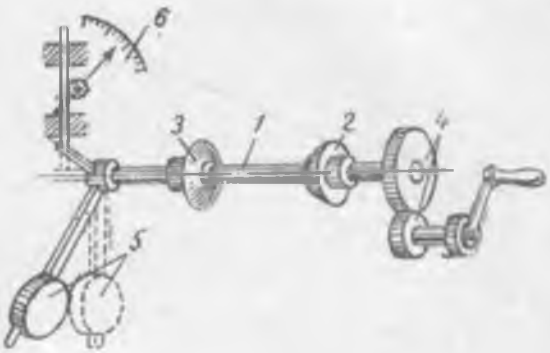
бу ерда φ_{max} — максимал буралиш бурчаги;
d_0 — намунанинг диаметри;
l_0 — намунанинг ҳисоблаш узунлиги.

Мустаҳкамликнинг ҳақиқий чегараси $\tau_ҳ$ қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$\tau_ҳ = \frac{4}{\pi d^3} (3M_1 + \varphi \cdot tg\alpha),$$

бу ерда α — буралиш эгри чизиғига M_1 нуқтада ўтказилган уринма билан абсциссалар ўқи орасидаги бурчак (37- расм, $а$ га қаранг)

Намуналарнинг буралишдаги мустаҳкамлигини синаш учун, одатда, горизонтал машиналардан фойдаланилади. Бундай машиналардан бирининг схемаси 38-расмда тасвирланган.



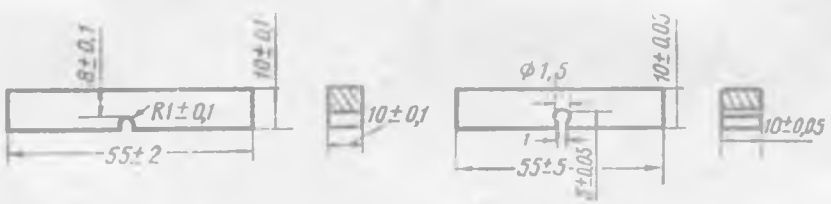
38- расм. Намуналарни буралишга синаш машинасининг схемаси:

1 — намуна; 2 ва 3 — қисқичлар; 4 — шестерналар; 5 — оғир маятник; 6 — буровчи моментларнинг кГм ҳисобидаги қийматы топиладиган шкала

6- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЗАРБИЙ ҚОВУШОҚЛИГИНИ СИНАШ

Зарбий қовушоқлиги синаладиган металл ва қотишмалардан тайёрланган намуналар жуда катта тезлик билан деформацияланиб, уларнинг мўрт ҳолатда синишга қанчалик мойиллиги аниқланади. Одатда, углеродли ва легирланган конструкцион пўлатлар зарбга синалади, чунки улар, ишлатилиш шароитига қараб, мўрт ҳолатга ўтиши мумкин. Мўрт қотишмаларни, масалан, чўян, тобланган пўлат ва бошқаларни, шунингдек, жуда пластик қотишмаларни, масалан, кам углеродли пўлатлар, бир фазали латунь ва бошқаларни зарбга синаш мақбул эмас.

Зарбга синаш учун 39-расмда кўрсатилганидек намуналар тайёрланади ва бу намуналар маятникли копёрларда (Шарпи асбобида) синалади. Бундай копёрнинг схемаси 40- расмда тасвирланган.



39- расм. Зарбий қовушоқлигини синаш учун намуналар

Намунани зарбга синаш схемаси 41-расмда кўрсатилган.

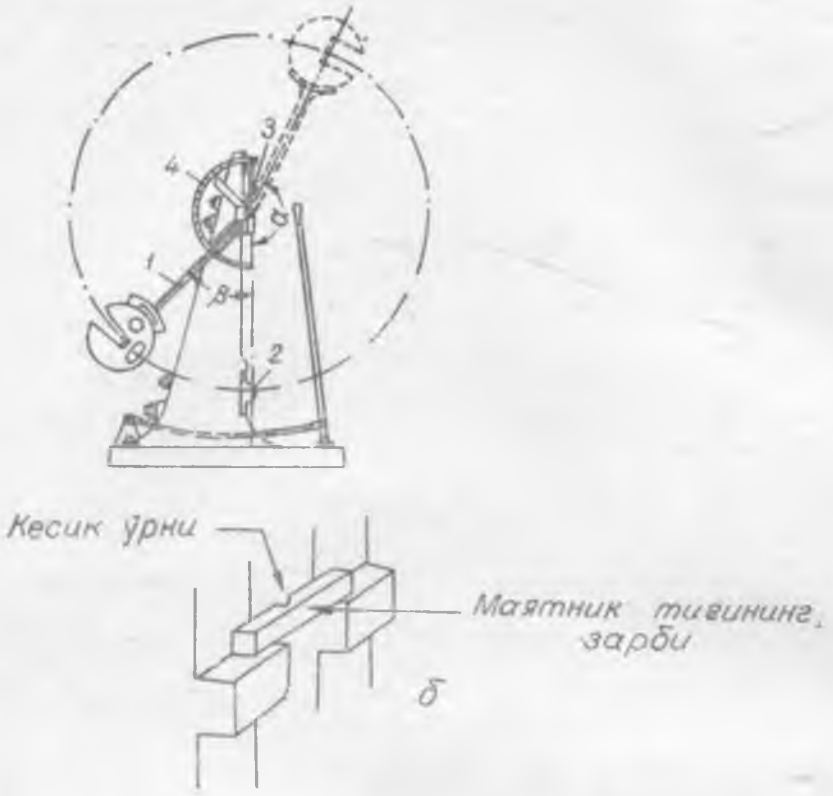
Намунани синашдан олдин копёрнинг маятниги юқориги вазиятга α бурчак кўтарилиб, шу вазиятда махсус мослама билан маҳкамлаб қўйилади. Намуна копёр таянчларига 40- расм, $б$ да кўрсатилганидек қилиб ўрнатилади. Сўнгра маятник бўшатилади, шунда маятник тушиб, унинг тиғи намунани синдирали ва иккинчи томонга β бурчак кўтарилади (41- расмга қаранг). β бурчакнинг қийматини шкаладан стрелка кўрсатади.

Зарбнинг намунани синдиришда бажарган иши ($A_н$) қуйидаги формуладан топилади:

$$A_н = P (H - h) \; кж^* \; (10^2 \; кГм)$$

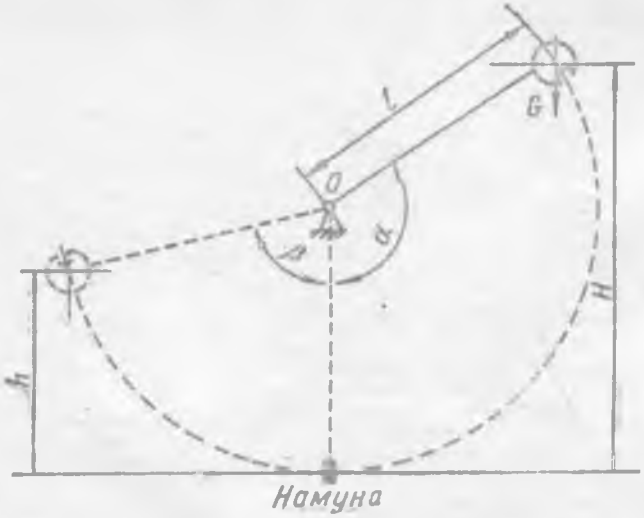
---

* 1 жоуль (1 $ж$) 1 ньютон (1 $н$) кучнинг 1 $м$ йўлда бажарган иши; 1 $кж = 1 \cdot 10^3$ $ж$, $1кн = 1 \; 10^3$ $н$.



40- расм. Маятникли копёрнинг схемаси:

а — копёр: *1* — маятник, *2* — намуна, *3* — стрелка, *4* — шкала; *б* — синаш вақтида намунанинг вазияти.



41- расм. Зарбга синаш схемаси.

ёки

$$A_н = G\ (\cos\beta - \cos\alpha)\ кж\ (10^3\ кГм).$$

бу ерда G — маятникнинг оғирлик кучи, *кн* ҳисобида.
H — маятник оғирлик марказининг зарбга қадар кўтарилиш баландлиги, *м* ҳисобида;
h — маятник оғирлик марказининг зарбдан кейин кўтарилган баландлиги, *м* ҳисобида;
l — маятникнинг узунлиги, яъни унинг ўқидан оғирлик марказигача бўлган оралиқ;
α — маятникнинг зарбдан олдинги кўтарилиш бурчаги;
β — маятникнинг зарбдан кейинги кўтарилиш бурчаги.

Намунанинг зарбий қовушоқлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$a_н = \frac{A_н}{F}\ кж/м^2\ (10^{-2}кГм/см^2),$$

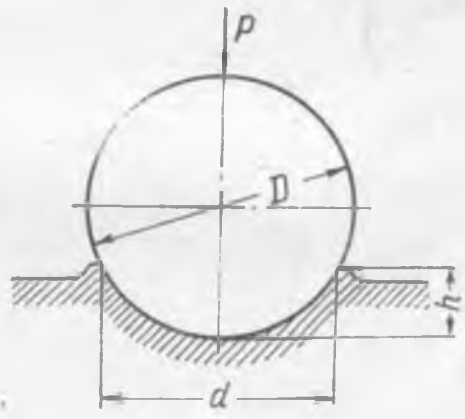
бу ерда $a_н$ — намунанинг зарбий қовушоқлиги, *кж/м²* ҳисобида;
$A_н$ — зарбнинг намунани синдиришда бажарган иши, *кж* ҳисобида;
F — намунанинг кесик жойлаги кундаланг кесим юзи, *м²* ҳисобида.

Бинобарин, $\frac{A_н}{F}$ нисбат *зарбий қовушоқлик* деб аталади.

7-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ҚАТТИҚЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини синаш амалда кенг тарқалган, чунки металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини синашда улар механик хоссаларини синашнинг бошқа турларидагига қараганда бир қатор афзалликлар бор. Бу афзалликлар шундан иборатки, биринчидан, синаш вақтида буюмга шикаст етмайди, иккинчидан буюм қаттиқлигини синаш жуда оддий ва тез бажариладиган процесс, учинчидан, буюмларнинг қаттиқлигини синаш асбоблари ихчам бўлиб, уларда ишлаш мураккаб эмас.

Металл ва қотишмаларнинг *каттиқлиги* деган тушунча шу қаттиқликни аниқлаш усули билан боғлиқдир. Кўпинча, металлнинг қаттиқлиги шу металл сиртқи қатламининг унга ботириладиган маълум шаклли (шар, конус ёки пирамида шаклидаги) анча қаттиқ жисмнинг ботишига кўрсатадиган ўртача қаршилиги тарзида аниқланади.



42-расм. Намунанинг қаттиқлигини Бринель усулида синаш схемаси.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини аниқлашда уларнинг сиртқи қатлами синаб кўрилгани учун синаладиган деталнинг сиртида куйинди, углеродсизланган қават, тирналган жойлар ва бошқа нуқсонлар бўлмаслиги керак.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги билан мустаҳкамлиги орасида маълум боғланиш бўлади, шунинг учун уларнинг қаттиқлигига қараб, мустаҳкамлиги тўғрисида тахминий бир хулосага келса бўлади.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги бир неча усуллар билан, масалан, синаладиган металл ёки қотишмага бошқа жисмни ботириш, синаладиган металл ёки қотишмани бошқа жисм билан тирнаб кўриш усули ва бошқа усуллар билан аниқланиши мумкин. Энг кўп тарқалган усул синаладиган намунага шу намунадан қаттиқ бўлган бошқа жисмни ботириш усулидир. Бу усул билан синашда намунанинг қаттиқлиги: а) синаладиган намунага Бринель прессида пўлат шар ботирилганда шу шар қолдирган изнинг юзига қараб, б) синаладиган намунага Роквелл прессида олмос конус ёки пўлат шар ботирилганда улар қолдирган изнинг чуқурлигига қараб, в) синаладиган намунага Виккерс усулида олмос пирамида ботирилганда шу пирамида қолдирган из юзининг катталигига қараб аниқланади.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Бринель прессида аниқлаш учун синаладиган намуна сиртига диаметри 2,5 ёки 5 ёки 10 *мм* қилиб ясалган шар статик нагрузка (P) таъсирида ботирилади (42-расм).

Шар намуна сиртига ботирилганда шу намунада шарнинг сегмент тарзидаги изи қолада. Бу изнинг (сегментнинг) юзи қуйидаги формулалардан топилади:

$$F = \frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2}\sqrt{D^2 - d^2} = \frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right) \text{ мм}^2 \quad (1)$$

ёки

$$F = \pi D h \text{ мм}^2, \quad (2)$$

бу ерда D — шарнинг диаметри, *мм* ҳисобида;
d — изни г диаметри, *мм* ҳисобида,
h — изнинг чуқурлиги, *мм* ҳисобида.

(1) формула (2) формулага қарағанда аниқроқ натижа беради.

Таъсир эттирилган нагрузка (P) нинг сегмент юзи (F)га нисбати *Бринель бўйича қаттиқлик* дейилади ва HB* билан белгиланади:

$$HB = \frac{P}{F} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2)$$

F нинг қийматини юқоридаги формулалардан келтириб қўйсак, қуйидаги муносабатни ҳосил киламиз:

$$HB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{ кГ/мм}^2)$$

ёки

$$HB = \frac{P}{\pi D h} \text{ Мн/м}^2 \ (10^{-1} \text{кГ/мм}^2).$$

Шарнинг намунадаги изининг диаметри махсус микроскоп ёки махсус лупа билан ўлчанади. Из диаметрини ўлчаш учун шаффоф махсус шкалалардан фойдаланса ҳам бўлади, аммо бунда натижа тақрибан чиқади.

Намуна қаттиқлигини тез аниқлаш учун, амалда, махсус жадваллардан фойдаланилади. Бу жадвалларда қаттиқлик (HB) нинг нагрузка (P) ва изнинг диаметри (d) га тўғри келадиган қийматлари берилган бўлади.

Шарлар ШХ15 типидаги қаттиқ пўлатдан ясалади. Улар тобланиб, сўнгра паст температурада бўшатилгандан кейин қаттиқлиги Виккерс бўйича камида 850 бирликка тенг бўлади

Шарнинг деформацияланиши оқибатида катта хатоликка йўл қўймаслик учун бу усулда синаладиган металл ва қотишмаларнинг қаттиқлиги Бринель бўйича 450 дан ошмаслиги керак.

Намунани синашдан олдин унинг синаладиган сирти силлиқланиб, текис ҳолатга келтирилади.

Стандарт синашда 10 *мм* диаметрли шар учун нагрузка доимо 3000 *кГ* қилиб олинади. Ўхшашлик қонунига биноан, агар шарнинг намуналарда қолдирган излари ўзаро геометрик ўхшаш бўлса, бу намуналарнинг қаттиқлиги ҳам бир хил бўлади. Шу сабабли, ҳар хил диаметрли шарлар ёрдамида қаттиқликни аниқлашда бир материалнинг ўзида бир хил натижаларга эришиш учун $\frac{P}{D^2}$ нисбат (геометрик ўхшашлик шарти) ўзгармаслиги керак. Бошқа диаметрли шардан фойдаланиладиган бўлса, нагрузка ана шу нисбатдан топилади. Кўпчилик материаллар учун нагрузкаларнинг кенг интервалида Бринель бўйича қаттиқлик (P) нинг қийматига унча боғлиқ бўлмайди ва максимуми жуда ётиқ эгри чизиқ ҳосил қилади. P куч эгри чизиқнинг ана шу максимум қисмида танлаб олинади.

Шарнинг намунага ботиш чуқурлиги ўзгарганда изнинг шакли ҳам ўзгаради. Жуда қаттиқ намуналардаги изнинг шакли жуда юмшоқ намуналардаги изнинг шаклига ўхшамайди бу эса қаттиқликни топиш аниқлигига путур етказади. Шунинг учун изнинг диаметри қуйидаги чегараларда бўлиши керак:

$$0{,}2\ D < d < 0{,}6D.$$

Бу шартга риоя қилинганда намуна қаттиқлигини синаш бир-бирига таққослаб бўладиган натижалар беради.

---

* Каттиқликнинг белгиси *H* инглизча *Hardness* — қаттиқлик сўзининг бош ҳарфидир. *H* дан кейинги ҳарфлар қаттиқликни топишнинг тегишли усулларини, масалан *B* — Бринель, *R* — Роквелл ва *V* — Виккерс усулларини билдиради.

Синовларнинг натижаларини бир-бирига таққослаб кўриш мумкин бўлиши учун стандартда нагрузка таъсир эттириш вақти ва шу нагрузка таъсирида тутиб туриш вақти белгиланган бўлади, чунки баъзи металлар ўзгармас нагрузка таъсирида «оқа бошлайди». Нагрузка таъсир эттириш вақти, одатда, 30 *сек* га тенг бўлади.

Материалларнинг Бринель бўйича қаттиқлигини стандарт аниқлаш шартлари 5- жадвалда келтирилган.

5- ж а д в а л

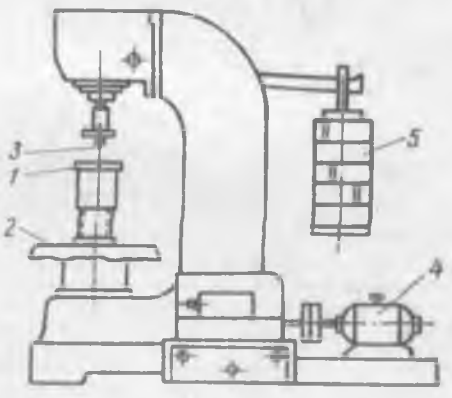
Материал	*HB* интервали	Синаладиган намунанинг қалинлиги, *мм*	$\frac{P}{D^2}$, *кГ/мм²*	Шарнинг диаметри *D*, *мм*	Нагрузка *P*, *кГ*	Нагрузка таъсирида тутиб туриш вақти, *сек*
Кора металлар	140—450	6 дан 3 гача	30	10,0	3000	10
		4 „ 2 „		5,0	750	
		2 „ кам		2,5	187,5	
„ „	<140	6 дан ортиқ	10	10,0	1000	10
		6 „ 3 гача		5,0	250	
		3 „ кам		2,5	162,5	
Рангдор металлар	>130	6 дан 3 гача	30	10,0	3000	30
		4 „ 2 „		5,0	750	
		2 „ кам		2,5	187,5	
„ „	35—130	9 дан 3 гача	10	10,0	1000	30
		6 „ 3 „		5,0	250	
		3 „ кам		2,5	62,5	
„ „	8—35	6 дан ортиқ	2,5	10,0	200	60
		6 „ 3 гача		5,0	62,6	
		3 „ кам		2,5	15,6	

Бринель бўйича синаш шартлари учун нагрузка, шар диаметри ва нагрузка таъсир эттириш вақти келтирилади. Масалан, *HB* 10/3000/10 — 250 ёзувдаги биринчи сон (10) шарнинг диаметрини, иккинчи сон (3000) нагрузкани, учинчи сон (10) нагрузка таъсир эттириш вақтини, тўртинчи сон (250) эса Бринель бўйича қаттиқликни кўрсатади.

Тўғри из хосил қилиш учун, синаладиган намунанинг қалинлиги (*b*) изнинг чуқурлигидан камида 10 баравар катта бўлиши, изнинг маркази эса намунанинг четидан камида 4*d* ичкарида туриши керак. Изнинг диаметри $d = 0{,}6D$ бўлганда изнинг чуқурлиги $0{,}1D$ чамаси бўлади. Шунинг учун, қалинлиги шар диаметридан кам бўлмаган ($b > D$ бўлган) намуналаргина синалиши мумкин.

Бринель прессининг схемаси 43-расмда тасвирланган.

Синаладиган намуна ёки деталь таглик (*1*) га қўйилиб, маховик (*2*) соат стрелкаси юрадиган омонга айлантирилади-да, намуна (деталь) шар (*3*) га келтирилади. Шундан кейин электр двигатели (*4*) юргизилади, бу двигатель ричаглар системасини ҳаракатга келтиради. Ричаглар системаси ҳаракатга келганда шар нагрузка (*5*) таъсири остида намунага (деталга) бота бошлайди. Намуна нагрузка таъсири остида маълум вақт (5- жадвалга қаранг) тутиб турилгандан кейин нагрузка автоматик равишда олиниб, электр двигатели тўхтатилади Маховик тескари томонга айлантирилиб, намуна (деталь) тагликдан олинади ва шарнинг изи ўлчанади.



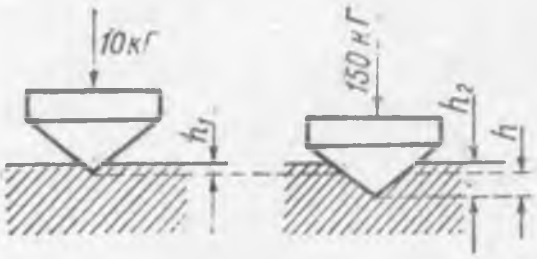
43- расм. Бринель прессининг схемаси:

1 — таглик; *2* — маховик; *3* — шар; *4* — электр двигатели; *5* — нагрузка.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Роквелл прессида аниқлаш. Бу усулдан фойдаланилганда намунага ботирилган жисмнинг изи ботирилиш процессининг ўзида ўлчанади, бу эса синашни анча тезлатади ва осонлаштиради. Синаладиган материалнинг қаттиқлигига қараб, намунага ботириладиган жисм (учлик) икки хил бўлади. Қаттиқлиги кичик ва ўртача намуналарни 100 *кГ* нагрузка (В шкала) билан синашда диаметри 1,59 *мм* ($^1/_{16}$") бўлган пўлат шарча, қаттиқлиги юқори намуналарни 150 *кГ* нагрузка (С шкала) билан ёки 60 *кГ* нагрузка

(А шкала) билан синашда эса учидаги бурчак 120° ва учининг юмалоқланиш радиуси 0,2 *мм* бўлган олмос конус ишлатилади. Юқоридаги нагрузкалар асосий нагрузкани ҳам, дастлабки нагрузкани ҳам ўз ичига олади.

Синалаётган намунага нагрузка кетма-кет икки босқичда таъсир эттирилади. Намунага сиртидаги майда нуқсонларни йўқотиш учун биринчи босқичда таъсир эттириладиган нагрузка (дастлабки нагрузка) 10 *кГ* га, иккинчи босқичда таъсир эттириладиган нагрузка (асосий нагрузка) эса пўлат шар бўлганда 90 *кГ* га, олмос конус бўлганда эса 140 *кГ* га тенг бўлади.

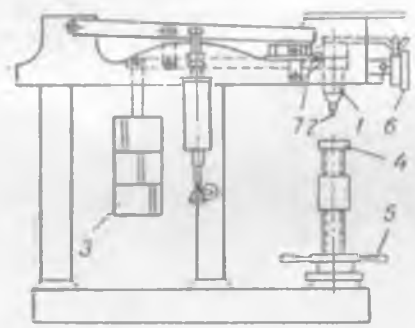


44- расм. Қаттиқликни аниқлашда учликнинг вазиятлари.

Намунанинг каттиқлиги намунага асосий нагрузка таъсир эттирилганда ҳосил бўлган из чуқурлиги (h_2) ва дастлабки нагрузка таъсир эттирилганда ҳосил бўлган из чуқурлиги (h_1) нинг айирмаси билан характерланади.

Роквелл прессининг схемаси 45-расмда тасвирланган. Бу асбобда намунанинг қаттиқлиги қуйидагича аниқланади.

Намунани синашдан олдин, унинг қаттиқлик даражасига қараб, шток (*1*) га учлик [ё пўлат шар, ёки олмос конус (*2*)] маҳкамланади. Шундан кейин, тегишли нагрузка (*3*) қўйилади. Агар намунага олмос конус ботириладиган бўлса, тошларнинг учаласи ҳам қолдирилади (бунда нагрузка 150 *кГ* бўлади — С шкала) ёки тошларнинг энг остидаги биттаси қолдирилади (бунда нагрузка 60 *кГ* бўлади — А шкала), агар намунага пўлат шар ботириладиган бўлса, тошларнинг тепадагиси олиниб, пастдаги иккитаси қолдирилади (бунда нагрузка 100 *кГ* бўлади — В шкала). Синаладиган намуна таглик (*4*) га қўйилади ва маховик (*5*) соат стрелкаси юрадиган томонга айлантирилиб, намуна учликка тегизилади. Шундан кейин намунага дастлабки нагрузка берилади, бунинг учун маховик кичик стрелка қизил нуқта рўпарасига келгунча айлантирилади, бунда катта стрелка вертикал вазиятда ёки вертикалга яқин вазиятда туриши керак. Сўнгра циферблат айлантирилиб, қора шкаланинг ноль бўлинмаси катта стрелка рўпарасига келтирилади. Агар намунага пўлат шар ботириладиган, яъни ҳисоб қизил шкала бўйича юритиладиган бўлса, бунда ҳам стрелкани нолга қўйиш учун қора шкаладан фойдаланилади.



45- расм. Роквелл прессининг схемаси:

1 — шток; *2* — пўлат шар (олмос конус); *3* — нагрузка; *4* — таглик; *5* — маховик; *6* — циферблат; *7* — кривошип.

Бу ишларнинг ҳаммаси қилиб бўлингандан кейин кривошип (*7*) салгина босилиб, кетинга қайтарилса, асосий нагрузка автоматик равишда ишга тушади ва учлик намунага бота бошлайди. Учлик намунага бота борган сари циферблат стрелкаси ҳам бурила боради. Кривошип тиракка етиб, стрелка тухтагандан кейин, кривошип қайтарилиб, дастлабки вазиятига келтирилади. Бунда асосий нагрузка олинган бўлади, дастлабки нагрузка эса қолади. Шу пайтда циферблатдан намунанинг қаттиқлиги кўрилади. Намунага олмос конус ботирилган бўлса, каттиқлик қора шкаладан, агар пўлат шар таъсир эттирилган бўлса, қизил шкаладан ҳисобланади. Шкаланинг ҳар бир бўлинмаси қаттиқликнинг битта бирлигига тенг бўлади ва учликнинг 0,002 *мм* ботишига тўғри келади. Шкалада 100 та бўлинма бор. Агар учликнинг намунага ботиш чуқурлиги 0,2 *мм* бўлса, бу шкала бўйича қаттиқлик ноль деб ҳисобланади, агар учликнинг ботиш чуқурлиги ноль бўлса, қаттиқлик 100 бирликка тенг бўлади, чунки циферблатдаги сонлар стрелканинг айланишига тескари йўналишда қўйилган, яъни учликнинг ботиш чуқурлиги ҳисоблаш кийматига тескари пропорционалдир. Шунинг учун, асосий нагрузка таъсирида учликнинг ботиш чуқурлиги билан дастлабки нагрузка таъсирида ботиш чуқурлиги айирмаси $h_2 - h_1 = h$ бўлганда намунанинг Роквелл буйича қаттиқлиги қуйидаги формуладан опилади:

$$HR = 100 - \frac{h}{0{,}002}$$

Деталь ёки намунани синашда қайси шкаладан фойдаланилган бўлса, *HR* белгисининг ўнг ёнига шу шкаланинг белгиси қўйилади, масалан: *HRC*, *HRB*, *HRA*.

Намуна ва деталларнинг қаттиқлигини Роквелл пресси ёрдами билан аниқлаш усулидан кенг кўламда фойдаланилади, чунки бу усул юмшоқ материалларни ҳам, жуда қаттиқ материалларни ҳам синашга имкон беради. Бундан ташқари, синаш вақтида металлда қоладиган из жуда кичик бўлганлигидан деталнинг сифатига путур етказмайди. Бу усулнинг афзалликларидан бири яна шуки, синаш вақти 30 — 60 секундлан ошмайди.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини Виккерс усулида аниқлаш. Бу усулдан фойдаланилганда қаттиқлиги аниқланиши керак бўлган намуна ёки деталга ботириладиган қаттиқ жисм сифатида учидаги (қарама-қарши ёқлари орасидаги) бурчак 136° га тенг бўлган тўрт ёқли олмос пирамида ишлатилади (46- расм, *а*). Намуна ёки деталнинг Виккерс бўйича қаттиқлиги (*HV**) ни топиш учун, таъсир эттирилган куч (*P*) пирамида қолдирган изнинг юзи (*F*) га (46- расм, *б*) бўлинади:

$$HV = \frac{P}{F}$$

изнинг юзи:

$$F = \frac{d^2}{2\sin\frac{136^\circ}{2}} = \frac{d^2}{1{,}8544}\ м^2$$

бўлганлигидан:

$$HV = \frac{P \cdot 1{,}8544}{d^2}\ Мн/м^2\ (10^{-1}\ кГ/мм^2)$$

бўлади, бу ерда d — изнинг диагонали.

Нагрузканинг қиймати ўзгарганда *HV* нинг қиймати ўзгармайди, чунки ҳамма ҳолда ҳам пирамида қолдирган изнинг шакли ўхшаш бўлади.

Пирамида учидаги бурчак катта бўлганлиги учун пирамиданинг намунада қолдирган изи чуқурлиги кичик бўлганда ҳам бу изнинг диагонали етарли даражада катта бўлади. Бу эса Виккерс усулининг сезгирлигини оширади. Шунинг учун, бу усул металл ва қотишмалар-



46- расм. *а* — намунага ботириладиган пирамида; *б* — пирамиданинг намунадаги изи.

нинг юпқа юза қатламлари, масалан, углеродсизланган, химиявий-термик ишланган, пухталанган қатламлари, шунингдек, қалинлиги 0,3 *мм* гача бўлган юпқа листлар қаттиқлигини аниқлаш учун айниқса яроқлидир.

Виккерс асбобида (47- расм) намуна ва деталларнинг қаттиқлиги қуйидагича аниқланади.

Синаладиган намуна ёки деталь стол (*1*) га ўрнатилади ва маховик (*2*) айлантирилиб, олмос пирамида (*3*) га келтирилади. Шундан кейин даста (*4*) бурилса, нагрузка (*5*) ричаглар системаси орқали олмос пирамидани синалаётган намунага (деталга) ботиради. Синов тугагач, педаль (*6*) оёқ билан босилса, пирамидадан нагрузка олинади.

Намунада (деталда) пирамида қолдирган изнинг диагонали асбобнинг бир қисми бўлган махсус микроскоп (*7*) ёрдамида ўлчанади.

Виккерс асбобида 5, 10, 20, 30, 50, 100 ва 150 килограммлик нагрузкалардан фойдаланилади.

Қаттиқлик Бринель бўйича 3500 — 4000 $Мн/м^2$ гача бўлганда, *HV* билан *HB* қийматлари бир-бирига тенг бўлади. Қаттиқлик 4000 $Мн/м^2$ дан юқорида *HB* дан *HV* катта бўлади.

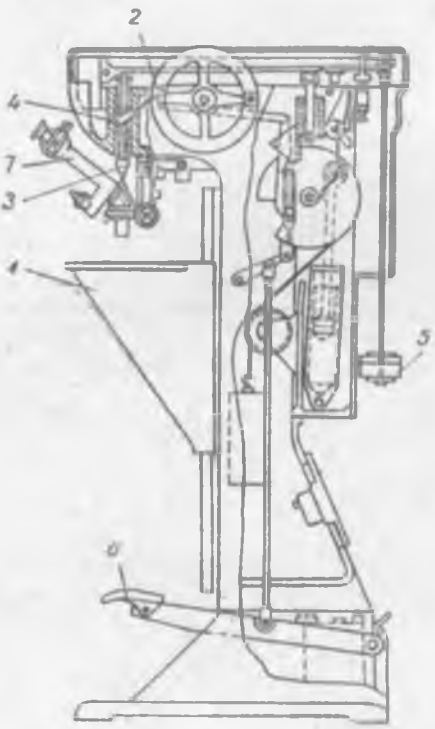
Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлигини аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг ниҳоятда кичик объектлари қаттиқлигини, яъни микроқаттиқлигини юқорида баён этилган

* Баъзан *HD* билан ҳам белгиланади.

усуллар билан аниқлаб бўлмайди, чунки бу усулларда пўлат шар ёки олмос конус синаладиган жисмга чуқурроқ ботирилади ва уларнинг изи каттароқ юзани қамраб олади. Шунинг учун, металл ва қотишмаларнинг ниҳоятда кичик объектлари, масалан, айрим структура компонентлари қаттиқлигини аниқлаш учун, учидаги бурчаги 136° га баравар бўлган тўрт ёқли олмос пирамида синаладиган объектга жуда кичик, 1 дан то 120 *г* гача бўлган нагрузка таъсирида ботирилади. Микроқаттиқликнинг қиймати *HV* қаттиқлик қиймати билан ифодаланади ва қуйидаги формуладан топилади:

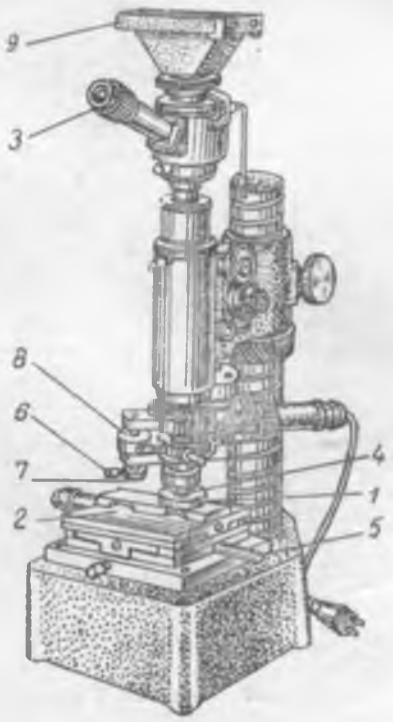
$$HV = \frac{P \cdot 1.8544}{d^2} \quad Мн/м^2 \ (10^{-1} кГ/мм^2),$$

бу ерда P — намунага таъсир этган нагрузка;
d — изнинг диагонали



47- расм. Виккерс асбобининг схемаси:

1 — стол; *2* — маховик; *3* — олмос пирамида; *4* — тушириш дастаси; *5* — нагрузка; *6* — педаль; *7* — микроскоп.



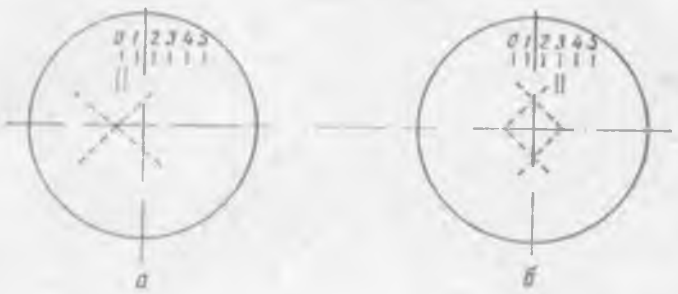
48- расм. Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлигини аниқлаш учун ишлатиладиган асбобнинг схемаси:

1 — шлиф; *2* — стол; *3* — окуляр; *4* — объектив; *5* — даста; *6* — даста; *7* — олмос пирамида; *8* — майдонча; *9* — фотокамера

Металл ва қотишмаларнинг микроқаттиқлиги ё М. М. Хрушчев ва Е. С. Беркович лойиҳалаган ПМТ-2 ва ПМТ- 3 асбобларида ёки горизонтал металлографик микроскопга мослаштирилган мослама ёрдамида аниқланади. М. М. Хрушчев ва Е. С. Беркович конструкциясидаги асбобнинг схемаси 48- расмда тасвирланган.

Синаладиган металл ёки қотишмадан махсус тарзда тайёрланган шлиф (*1*) асбобнинг столи (*2*) га ўрнатилиб, унинг микроскопик тузилиши окуляр (*3*) ва объектив (*4*) ёрдамида кўрилади. Шлифнинг қаттиқлиги аниқланадиган жойи иккита винт ёрдамида столни горизонтал ҳамда вертикал йўналишда силжитиш йўли билан танлаб олинади. Шундан кейин стол даста (*5*) ёрдамида 180° бурилади. Шлифнинг танлаб олинган жойига олмос пирамида (*7*) даста (*6*) ни тахминан 180° буриш йўли билан ботирилади. Олмос пирамидага таъсир эттириладиган нагрузка махсус майдонча (*8*) га ўрнатилади. Шлиф 5—10 секунд нагрузка таъсирида бўлгандан кейин даста (*6*) тескари томонга бурилиб, олмос пирамидадан

нагрузка олинади, стол даста (*5*) ердамида 180° бурилиб, асли вазиятига, яъни шлиф микроскоп объективи остига тўғри келадиган вазиятга келтирилади-да, шлифда ҳосил бўлган из ўлчанади. Шлифда пирамида қолдирган изнинг диагонали қуйидагича ўлчанади. Окулярда қўзғалмас ва қўзғалувчан тўрлар ҳамда микрометрик барабанча. қўзғалмас тўрда параллар бўлинган шкала, қўзғалувчан тўрда эса стрелка бўлади. Стол силжитилиб, изнинг чап бурчаги окулярдан қўзғалмас тўрнинг бурчагига тўғриланади (49-расм, *а*). Шундан кейин микрометрик барабанча айлантирилиб, окулярнинг қўзғалувчи тўри бурчаги изнинг ўнг бурчагига тўғриланади (49-расм, *б*). Қўзғалувчан тўр силжитилганда ундаги стрелка ҳам силжиб, қўзғалмас тўрдаги шкаладан изнинг диагоналини кўрсатади (49-расм, *б*).



49- расм. Шлифда пирамида қолдирган из диагоналини ўлчаш схемаси.

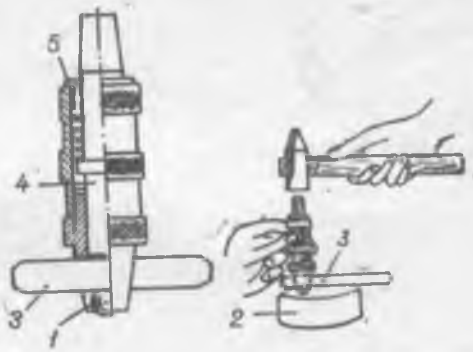
Микроскопга ўрнатилган фотокамера ёрдамида пирамида қолдирган изнинг фотосуратини олиш ҳам осонгина мумкин.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини зарб таъсирида шар ботириш усули билан аниқлаш. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини бу усулда аниқлаш учун 50- расмда тасвирланган асбобдан (Польди асбобидан) фойдаланилади.

Польди асбобида намунанинг қаттиқлиги қуйидагича аниқланади.

Диаметри 10 *мм* бўлган пўлат шар (*1*) ҳам намуна (*2*) га, ҳам эталон (*3*) га болғача зарби таъсири остида ботирилади. Эталоннинг қаттиқлиги маълум бўлади. Эталонни шарга уриш (*4*) пружина (*5*) таъсирида сиқиб туради. Йиғилган ҳолдаги асбоб шари намуна устида турадиган қилиб ўрнатилади, сўнгра асбобнинг ургичига болғачанинг муҳраси билан урилади. Бунда намунага ҳам, эталонга ҳам шарнинг изи тушади, ана шу излар бир-бирига солиштирилиб, намунанинг қаттиқлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$HB = HB_э \frac{D - \sqrt{D^2 - d_э^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$



50- расм. Польди асбоби:

1 — шар; *2* — синаладиган намуна, *3* — эталон; *4* — ургич; *5* — пружина.

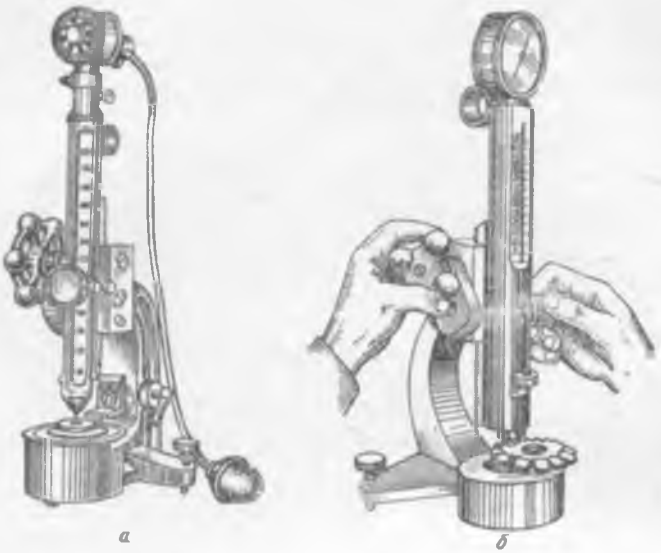
бу ерда HB—намунанинг қаттиқлиги;
$HB_э$—эталоннинг қаттиқлиги;
D—шарнинг диаметри;
d—намунада шар қолдирган изнинг диаметри,
$d_э$—эталонда шар қолдирган изнинг диаметри.

Намунанинг қаттиқлиги, одатда, формуладан эмас, балки илгаридан ҳисоблаб қўйилган махсус жадваллардан топилади. Польди асбоби оғир деталларнинг, масалан, станина, йирик поковкалар ва шу кабиларнинг қаттиқлигини аниқлашда жуда қўл келади. Деталларнинг бу усулда аниқланган қаттиқлиги тақрибий бўлади, чунки Польди асбобида деталга шар зарб таъсирида (динамик тарзда) ботирилади, қаттиқлик (HB) эса, аслида, шарни статик нагрузка таъсирида ботириш йўли билан аниқланиши керак.

Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида (Шор усулида) аниқлаш. Металл ва қотишмаларни бу усул билан синашда уларнинг қаттиқлиги вертикал труба ичида маълум баландликдан эркин тушувчи ургичнинг намунага урилиб, сўнгра қайтиш баландлигига қараб аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида аниқлаш учун ишлатиладиган асбоблар икки хил бўлади. Улардан бири ургич

пневматик мослама ёрдами билан кўтариладиган асбоб бўлса, иккинчиси механик мослама воситасида кўтариладиган асбоблар. Бундай асбоблар 51-расмда тасвирланган.

Ургичнинг қайтиш баландлиги *C* типидаги асбобда даражаларга бўлинган шиша найдан қараш йўли билан, *D* типидаги асбобда эса индикатор стрелкасининг оғишига қараб аниқланади.



а *б*

51- расм. Деталларнинг қаттиқлигини эластик қайтиш усулида аниқлаш асбоблари:

а — C типидаги асбоб; б — D типидаги асбоб (Шор склероскопи)

8- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ДАВРИЙ РАВИШДА ТАКРОРЛАНУВЧИ НАГРУЗКАГА ЧИДАМЛИЛИГИНИ СИНАШ

Материалнинг даврий равишда такрорланувчи, яъни катталиги ҳам, йўналиши ҳам ўзгариб турувчи нагрузка таъсири остида толиқишга ёки синишга қаршилик кўрсата олиш хусусияти унинг *чидамлилиги* деб аталади. Металл ва қотишмаларнинг такрорланувчи нагрузка ва, демак, такрорлачувчи деформация ва кучланишларда синиши улар структурасининг ва хоссаларининг ҳамма ерида бир хил бўлмаслигилан келиб чиқади. Деталнинг оқувчанлик чегарасидан ошмайдиган ўртача кучланишларда шу деталда силжиш тарзидаги пластик деформацияланган ва, баъзан, микроскоп остидагина кўринадиган дарзлар ҳосил бўлган доналарни топиш мумкин. Бундай ҳодиса, айниқса, деталнинг сиртидаги, яъни эгилишда энг кўп чўзиладиган зонасидаги ёки кучланишлар тўпланган нуқталаридаги доналарга тааллуқлидир. Доналарда ҳосил бўлган микроскопик дарзлар кучланишлар концентратори бўлиб қолади. Даврий равишда такрорланиб турадиган, яъни ўзгарувчи кучланишлар бўлганда, деталнинг бирор нуқтасида вужудга келган силжиш ёки микроскопик дарзлар ўсиб, деталь кесимининг тобора кўп қисмига тарқалади. Дарз ўса борган сари деталнинг кесим юзи кичрайиб, кучланиш тўхтовсиз ўсади. Дарзнинг ўсиши маълум даражага етганда деталнинг кесими нагрузкага бардош бера олмайди ва деталь синади. Детални кучсизлантирувчи дарзнинг ўсиш ҳодисаси деталнинг *толиқиши* деб аталади. Аммо катталиги маълум қийматдан кичик бўлган кучланишлар ҳатто чексиз равишда такрорланса (ўзгарса) ҳам деталда дарзлар ҳосил қилмайди. Нагрузка даврий равишда, ҳар қандай цикл билан таъсир этганда деталда дарзлар ҳосил бўлишига олиб бормайдиган энг катта кучланиш шу деталнинг *чидамлилик чегараси* деб аталади.

Амалда, машиналарнинг бир қатор деталлари, конструкцияларнинг баъзи элементлари, масалан, турли валлар, ўқлар, шатун, рессора, пружина, рельс, балка ва бошқалар даврий равишда такрорланувчи нагрузкалар таъсири остида ишлайди. Ишлаш вақтида катталиги жиҳатидан ҳам ўзгарувчи ана шундай нагрузка таъсирида бўладиган деталларнинг пухталигини статик нагрузка остида синаш йўли билан аниқлаб бўлмайди, шунинг учун уларнинг чидамлилик чегарасини аниқлаш зарурати туғилади

Чидамлилик чегарасини аниқлаш учун ўлчамлари ва шакли ҳар хил бўлган намуналардан фойдаланилади. Аммо доиравий кесимли намуналар энг кўп ишлатилади.

Металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегарасини деформациянинг ҳар қандай турларидан: чўзиш-сиқиш, бураш, эгиш турларидан фойдаланиб аниқлаш мумкин. Аммо чидамли

лик чегарасини аниқлашнинг энг кўп тарқалган усули намунани айлантириб туриб эгиш усулидир.

Намуна айлантирилиши натижасида кучланишларнинг симметрик цикли вужудга келади. Цикллар сони (нагрузканинг ўзгаришлари сони), масалан, пўлат учун шартли равишда $n = 5 \cdot 10^6$, қуйма енгил қотишмалар учун эса $n = 20 \cdot 10^6$ қилиб олинади. Чидамлилик чегарасининг қиймати намуна юзасининг ҳолатига, металлмас қўшимчалар билан ифлосланганлик даражасига, металл ёки қотишманинг структурасига, деталнинг шаклига ва бошқаларга боғлиқ бўлади.

Намунага катталиги ва йўналиши (ишораси) жиҳатидан ўзгариб турувчи нагрузка таъсир эттирилганда намуна бирданига синади. бунда кучланишлар қиймати нагрузка бир йўла таъсир эттирилгандаги кучланишлар қийматидан анча кичик бўлади.



52- расм. Толиқиш оқибатида синган жойларнинг умумий кўриниши (Р. С. Николаев):

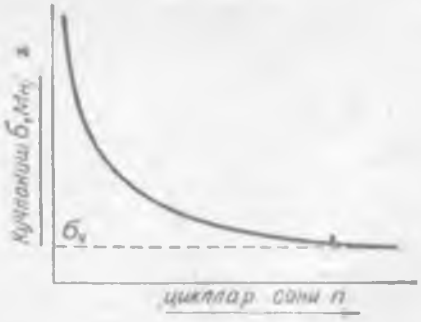
а — ўқ; б — релье.

Толиқиш оқибатида синган жойлар юзасининг умумий кўриниши 52- расмда тасвирланган. 52- расмдан яққол кўриниб турибдики, толиқиш оқибатида синган жой юзасининг ташқи шакли жиҳатидан икки қисмдан: майда донали сиртқи қисм билан йирик донали ички қисмдан иборат.

Толиқиш (чидамлилик) чегарасини аниқлаш учун, синаладиган намунага катталиги ҳам, ишораси ҳам ўзгарувчи нагрузка таъсир эттирилади, бу нагрузка айни металл ёки қотишманинг чидамлилик чегарасидан ортиқ қилиб олинади. Шундан кейин, нагрузка секинаста пасайтирилиб, цикллар сони тегишлича бўлганда намуна синадиган максимал кучланишга эришилади. Синаш натижаларн диаграмма тарзида ифодаланади. Бундай диаграмма тузиш учун абсциссалар ўқига цикллар сони (n), ординаталар ўқига эса кучланишлар (σ) қўйилади (53- расм).

Диаграммадан яққол кўриниб турибдики, эгри чизиқ чидамлилик чегараси ($\sigma_ч$) га тенг ординатага асимптотик равишда яқинлашади, яъни цикллар сони етарли даражада катта бўлганда ҳам намуна синмайди.

53- расмдаги диаграммада (σ — n диаграммасида) эгри чизиқнинг горизонтал вазиятга ўтиш нуқтасини ва, демак, намунанинг чидамлилик чегарасини аниқ билиб бўлмайди. Шунинг учун, баъзан, диаграмма ярим логарифмик ёки логарифмик координаталарда тузилади. Бундай диаграммаларда эгри чизиқнинг горизонтал вазиятга ўтиш нуқтаси, яъни намунанинг чидамлилик чегараси аниқ кўриниб туради (54- расм).

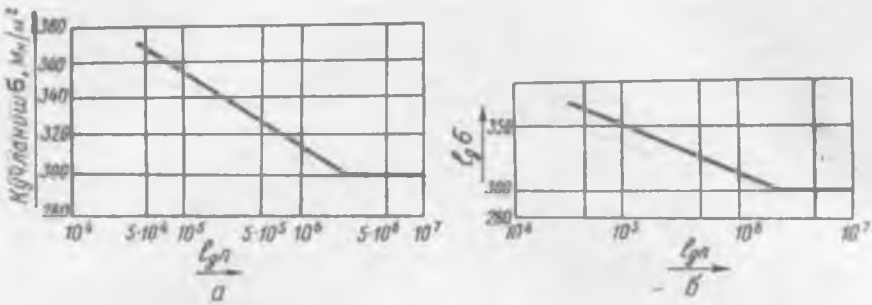


53- расм. Цикллар сони билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси.

Деталнинг чидамлилик чегараси қийматига шу деталь сиртининг ҳолати катта таъсир этади, чунки энг катта кучланиш деталнинг сиртида ҳосил бўлади ва дарзларнинг ўсиши, кўпинча, деталнинг сиртидан бошланади. Деталь сиртидаги тирналган жойлар ва бошқа шикастлар кучланишнинг бу ерга тўпланишига сабаб бўлиб, деталнинг чидамлилик чегарасини пасайтиради.

Металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегараси махсус машиналарда синаб кўрилади. Ана шундай машиналардан бирининг схемаси 55- расмда тасвирланган.

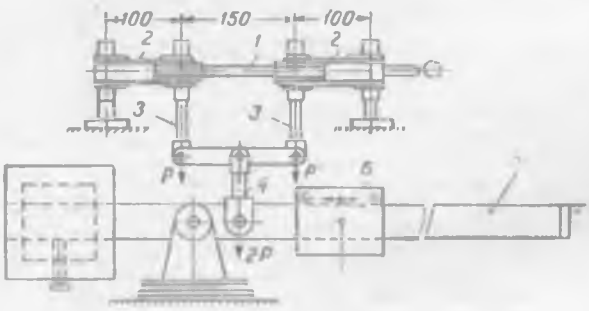
Бу машинада синаш тартиби қуйидагича. Намуна (*1*) шпинделлар (*2*) даги уяларга маҳкамланади. Шпинделларга айланма ҳаракат двигателдан эгилувчан вал орқали узатилади. Намуна икки таянчга ўрнатилган балка каби ишлайди; намунага симметрик ва бир-бирига



54- расм. Циклллар сони билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси:

а — ярим логарифмик координаталарда тузилган диаграмма; *б* — логарифмик координаталаларда тузилган диаграмма.

тенг иккита куч (*P* ва *P*) таъсир эттирилади, бу кучлар юкли ричаглан шарнир воситасида бириктирилган ричаглар (*3* ва *4*) орқали берилади. Синалаётган намунага таъсир этадиган *P* кучнинг қийматини ўзгартириш учун ричагдаги юк ўнг ёки чап томонга силжитилади. Синалаётган намуна барча нуқталарида бир хил эгувчи момент таъсирида эгилади. Машинанинг шпиндели минутига 2700—3000 марта айланади.



55- расм. Намунанинг соф эгилишдаги чидамлилик чегарасини аниқлаш машинасининг схемаси:

1 — намуна; *2* — шпинделлар; *3* ва *4* — тортқилар; *5* — ричаг; *6* — юк.

Ўзгарувчан кучланишлар таъсир эттириш йўли билан металл ва қотишмаларнинг чидамлилик чегарасигина аниқланиб қолмай, балки уларнинг *циклик қовушоқлиги* ҳам аниқланади. Металл ва қотишмаларнинг циклик қовушоқлиги уларнинг ўзгарувчан нагрузкалар таъсир этганда энергиянинг бир қисмини ютиб, иссиқликка айлантира олиш хусусиятидир. Металл ёки қотишманинг циклик қовушоқлиги қанчалик юқори бўлса, ундаги тебранишлар шунчалик тез сўнади. Демак, циклик қовушоқлиги юқори қотишмалардан ишлаш вақтида титрайдиган деталлар, масалан, тирсакли валлар, хаво винти парраклари, турбина кураклари ва шу кабилар тайёрлаш фойдалиди .

9- §. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЁЙИЛУВЧАНЛИГИНИ АНИҚЛАШ

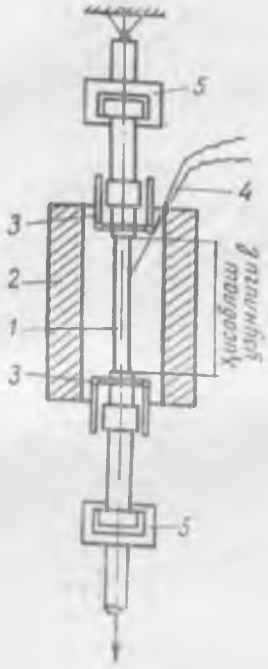
Металл ва қотишмаларга юқори температураларда статик (ўзгармас) нагрузка узоқ вақт таъсир эттирилса, уларнинг механик хоссалари кучли даражада ўзгаради, бунинг сабаби шуки, металлда ички ўзгаришлар содир булиб, бу ўзгаришлар юқори температура билан нагрузканинг биргаликдаги таъсири остида тезлашади.

Металларга юқори температураларда нагрузка узоқ вақт таъсир эттирилганда уларда нихоятда мухим иккита ҳодиса: ёйилувчанлик ва иссиқдан мўртлашувчанлик деб аталадиган ҳодисалар рўй берали.

Металл ва қотишмаларнинг ўзгармас нагрузкада юқори температураларда секин-аста пластик деформацияланиш хусусияти *ёйилувчанлик* деб аталади.

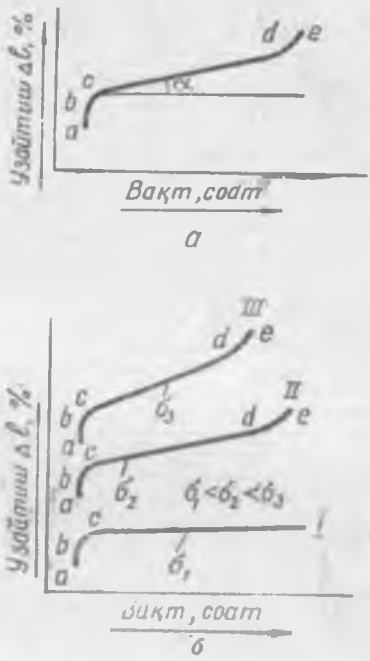
Ўзгармас нагрузкада юқори температураларда металл ва қотишмалар пластиклигининг пасайиши *иссиқдан мўртлашувчанлик* дейилади ва деформация қийматига қараб аниқланади.

Металл ва қотишмаларнинг ёйилувчанлиги чўзиш, бураш, эгиш йўли билан синалиши мумкин. Аммо энг кўп тарқалган усул синалиши керак бўлган металл ёки қотишмадан тайёрланган намунани қиздирилган ҳолда ўзгармас нагрузка таъсирида 56-расмда тасвирланган схема асосида узоқ вақт чўзиш усулидир. Бу усулда намуна (*1*) нинг икки каллаги қисқичлар (*5*) га маҳкамланиб, печь (*2*) га ўрнатилади-да, тегишли температурагача қиздирилади. Намунага нагрузка ричаглар воситасида таъсир эттирилади. Температура термоэлектрик пирометр ёрдами билан, деформация эса индикатор ёки кўзгули махсус асбоб (экстензометр) билан ўлчанади



56-расм. Намунанинг ёйилувчанлигини синаш схемаси:

1 — намуна; *2*—печь; *3* — деформацияни ўлчаш асбобининг бир қисми; *4* — термоэлектрик пирометрнинг термопарасы; *5*— қисқичлар.



57-расм. Ёйилувчанлик эгри чизиқлари

а — ёйилувчанлик эгри чизиғи; *б* — ёйилувчанликнинг типик эгри чизиқлари.

Ўзгармас температура ва ўзгармас кучланишда намунанинг ёйилувчанлик диаграммаси вақт — узайиш координаталарида тузилади; бунда абсциссалар ўқига вақт, ординаталар ўқига эса намунанинг узайиши қўйилади (57-расм).

Ёйилувчанлик эгри чизиғини тўрт қисмга бўлиш мумкин (57-расм, *а*). Бу қисмлардан бири *ab*—намунада эластик узайишлар ҳосил бўлишига тўғри келади, иккинчиси *bc*—мувозанатда бўлмаган ёйилувчанликка тўғри келади, учинчиси *cd*—мувозанатдаги ёйилувчанликка тўғри келади, тўртинчиси *de*—намунанинг узилишига тўғри келади.

Эгри чизиқнинг мувозанатдаги ёйилувчанликка мос келадиган қисми тўғри чизикли қисм бўлиб, бунда намуна ўзгармас тезлик билан узаяди. *cd* тўғри чизиқ кесмасининг вақт ўқига қиялик бурчагининг (α нинг) тангенси ёйилувчанлик тезлигини беради.

Бир металлнинг ўзидан ясалган намуна бир температуранинг ўзида, аммо хар хил нагрузкаларда (кучланишларда) синалганда унинг ёйилувчанлик эгри чизиқлари ҳар хил бўлади (57-расм, *б*). Нагрузкалар кичик бўлганда намунанинг узайиши, амалда, маълум қийматгача давом этади (57-расм, *б* даги *I* эгри чизиқ); нагрузкалар каттароқ бўлганда намунанинг узайиши дастлаб тез бориб, сўнгра маълум вақтгача тахминан бир текис давом этади, *d* нуқтада бўйин ҳосил бўлиб, *e* нуқтада намуна узилади (57-расм, *б* даги *II* эгри чизиқ); ниҳоят, нагрузкалар ундан ҳам катта бўлганда ёйилувчанлик эгри чизиғи янада тикроқ бўлади (57-расм, *б* даги *III* эгри чизиқ). Бинобарин, кучланиш канча кичик бўлса, ёйилувчанлак тезлиги шунча кичик ва намуна шунча узоқ вақт чидайди.

Металл ва қотишмаларнинг механик хоссаларини иккита асосий группага ажратиш керак; булардан бири металл ва қотишмаларнинг узоқ давом этадиган статик нагрузкага қаршилик кўрсатиш хоссалари (ёйилувчанлик чегаралари) бўлса, иккинчиси узилишга қаршилик кўрсатиш (узоқ давом этадиган пухталик) хоссаларидир.

Металл ва қотишмаларнинг *ёйилувчанлик чегараси* ($\sigma_{ё.ч.}$) узоқ вақт таъсир этадиган шундай энг катта кучланишки, бу кучланишда ўзгармас температурада намунанинг деформацияланиш (ёйилувчанлик) тезлиги маълум вақтдан (узоқ вақтдан) кейин нолга тенг бўлиб қолади.

Металл ёки қотишмадан ясалган намуналарни ўзгармас температурада маълум вақт ўтгандан кейин узиб юборадиган кучланиш шу металл ёки қотишманинг *узоқ давом этадиган пухталиги* ($\sigma_{у.п.}$) деб аталади.

Юқори температурада узоқ вақт ишлайдиган деталлар учун ёйилувчанлик чегараси шундай кучланишни билдирадики, бу кучланишда деформация тезлиги шу деталь учун йўл қўйилган қийматдан катта бўлмайди. Масалан, $\sigma^{450}_{ё.ч.}$ 0,1/10000 белги билан кўрсатилган ёйилувчанлик чегараси намуна 450°С гача қиздирилганда намунани 10000 соатда 0,1% тезлик билан деформациялайдиган кучланишни кўрсатади.

Металл ёки қотишманинг узоқ вақт давом этадиган пухталиги шу металл ёки қотишма муайян температурада маълум вақт ишлангандан кейин уни узиб юборувчи кучланишни билдиради. Бинобарин, бу металл ёки қотишма шу температура ва кучланишда ишлаш вақти юқорида айтилган вақтдан кам бўлган деталлар тайёрлаш учунгина яроқлидир. Масалан, $\sigma_{у\cdot п}$ $^{750}_{300}$ белги деталь 750°С гача қиздирилганда таъсири 300 соатгача рухсат этиладиган кучланишни билдиради.

Металл ва қотишмаларнинг узоқ вақт давом этадиган пухталигини синашнинг қуйидаги усуллари бор: 1) металл ёки қотишмадан тайёрланган намуна муайян температурада ва муайян нагрузка таъсирида узилгунча чўзилади-да, намуна узилгунча кетган вақт (соатлар сони) аниқланади; 2) шу температурада ва ўзгармас ҳар хил нагрузкаларда (кучланишларда) бир неча тажриба ўтказилади, шундан кейин, намунанинг узилишигача кетган вақт билан кучланиш орасидаги богланишни кўрсатувчи график чизилади; 3) тажриба ўтказилган ҳар қайси температура ва ҳар қайси ўзгармас кучланиш учун деформация билан вақт орасидаги богланиш аниқланади. Учинчи усул энг мукаммал усулдир, аммо бу усулдан фойдаланиладиган бўлса, намуна узилгунча деформацияни узлуксиз ўлчаб бориш керак бўлади.

Юқорида келтирилган характеристикалар металл ва қотишмаларнинг *иссиқбардошлик*, яъни уларнинг юқори температураларда механик нагрузкалар таъсирига бардош бера олиш ёки бардош бера олмаслик хусусиятини кўрсатади. Шунинг учун бу характеристикалар машиналарнинг юқори температураларда механик нагрузкалар таъсирида ишлайдиган деталлари учун ниҳоятда муҳимдир.

В. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТЕХНОЛОГИК ХОССАЛАРИ

Металл ва қотишмаларнинг технологик хоссалари жумласига уларнинг технологик ишлаш, яъни қуйиш, болғалаш, пайвандлаш ва кесиб ишлаш учун яроқлилик даражасини кўрсатувчи хоссалар, масалан, киришувчанлик, суюқ ҳолатда оқувчанлик, болғаланувчанлик, пайвандланувчанлик, кесиб ишланувчанлик хоссалари ва бошқалар киради.

Киришувчанлик. Қолипнинг ўлчамлари ва шу қолипга қуйиш йўли билан ҳосил қилинган қуйманинг ўлчамлари орасидаги фарқ *киришувчанлик* деб аталади ва % ҳисобида ўлчанади. Ҳар хил қотишмаларнинг киришувчанлиги турлича бўлади. Масалан, оқ чўяннинг киришувчанлиги 1,5—1,75%, пўлатники —1,4—2,2%, кул ранг чўяники — 0,5—1,25%, мис қотишмаларники — 0,8—1,6%, алюминий қотишмаларники 0,3—1,2%, магний қотишмаларники —0,3—1,2%.

Суюқ ҳолатда оқувчанлик. Металл ва қотишмаларнинг суюқ ҳолатда қолипни тўлдира олиш хусусияти *суюқ ҳолатда оқувчанлик* деб аталади. Металл ёки қотишманинг суюқ ҳолатда оқувчанлиги қанчалик юқори бўлса, у суюқлантирилганда қолипнинг юпқа ва ингичка жойларини шунчалик яхши тўлдиради.

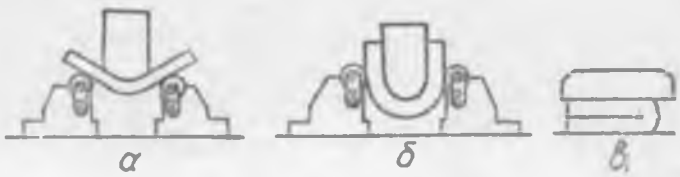
Болғаланувчанлик. Металл ва қотишмаларнинг болғалаш, штамплаш ва прокатлаш вақтида ўз шаклини емирилмай ўзгартира олиш хусусияти *болғаланувчанлик* деб аталади. Металл ёки қотишма босим билан ишланганда қанча юқори деформацияланиб, бу деформация учун зарур бўладиган куч қанча кичик бўлса, унинг болғаланувчанлиги шунча юқори бўлади.

Пайвандланувчанлик. Металл ва қотишмаларнинг пайвандлашда пухта ва зич бирикмалар ҳосил қила олиш хусусияти *пайвандланувчанлик* деб аталади. Пайванд чокнинг механик хоссалари қанчалик юқори, унинг структураси қанчалик бир жинсли, пайвандлаш вақтида говаклар ва бошқа нуқсонлар қанчалик кам ҳосил бўлса, пайвандланувчанлик шунча юқори бўлади.

Кесиб ишланувчанлик. Металл ва қотишмаларнинг кесиб ишланувчанлиги комплекс тушунча бўлиб, унга ҳозиргача муҳим бир таъриф берилган эмас. Кесиб ишланувчанлик вақт бирлиги ичида ёки маълум иш сарф қилинганда энг кўп йўниб тушириладиган қирнинди оғирлиги билан баҳоланиши мумкин.

1-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БУКИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг букилувчанлигини синашдан мақсад уларнинг белгиланган улчамда ва шаклда букила олиш хусусиятини аниқлашдан иборат. Букилишга синаш учун синаладиган металл ёки қотишмадан арра, фреза ёки кескич ёрдамида буйи $l=5a+150$ *мм* ва эни $b=2a$ *мм* намуна қирқиб олинади, бу ерда a — синаладиган металл ёки қотишманинг қалинлиги (намунанинг эни 10 *мм* дан кам бўлмаслиги керак). Материалнинг турига ҳамда вазифасига кўра, намуна турлича: маълум бурчак ҳосил бўлгунча (58 расм, *а*), томонлари параллел вазиятга келгунча (58-расм, *б*)



58- расм. Намунанинг букилувчанлигини синаш.

ёки иккала томони жипслашгунча букилади. Бунинг учун намуна иккита таянч роликка қўйилиб унинг қоқ ўртасига 58-расм, *а* ва *б* да кўрсатилганидек оправка ёки 58-расм, *в* да кўрсатилганидек нагрузка таъсир эттирилади. Намунани букиш учун пресс ёки тискидан фойдаланилади.

Ишлаш вақтида эгиладиган қовушоқ материалларнинггина букилувчанлиги синалади. Бу усул пайванд чокнинг сифатини, металл ёки қотишмаларнинг пайвандланувчанлигини синашнинг энг яхши усулидир.

Намуна совуқлайин ҳам, қиздириб туриб ҳам синалиши мумкин.

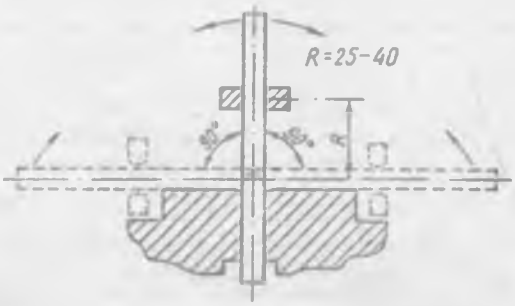
Синовдан ўтказилган намунада дарз кетган, қаватларга ажралган, синган жойлар ва бошқа нуқсонлар бўлмаса, намуна букилишга бардош берган бўлади.

2-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТАКРОР БУКИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг такрор букилувчанлигини синашдан мақсад уларнинг букилиб-ёйилишга қанчалик бардош беришини аниқлашдан иборат. Бу усул диаметри 0,8 дан 7 *мм* гача бўлган сим ва чивиқлар, шунингдек, қалинлиги 5 *мм* гача бўлган листлар учун қўлланилади.

Металл ва қотишма листларининг такрор букилувчанлигини синаш учун улардан эни $b=2h+10$ *мм* (h — листнинг қалинлиги), узунлиги $l=150$ *мм* ли намуна қирқиб олинади.

Намуна асбобнинг жағлари орасига сиқилиб, гоҳ бир томонга, гоҳ иккинчи томонга 90° букилади (59-расм).

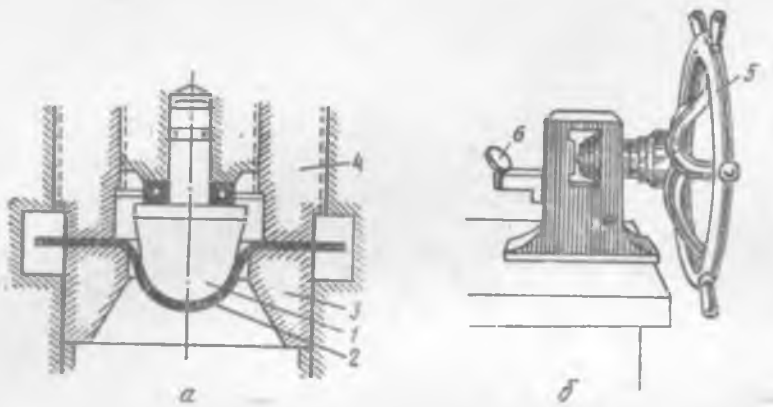


59- расм. Такрор букилувчанликни синаш схемаси.

Намуна такрор букилишга фақат совуқ ҳолатда синалади. Намунани 90°га букиб, яна асли вазиятига қайтариш битта такрор букиш бўлади. Такрор букиш процесси минутига 60 чамаси такрор букиш тезлигида то намуна сингунча давом эттирилади.

3-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ БОТИЛУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг ботилувчанлигини синашдан кўзда тутиладиган мақсад улардан тайёрланган юпқа листларнинг (тунукаларнинг) совуқлайин штамплана олиш хусусиятини аниқлашдан иборатдир. Бунинг учун, ботилувчанлиги синаладиган лист ёки лентадан квадрат шаклида қилиб намуна қирқиб олинади. Синаладиган намуналарнинг, тегишли матрица ва пуансонларнинг ўлчамлари 6-жадвалда берилган.



60-расм.

а — синаш схемаси: *1* — пуансон, *2* — намуна, *3* — матрица, *4* — қисқич; *б* — асбобнинг умумий кўриниши: *5* — маховик, *6* — кўзгу.

6-жадвал

Синаладиган листнинг қалинлиги, *мм* ҳисобида	Намуна томонининг узунлиги, *мм* ҳисобида	Матрицанинг ички диаметри, *мм* ҳисобида	Пуансоннинг диаметри, *мм* ҳисобида
2 дан 4 гача	70 дан 90 гача	27	14
1,5 » 2 »	70 » 90 »	27	20
1,0 » 1,5»	10 » 20 »	5	3

Қирқиб олинган намуна синаш асбобининг матрицаси устига қўйилиб, қисқич билан қисилади. Шундан кейин, намунада биринчи дарз ҳосил бўлгунча унга пуансон таъсир эттирилади. Намунани синаш схемаси ва синаш асбобининг умумий кўриниши 60-расмда тасвирланган.

Намунанинг биринчи дарз ҳосил булгунча ботилиш чуқурлиги шу намуна материалининг пластиклигини кўрсатади

Пуансон намунага маховик ёрдамида минутига 16—10 *мм* тезлик билан таъсир эттирилади, дарз ҳосил бўлиш пайти эса кўзгу ёрдамида аниқланади.

4-§. МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ЧЎКУВЧАНЛИГИНИ СИНАШ

Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синашдан мақсад уларнинг совуқ холатда қанчалик деформацияланишини (сиқилишини) аниқлашдан иборатдир. Бу усул болғаланиши керак бўладиган ва болт, парчин мих каби деталлар тайёрлашга мўлжалланган металл ва қотишмалар учун қўлланилади.

Металл ва қотишмаларнинг чўкувчанлигини синаш учун улардан $h=2d$ ўлчамли намуна қирқиб олинади-да, бу намуна техника шартида берилган даражагача ($h_1=xh$ гача) бўлиб қолгунча болғача ёки болға билан чўктирилади. Бунда x нинг қиймати $^1/_3$, $^1/_3$ ёки $^2/_3$ бўлиши мумкин. Шу тариқа синалган намунала дарзлар, ёриқлар, синиқлар ва шу каби нуқсонлар бўлмаса, бу намуна олинган металл ёки қотишма яроқли деб ҳисобланади. Намунанинг чўктиришдан олдинги ва чўктирилгандан кейинги ўлчамлари 61-расмда кўрсатилган.



61- расм. Намунанинг совуқ ҳолатда чўкувчанлигини синаш:

а — чўктиришдан олдинги намуна; *б* — чўктирилгандан кейинги намуналар.

Металл ва қотишмалар технологик хоссаларини синашнинг биз танишиб чиққан усулларидан бошқа усуллари ҳам бор. Масалан, металл ва қотишмаларнинг яссиланувчанлик, ўралувчанлик, буралувчанлик ва бошқа хоссаларини синаш усуллари шулар жумласидандир.

III БОБ

МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ ВА РЕКРИСТАЛЛАНИШИ

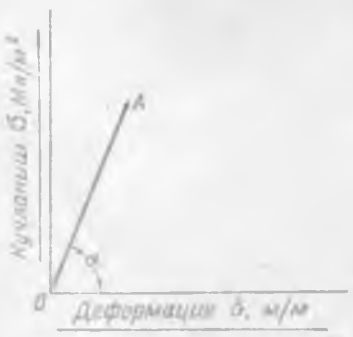
Металлга бирор куч таъсир эттирилганда шу металл геометрик шаклининг ўзгариши *деформация* дейилади. Физикавий ва химиявий ҳодисалар, масалан, аллотропия ҳодисаси таъсири остида ҳам металл деформацияланиши мумкин.

Металлга ташқи куч таъсир эттирилишидан олдин, яъни у деформацияланмаган ҳолда бу металлнинг кристалл панжараси ўзгармайди, металл деформацияланганидан кейин эса унинг кристалл панжараси ўзгаради — панжара тугунларидаги атомлар ўз ўрнидан силжийди.

Нормал температурада металлнинг деформацияси уч босқичдан: эластик ва пластик деформациялардан ҳамда емирилишдан иборат бўлади. Деформациянинг ана шу босқичларини кўриб чиқайлик.

1-§. МЕТАЛЛАРНИНГ ЭЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ

Металлга таъсир эттирилган куч олингандан кейин металл асли ҳолига (шаклига) қайтса, яъни унинг деформацияси йўқолса, бундай деформация *эластик деформация* деб аталади. Масалан, пўлат пружина сиқилса, унинг шакли ўзгаради, яъни деформацияланади, бу пружина қўйиб юборилса, яна аввалги вазиятига келади — унинг деформацияси йўқолади. Ана шу деформация эластик деформация бўлади. Пружина сиқилганда пўлатнинг кристалл панжараси ўзгаради, пружина қўйиб юборилгандан кейин эса кристалл панжара яна асли ҳолига келади.



62-расм. Эластик деформация билан кучланиш орасидаги боғланиш диаграммаси.

Металлнинг чўзилишидаги эластик деформацияланиши билан кучланиши орасида чизиқли боғланиш бўлиб, бу боғланиш диаграмма тарзида 62-расмда кўрсатилгандек тасвирланади.

Бу боғланишнинг математик ифодаси қуйидагича бўлади ва пропорционаллик қонуни, бошқача қилиб айтганда, Гук қонуни дейилади:

$$\sigma = E\delta,$$

бу ерда σ — нормал кучланиш;

E — пропорционаллик коэффициенти;

δ — деформация (узайиш).

Пропорционаллик коэффициенти (E) ***Юнг модули***, бошқача айтганда, *эластиклик модули* деб аталади ва α бурчакнинг тангенсига тенг бўлади:

$$E = \frac{\sigma}{\delta} = tg\,\alpha.$$

Юнг модули металл кристалл панжарасининг турига ва параметрига боғлиқдир. Бинобарин, ҳар хил металлар учун Юнг модули турлича бўлади.

Металлнинг эластиклик хоссаси маълум чегарагачагина сақланиб қолади, кучланиш бу чегарадан ошса, металлнинг эластиклик хоссаси йўқолади. Ана шу чегара *эластиклик чегараси* деб аталади. Эластиклик чегараси 62-расмдаги диаграммада A ҳарфи билан кўрсатилган кучланишга тўғри келади.

Металлнинг эластиклик хоссалари атомлараро таъсир кучларидан келиб чиқади, шунинг учун металл қиздирилганда эластиклик модули пасаяди, чунки температуранинг кўтарилиши натижасида металлнинг кристалл панжарасидаги атомлараро масофа катталашади, бинобарин, атомларнинг ўзаро тортишув кучи заифлашади.

2-§. МЕТАЛЛАРНИНГ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАНИШИ

Металлга таъсир эттирилган куч олингандан кейин металл асли ҳолига (шаклига) келмаса, яъни унда қолдиқ деформация ҳосил бўлса, бундай деформация *пластик деформация* дейилади. Металлда пластик деформация шу металлга таъсир эттирилган нагрузка эластиклик чегарасидан ортгандагина вужудга келади.

Пластик деформация, юқорида айтиб ўтилганидек, деформациянинг иккинчи босқичи, яъни эластик деформациянинг давоми бўлиб, унинг диаграммаси 63-расмда тасвирланган.

Пластик деформация жараёнида металлнинг деформацияга қаршилиги ортиб боради ва пластик деформацияланиш хусусияти пасаяди.

Эластик деформация билан пластик деформация орасида чуқур физикавий фарқ бор. Металлнинг эластик деформацияланишида, юқорида айтиб ўтилганидек, кристалл панжарадаги атомлар (ионлар) оралиғи ўзгаради, таъсир эттирилган куч олинганда эса атомлар (ионлар) оралиғи аслига келади, натижада деформация йўқолади. Пластик деформация вақтида эса кристаллнинг бир қисми бошқа қисмига нисбатан силжийди, таъсир эттирилган куч олинганда кристалларнинг силжиган қисми аввалги жойига қайтмайди, яъни деформация қолади. Бундан ташқари, пластик деформация вақтида доналар ичида мозаика блоклари* майдаланади, деформация даражаси юқори бўлган ҳолларда эса доналарнинг шакли ва уларнинг фазода жойлашуви ҳам сезиларли дара-



63-расм. Эластик ва пластик деформациялар диаграммаси.

*Металларнинг доналари ичида ўлчамлари $1 \cdot 10^{-5} — 1 \cdot 10^{-3}$ *см* бўлиб, бир-бирига нисбатан кичик бурчаклар — бир неча минутдан тортиб, бир неча секундгача бурчаклар ҳосил қиладиган яна бир тур кристалл тузилмалар бўлади, ана шу кристалл тузилмалар *мозаика блоклари* дейилади.

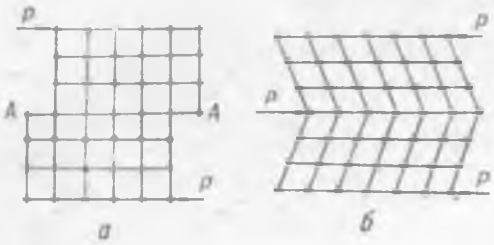
жада ўзгаради, бунда доналар оралиғида, баъзан эса доналар ичида ҳам дарзлар ҳосил бўлади.

63- расмда тасвирланган диаграммадаги $\sigma_{э.ч}$. кучланиш пластик деформациянинг бошланиш пайтига тўғри келади. Деформацияни ўлчаш усули қанчалик аниқ бўлса, *A* нуқта шунчалик паст туради. Техник ўлчашларда намуна узунлигининг ёки бошқа ўлчамининг 0,2 процентига тенг қолдиқ деформация ҳосил қиладиган кучланиш характеристикаси қабул қилинган, бу характеристика *оқувчанлик чегараси* деб аталади ва $\sigma_{0,2}$ ёки $\sigma_{ок}$ билан белгиланади.

Энг катта кучланиш (σ_b) металлнинг синиш (ажралиш) пайтига тўғри келади. Бу характеристика, кўпинча, *синишга кўрсатиладиган қаршилик* деб аталади.

Металлар ташқи куч таъсири остидагина эмас, балки ҳажм ўзгаришлари билан боғлиқ бўлган фаза ўзгаришларидан вужудга келган ички кучланишлар таъсири остида ҳам пластик деформацияланади.

Пластик деформация процессини текширишда металлнинг монокристалидан фойдаланиш анча қулай. Пластик деформация процессини текшириш натижасида, бу процесснинг сирпаниш йўли билан, шунингдек, иккиланиш йўли билан бориши аниқланди. Пластик деформация вақтида кристалл панжарада содир бўладиган ўзгаришлар схемаси 64- расмда тасвирланган.



64- расм. Пластик деформация вақтида кристалл панжарада содир бўладиган ўзгаришлар:
а — сирпаниш; *б* — иккиланиш.

Деформация кучсизроқ бўлганда, дастлаб силжиш йўналишига нисбатан энг қулай жойлашган текисликлардаги атомлар сирпана бошлайди, деформация кучая борган сари бошқа текисликлардаги атомлар ҳам сирпанади. Шундай қилиб, пластик деформация процесси бутун монокристалл бўйлаб бирин-кетин тарқалади.

Металлнинг силлиқланиб, сўнгра ялтиратилган намунасини пластик деформациялаб, атомларнинг сирпаниш изларини кўриш мумкин: бу излар сирпаниш чизиқлари тарзида бўлади. Агар деформация атомларнинг иккиланиши йўли билан борса, металл намунасининг микроскопик тузилишида иккиланган пластинкалар пайдо бўлади.

Металлар пластик деформацияланганда, кўпинча, бир вақтнинг ўзида атомларнинг ҳам сирпаниши, ҳам иккиланиши юз беради.

Дислокациялар назариясига кўра (23- бетга қаранг), металл пластик деформацияланганда чизиқли нуқсонлар ҳосил бўлади, бу нуқсонлар сурилади, бир-бири билан ҳам, бошқа нуқсонлар билан ҳам ўзаро таъсир этади. Ана шу чизиқли нуқсонлар (дислокациялар) ҳосил булиши металлнинг кристалл панжарасидаги атомларнинг ташқи кучлар ёки ички кучланишлар таъсирида сирпаниш (силжиш) процесси билан боғлиқдир. Дислокация ҳосил бўлгандан кейин сирпаниш текислигининг иккала томонида кристалл панжаранинг вазияти ўзгаради ва атомлар орасидаги идеал боғланиш бузилади. Агар металлга кичикроқ ташқи *P* куч қўйилса, бас, сирпаниш текислиги устидаги вертикал қатор атомлари битта атомлараро масофадан ортиқ бўлмаган оралиққа бирин-кетин силжийди. Бунинг натижасида дислокация навбатдаги қатор атомларига ўтади (силжийди) ва маълум бир пайтда 64- расм, *а* да тасвирланган вазиятни олади. Оқибатда дислокация сиртга тепиб, йўқолади.

Шундай қилиб, юқорида тасвирланган процесс натижасида сирпаниш текислиги *AA* дан юқориги қаторлар битта атомлараро масофага силжийди (64-расм, *а*). Дислокация ҳосил бўлиши учун нисбатан катта дастлабки *P* куч талаб этилади. Дислокация ҳосил бўлгандан кейин, пластик деформацияни вужудга келтириш учун анча кичик ташқи куч кифоя қилади. Бу ердан шундай хулоса чиқариш мумкин: металлда дислокациялар қанча кўп бўлса, шу металл кристалида силжиш процесси шунча осон ўтади ва, аксинча, металлда дислокациялар қанча кам бўлса, силжиш имкониятлари шунча кам ва металл шунча пухта бўлади. Ниҳоят, дислокация ҳосил бўлмайдиган металлда силжиш кристаллнинг барча қисмининг бир вақтда сурилиши ҳисобига содир бўлади. Дислокациясиз ёки чекланган ва кўпаймайдиган дислокацияли металлнинг пухталиги назарий пухталигига тенглашиб боради. Аммо дислокациясиз кристаллар ҳозирча жуда кичик ўлчамларда, яъни ипсимон ҳолдагина ҳосил қилинган. Масалан, темирнинг 1 *мк* чамаси қалинликдаги ва 2,5 *мм* узунликдаги ипсимон кристалини ҳосил қилишга муваффақ бўлинган.

Пластик деформация процесси иккиланиш йўли билан борганда (64-расм, *б*) монокристаллнинг муайян қисмидаги атомлар шундай силжийдики, натижада монокристаллнинг бир қисми иккинчи қисмига нисбатан гўё бурилиб, симметрик вазиятга келади. Бунда металлнинг микроструктурасида ўзига хос иккиланган пластинкалар пайдо бўлади.

Пластик деформация процесси поликристалларда монокристаллардагига қараганда анча мураккаб боради. Поликристалларда ўлчамлари ва шакли жиҳатидан бир-биридан фарқ қиладиган ва бир-бирига нисбатан турлича вазиятда жойлашган кўпдан-кўп монокристаллар бўлганлигидан, бундай кристалларда атомларнинг сирпаниш процесси қийинлашади. Поликристаллардан тузилган металл пластик деформацияланганда дислокациялар ва панжаранинг бошқа нуқсонлари сони ортади, дислокациялар қайта тақсимланади ва доналар ҳамда мозаика блоклари чегараларига тўпланади. Поликристаллардан тузилган металларнинг деформацияга кўрсатадиган қаршилиги монокристаллникига қараганда катта бўлишининг сабаби ҳам ана шу.

3-§. МЕТАЛЛАРНИНГ ЕМИРИЛИШИ

Металларнинг пластик деформацияланиши ниҳоятда муҳим хоссадир, чунки металларни сим қилиб чўзиш, прокатлаш, штамплаш, чўктириш, эгиш каби технологик процесслар металларнинг пластик деформацияланиш хоссасига асосланган. Бундан ташқари, металларнинг пластик деформацияланиш хоссаси шу металлардан тайёрланган конструкциялар, деталлар ва хилма-хил буюмларнинг пухта ишлаши учун ҳам катта аҳамиятга эгадир.

Маълумки, металл намунасига таъсир эттирилган нагрузка маълум чегарага етганда бу намуна емирилади (узилади ёки синади). Емирилиш характери металлнинг қандай ҳолатда эканлигига боғлиқдир, металл эса мўрт ёки қовушоқ ҳолатда бўлиши мумкин. Шу муносабат билан металл икки хил ҳолатда емирилади. Булардан бири мўрт ҳолатда емирилиш бўлса, иккинчиси қовушоқ ҳолатда емирилишидир.

Металлнинг мўрт ҳолатда емирилиши пластик деформациясиз (аслида эса ҳисобга олмаса ҳам бўладиган кичик пластик деформациядан кейин) содир бўлади. Металлнинг мўрт ҳолатда емирилиши шу металлнинг бирор кесимига перпендикуляр бўлган кучланишлар таъсири ос-

тида атомлараро боғланишларнинг узилишидан иборатдир. Бинобарин, мўрт ҳолатдаги металл таъсир эттирилган кучга перпендикуляр текисликда узилади.

Металлнинг мўрт ҳолатдаги мустаҳкамлик (пухталик) қийматини аниқ топиб бўлмайди, чунки, юқорида айтиб ўтилганидек, металлнинг емирилиши олдидан жуда кичик қийматли пластик деформация вужудга келади. Металлнинг мўрт ҳолатдаги пухталиги пластик деформацияни қийинлаштирадиган шароитда, масалан, жуда паст температураларда синаш йўли билан тақрибан топилади.

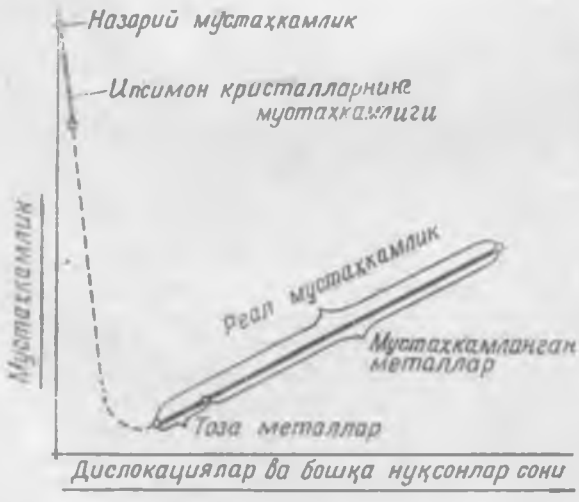
Металлнинг қовушоқ ҳолатда емирилиши шу металл кўп даража пластик деформацияланган кейин рўй беради. Қовушоқ ҳолатдаги металл нормал кучланишлар билан бирор бурчак ҳосил қилувчи текислик бўйича емирилади.

4-§. ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯНИНГ МЕТАЛЛ СТРУКТУРАСИГА ТАЪСИРИ

Пластик деформация вақтида металлнинг кристалл панжараси бузилибгина қолмасдан, балки унда доналар муайян тартибда жойлашиб ҳам қолади, бу ҳодиса *текстураланиш* деб аталади.

Маълумки, ҳар бир кристаллнинг бирор геометрик ўқи бўйлаб унинг пухталиги энг юқори бўлади, деформация таъсири остида металл кристалларининг ана шу ўқлари деформация йўналиши билан бир хил бўлиб қолади.

Текстураланиш даражаси деформация даражасига боғлиқдир; деформацияланиш даражаси маълум қийматга етганда металлдаги барча доналар муайян бир йўналишда жойлашиб қолиши мумкин.



65-расм. Металлнинг мустаҳкамлиги билан шу металл кристалл панжарасидаги дислокациялар ва бошқа нуқсонлар сони орасидаги боғланиш (И. А. Одинг ва А. А. Бочвар).

Дислокациясиз металлнинг пухталиги назарий пухталигига яқинлашиб бориши юқорида айтиб ўтилган эди (71-бетга қаранг). Аммо металларни пухталашнинг бошқа йўли ҳам бор. Маълум бўлишича, дислокациялар сонининг ортиши металлнинг пухталигини фақат дастлабки пайтдагина пасайтиради. Дислокацияларнинг маълум бир критик сонида (зичлигида) металлнинг реал пухталик қиймати минимумга тушиб, сўнгра яна кўтарила бошлайди (65-расм). Бунинг сабаби шуки, бир-бирига параллел дислокациялар ҳосил бўлибгина қолмай, балки ҳар хил текисликларда ва ҳар хил йўналишларда ҳам дислокациялар ҳосил бўлади, бундай дислокациялар эса бир-бирининг силжишига халақит бериб, металлнинг реал пухталигини оширади.

Пластик деформация таъсирида металлнинг пухталаниши *наклёп* ёки *нагартовка* дейилади. Бинобарин, пластик деформация вақтида силжишлар ҳосил бўлиши металлнинг пухталигини, қаттиқлигини ошириб, пластиклигини пасайтиради, чунки пластикликнинг бир қисми наклёп вақтида йўқолади.

Наклёп кўпдан-кўп силжиш юзалари ҳосил бўлишига, мозаика блокларининг майдаланишига олиб келади, бу эса дислокациялар сонини оширади. Айни замонда бу процесс кристалл панжаранинг эластик бузилишига сабаб бўлади, бу эса дислокацияларнинг силжиши учун жуда кўп ғовлар ҳосил қилади. Буларнинг ҳаммаси наклёп вақтида металлнинг пухталанишига сабаб бўлади. Бундан ташқари, дислокацияларнинг сурилишига тўсқинлик қилувчи ҳар қандай сабаб, масалан, қўшимчаларнинг атомлари (Коттрел атмосфераси), химиявий бирикмаларнинг ниҳоятда майда заррачалари ва бошқалар ҳам металларни пухталайди.

Хулоса қилиб айтганда, металларнинг пухталиги уларнинг кристалл панжарасидаги дислокациялар ва бошқа нуқсонлар сонига (65-расм), кристалл панжаранинг бузилган-бузилмаганлигига, металл доналарининг майда-йириклигига, металлда субмикроскопик майда қаттиқ заррачалар бор-йўқлигига боғлиқдир.

5-§. ТЕМПЕРАТУРАНИНГ ДЕФОРМАЦИЯЛАНГАН МЕТАЛЛАР СТРУКТУРАСИ ВА ХОССАЛАРИГА ТАЪСИРИ (ҚАЙТИШ ВА РЕКРИСТАЛЛАНИШ ҲОДИСАЛАРИ)

С. С. Штейнберг тадқиқотларига кўра, металлни деформациялаш учун сарф қилинган энергиянинг тахминан 90 проценти иссиқлик энергияси тарзида ажралиб чиқади, 10 процентчаси эса металлда ички кучланишлар ҳосил қилади.

Н. Н. Давиденковнинг классификациясига мувофиқ, бу ички кучланишлар уч турга: биринчи тур, иккинчи тур ва учинчи тур кучланишларга бўлинади.

Биринчи тур кучланишлар макроҳажмларда, яъни бутун металл ҳажмида, иккинчи тур кучланишлар айрим доналар ҳажмида, учинчи тур кучланишлар эса айрим кристалл панжаралар доирасида мувозанатлашади; учинчи тур кучланишлар таъсирида кристалл панжара бузилади — атомлар мувозанат ҳолатидан силжийди.

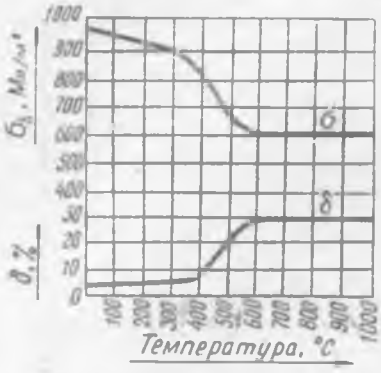
Агар металлда макроҳажмдаги кучланишлар катта бўлса, шу металлдан ясалган деталлнинг бирор қисми ейилганда ҳажмнинг камайиши натижасида мувозанат бузилади-да, деталь деформацияланади.

Айрим доналар ҳажмидаги кучланишларга металлнинг деформацияси учун сарф қилинган энергиянинг ҳисобга олмаса ҳам бўладиган даражадаги қисми (С. С. Штейнберг олган маълумотларга кўра, металлда қолган энергиянинг 1% часи) тўғри келади. Бинобарин, пластик деформация жараёнида металл хоссаларининг ўзгариши учинчи тур кучланишлардан, яъни кристалл панжаранинг бузилишидан келиб чиқади.

Пластик деформацияланган металлда эркин энергия даражаси юқори бўлганлигидан, бундай металл термодинамик жиҳатдан анча беқарор бўлади. Металлни структура жиҳатидан барқарор ҳолатга қайтарувчи ҳодисалар ўз-ўзидан содир бўлиши керак. Бундай ҳодисалар жумласига силжиш натижасида бузилган кристалл панжарани аслига қайтарувчи ҳодисалар ва доналарнинг ўсиш ҳодисалари киради. Бузилган кристалларни аслига қайтарувчи ҳодисалар юқори температура талаб этмайди, чунки бунда атомлар жуда кичик оралиққа силжийди. Унча юқори бўлмаган (темир учун 300—400°С) температураёқ бузилган кри-

сталл панжарани аслига қайтаради ва металлнинг дастлабки механик хоссалари бир қадар тикланади. Пластик деформацияланган темир механик хоссаларининг температурага қараб ўзгариши 66- расмда тасвирланган.

66- расмдаги эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, температураларнинг кичик бир оралиғида металлнинг дастлабки механик хоссалари айниқса тез тикланади. Бу температуралар оралиғидан паст температурада металлнинг микроструктураси ўзгармайди. Рентгеноструктура анализининг кўрсатишича, пластик деформацияланган металл паст температураларда қиздирилганда айрим доналар ҳажмидаги (иккинчи тур) кучланишларгина камаяди.



66- расм. Пластик деформацияланган темир механик хоссаларининг температурага қараб ўзгариши (И. А. Одинг)

Деформацияланган металлни қиздириш жараёнида шу металл хоссаларининг деформацияланишдан олдинги ҳолига келиши *қайтиш* ёки *ҳордиқ* деб аталади. Бу процесс натижасида металлнинг қаттиқлиги ва пухталиги 20—30% пасаяди, пластиклиги эса ортади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, қайтиш процессида металлнинг ички тузилиши унча ўзгармайди ва, шунинг учун, механик хоссалари батамом тикланмайди, баъзи физикавий хоссалари, масалан, электр ўтказувчанлиги эса батамом тикланади. Металлнинг барча хоссаларини деформацияланишдан олдинги ҳолига батамом келтириш учун уни юқорироқ температурагача қиздириш зарур.

Юқорида айтиб ўтилганидек, пластик деформацияланган металл кристалл панжарасининг бузилиши шу металлнинг бутун ҳажмига бир текис тарқалган бўлмайди, металлда шундай жойлар ҳам бўладики, бу жойларда ички кучланишлар концентрацияси айниқса юқори, эркин энергия даражаси ортиқ бўлади. Ана шу жойлар термодинамик жиҳатдан энг беқарор бўлиб, металл қиздирилганда ана шу жойлардаги кристалл панжаралар бошқа жойлардагидан олдин тиклана бошлайди. Бинобарин, металл пластик деформацияланганда учинчи тур кучланишлар ҳосил бўлган жойлар металл қиздирилганда энг олдин барқарор ҳолатга ўтади ва кристалл панжараси тикланмаган қисмлар ҳисобига ўса бошлайди. Шундай қилиб, кристалл пажараси асли ҳолига келган микроҳажмлар янги доналар ўсадиган марказлар бўлиб қолади. Бундай марказлар ҳосил бўлиши ва уларнинг бузилган кристаллар ҳисобига ўсиши *рекристалланиш* деб аталади. Рекристалланиш вақтида металлнинг деформацияланишдан олдинги доналари тикланмай, балки янги доналар ҳосил бўлади, яъни металл янгидан кристалланади. Рекристалланишнинг аллотропик шакл ўзгаришлар вақтида содир бўладиган иккиламчи (қайта) кристалланишдан фарқи шуки, рекристалланишда металлнинг кристалл панжараси ўзгармайди.

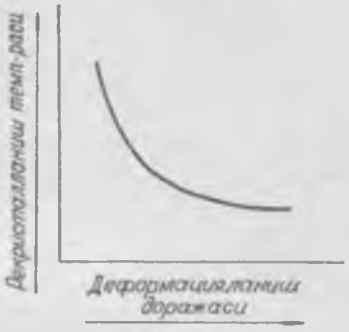
Рекристалланиш температураси (рекристалланишнинг энг кичик температураси) ҳар хил металлар учун турлича бўлади. Масалан, миснинг рекристалланиш температураси ~270°С, темирники ~450°С, никелники ~600°С, алюминийники ~50°С, вольфрамники ~1200°С, қалай, қўргошин ва осон суюқланувчи бошқа металларники эса нормал температурадан паст бўлади.

Рекристалланиш температураси билан суюқланиш температураси орасида қуйидаги боғланиш бор:

$$T_{рек.} = aT_{суюкл.}$$

Бу ерда $T_{рек.}$ — рекристалланиш абсолют температураси;
$T_{суюкл.}$ — суюқланиш абсолют температураси;
a — металлнинг тозалигига боғлиқ коэффициент.

Металл қанчалик тоза бўлса, бу металлнинг рекристалланиш температураси шунчалик паст бўлади. Одатдаги техник тозаликдаги металлар учун $a = 0{,}3 \div 0{,}4$. Қотишмаларнинг рекристалланиш температураси, одатда, тоза металларникидан юқори бўлади ва баъзи ҳолларда суюқланиш температурасининг 0,8 ҳиссасига тенглашади ($T_{рек.} = 0{,}8\,T_{суюкл.}$), аксинча, жуда тоза металларнинг рекристалланиш температураси анча паст, яъни суюқланиш температурасининг 0,2 ва, ҳатто, 0,1 улушига тенг бўлади [$T_{рек.} = (0{,}2 \div 0{,}1)\ T_{суюкл.}$]. a коэффициентдан фойдаланиб, металл ва қотишмаларининг рекристалланиш температурасини ҳисоблаб топиш қийин эмас. Масалан, таркибида 0,5% углерод бўлган пўлатнинг суюқланиш температураси тахминан 1500°С га тенг, унинг рекристалланиш температураси $T_{рек.} \approx 0{,}8 \cdot 1500 \approx 1200$°С бўлади.



67- расм. Рекристалланиш температураси билан деформация даражаси орасидаги боғланишини кўрсатувчи эгри чизиқ.

Рекристалланиш температураси деформация даражасига ҳам боғлиқдир: деформация даражаси қанчалик катта бўлса, металлнинг ички тузилиши шунчалик майда, структуранинг барқарорлиги шунчалик кам бўлади ва, демак, барқарорроқ ҳолатни олиш учун шунчалик кўп интилади. Бинобарин, деформация даражасининг катта бўлиши рекристалланишни осонлаштиради ва рекристалланиш температурасини пасайтиради (67-расм).

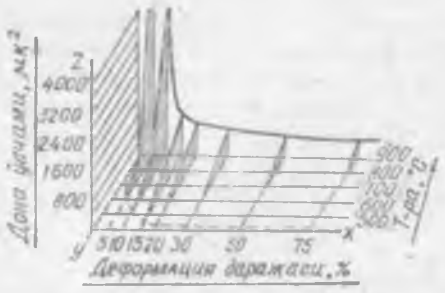
Рекристалланиш температурасининг амалий аҳамияти ғоят катта. Масалан, пластик деформацияланган металлнинг деформациядан олдинги структурасини тиклаш учун бу металлни рекристалланиш температурасидан юқори температурагача қиздириш керак. Бу процесс *рекристаллизацион юмшатиш* деб аталади.

Рекристалланиш температурасидан юқори температураларда содир бўладиган пластик деформация натижасида металл кристалл панжарасидаги атомлар снлжиса ва металл пухталанса-да, аммо шу температураларда бўладиган рекристалланиш процесси бу пухталикни йўқотади.

Металларга рекристалланиш температурасидан юқори температурада ишлов бериш *қиздириб босим билан ишлаш* деб, рекристалланиш температурасидан паст температурада ишлов бериш эса *совуқлайин босим билан ишлаш* деб аталади.

Металларни босим билан ишлашда (болғалаш, штамплаш ва бошқаларда) рекристалланиш температурасидан ташқари, деформация тезлигини ҳам ҳисобга олиш зарур. Деформация тезлиги кичик бўлса, рекристалланиш минимал температурасидан юқори барча температураларда металл рекристалланади, деформация тезлиги катта бўлганда эса рекристалланиш охирига етмай қолиши ва ишлов бериш вақтида металлда бир қадар наклёп ҳосил бўлиши мумкин. Температуранинг кўтарилиши билан рекристалланиш тезлиги кучли даражада ортади.

Металлни қиздириб ишлашда унинг пластиклигини ошириш ва пухталанишига йўл қўймаслик учун металл рекристалланиш температурасидан анча юқори температурагача қиздирилади. Пухталанган (наклёпланган) металл ёки қотишмани юмшатишда ҳам рекристалланиш температурасидан анча юқори температуралардан фойдаланилади, бундай қилинганда рекристалланиш процесслари етарли даражада тез боради.



68- расм. Темирнинг рекристалланиш фазовий диаграммаси.

Пухталанган металл қиздирилганда структурасининг ўзгариши билан механик хоссалари ҳам ўзгаради. Температуранинг кўтарилиши билан металлнинг қаттиқлиги дастлаб сал пасаяди, чунки бунда қайтиш ҳодисаси юз беради. Металл рекристалланиш температурасидан бир қадар юқори температурада юмшатилгандан кейин унинг қаттиқлиги пасайиб, пухталанишдан олдинги қийматига тенглашади. Ана шу температура рекристалланишнинг энг кичик, бошқача айтганда, миннимал температурасидир. Металлнинг бошқа механик хоссалари (мустаҳкамлик чегараси, оқувчанлик чегараси) ҳам худди қаттиқлигининг ўзгариши каби ўзгаради.

Юқорида айтиб ўтилганидек, металлнинг рекристалланиши вақтида янги доналар ҳосил бўлиш ва уларнинг ўсиш процесси, шунингдек, эски доналарнинг ўсиш процесси содир бўлади. Рекристалланиш вақтида доналарнинг ўлчами уларнинг деформациядан олдинги ўлчамидан кичик бўлиши ёки бир неча марта катта бўлиши мумкин. Рекристалланиш вақтида доналарнинг катта-кичиклиги қиздириш температурасига, деформация даражасига, маълум бир температурада тутиб туриш вақтига ва дастлабки доналар ўлчамига боғлиқдир. Қиздириш температураси кўтарилганда ва тутиб туриш вақти оширилганда доналарнинг ўлчами катталашади. Деформациянинг критик даражасида рекристалланиш вақтида доналарнинг ўлчами энг катта бўлади. Кам углеродли пўлат учун деформациянинг критик даражаси 7—15 процентни ташкил этади, шунинг учун бундай пўлатни босим билан ишлашда деформация даражасини бундай қийматларга етказмаслик керак.

Доналар ўлчамининг асосий факторларга, яъни қиздириш температурасига ва деформация даражасига қараб ўзгариши (ҳар қайси металл учун) *рекристалланишнинг фазовий диаграммаси* деб аталадиган диаграмма билан ифодаланади. Бундай диаграммалардан бири 68- расмда тасвирланган.

Рекристалланиш диаграммаларининг амалий аҳамияти гоят каттадир. Бу диаграммалардан фойдаланиб, рекристалланиш вақтида майда доналар ҳосил қилиш учун керак бўладиган оптимал температура ва оптимал деформация даражасини аниқлаш мумкин.

IV БОБ

ҚОТИШМАЛАР УМУМИЙ НАЗАРИЯСИ

1-§. ҚОТИШМАЛАР ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧА

Металлар билан металларни, металлар билан металлоидларни ёки металлоидлар билан металлоидларни бирга суюқлантириш орқали ҳосил қилинган жисм *қотишма* деб аталади. Металлар билан металларнинг қотишмаси *металл қотишма* дейилади. Кўпи металл ёки металлардан, қолгани эса металлоидлардан иборат бўлиб, металл хоссаларига эга қотишмалар ҳам металл қотишмалари жумласига киради.

Суюқлантирмай туриб, масалан, электролиз қилиш, қовуштириш, сублиматлаш* ва бошқа усуллар билан ҳосил қилинган қотишмалар ҳам бўлади, бундай қотишмалар *псевдоқотишмалар* деб аталади. Техникада тоза металлар эмас, балки уларнинг бошқа металлар билан ёки металлоидлар билан ҳосил қилган қотишмалари кўп ишлатилади. Масалан, тоза темир техникада қарийб ишлатилмайди, аммо темир билан углероддан ва жуда оз миқдорда бошқа баъзи элементлардан иборат қотишмалар кенг кўламда ишлатилади. Тоза мис техникада кам ишлатилади (тоза мисдан, асосан, электротехника саноатида фойдаланилади), аммо мис билан рух қотишмаси (латунь) ёки мис билан қалай, алюминий, кремний ва бошқа баъзи элементлардан иборат қотишма (бронза) анча кўп ишлатилади ва ҳоказо.

2-§. ФАЗА, СИСТЕМА ВА КОМПОНЕНТЛАР ТЎҒРИСИДА ТУШУНЧА

Суюқ ёки қаттиқ ҳолатдаги қотишманинг бошқа қисмларидан чегара сиртлар билан ажралган, бир хил химиявий тартибга ёки тузилишга эга бўлган ва бир хил агрегат ҳолатда турган бир жинсли (гомоген) қисми *фаза* дейилади.

Мувозанатда турган фазалар мажмуи *система* деб, системани ташкил этувчи моддалар эса *компонентлар* деб аталади.

Фазалар сонига қараб, системалар бир фазали, икки фазали ва ундан ортиқ фазали бўлиши мумкин. Масалан, бир жинсли суюқ эритма, бир жинсли қаттиқ эритма, химиявий бирикма бир фазали системалар жумласига киради, чунки уларда чегара сиртлар билан ажралган қисмлар бўлмайди, икки хил ва ундан ортиқ хил кристаллардан иборат

---

* *Сублимация* сўзи латинча бўлиб, унинг маъноси қаттиқ ҳолатдан бирданига буғ ҳолатига ўтиш демакдир; *сублиматлаш* — қаттиқ ҳолатдан буғ ҳолатига ўтказиш.

аралашма эса икки фазали ёки ундан ортиқ фазали бўлади, чунки ҳар қайси хил кристалл бошқа хил кристаллардан ўз таркиби ёки тузилиши жиҳатидан фарқ қилади ва бир-биридан чегара сиртлар билан ажралган бўлади.

Система фазаларининг сонига халал етказмай ўзгартирилиши мумкин бўлган ташқи ва ички факторлар сони (температура, босим ва концентрация) системанинг *эркинлик даражалари сони* ёки *вариантлиги* дейилади.

3-§. ФАЗАЛАР ҚОИДАСИ

1873—1878 йилларда Д. Гиббс кўп фазали гетероген (кўп жинсли) системаларнинг мувозанатини ифодалаш учун, термодинамиканинг биринчи ва иккинчи қонунларига асосланиб, фазалар қоидаси деб аталадиган бир қонунни топди.

Биз фаза, система, компонент ва эркинлик даражалари сони (вариантлик) нима эканлигини билиб олдик. Энди фазалар қоидасини таърифлашга ўтсак бўлади.

Мувозанат ҳолатида турган ҳар қандай системанинг фазалари сони, компонентлари сони ва эркинлик даражалари сони орасидаги боғланишни кўрсатувчи математик ифода *фазалар қоидаси,* бошқача қилиб айтганда, *Гиббс қонуни* деб аталади.

Фазалар қоидасини келтириб чиқариш учун мувозанатда турган системанинг фазалари сонини $Ф$ ҳарфи билан, компонентлари сонини K ҳарфи билан, эркинлик даражалари сонини C ҳарфи билан белгилаймиз.

Икки компонентли фазанинг таркибини билиш учун компонентлардан бирининг процент билан ифодаланган миқдорини билиш кифоя. 100% дан биринчи компонентнинг процент билан ифодаланган миқдори айрилса, иккинчи компонентнинг миқдори чиқади. Бинобарин, бирор фазадаги компонентлар сони K бўлса, фазанинг таркиби $(K—1)$ компонентнинг концентрацияси билан ифодаланади. Фазадаги компонентлардан бирининг концентрациясини билиш учун қолган барча компонентлар концентрацияларининг йиғиндисини 100 дан айириш керак. Демак, ҳар қайси фазада концентрация параметрлари сони $(K—1)$ бўлади. Системанинг барча фазаларидаги концентрация параметрлари сони $(K—1)\ Ф$ га тенг. Бунга яна икки параметрни (факторни) — босим билан температурани қўшсак, системадаги барча параметрлар сони чиқади:

$$(K-1)\ Ф + 2.$$

Мувозанатда турган система учун ҳар қайси компонентнинг барча фазалардаги эркин энергия даражаси (термодинамик потенциали) бир хил бўлиши керак. Буни қуйидаги тенгламалар системаси билан ифодалаймиз (μ — эркин энергия даражаси):

1-компонент учун $\mu_1^{I} = \mu_1^{II} = \mu_1^{III} = \mu_1^{IV} = \ldots = \mu_1^{Ф}$

2-компонент учун $\mu_2^{I} = \mu_2^{II} = \mu_2^{III} = \mu_2^{IV} = \ldots = \mu_2^{Ф}$

3-компонент учун $\mu_3^{I} = \mu_3^{II} = \mu_3^{III} = \mu_3^{IV} = \ldots = \mu_3^{Ф}$

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

K-компонент учун $\mu_K^{I} = \mu_K^{II} = \mu_K^{III} = \mu_K^{IV} = \ldots = \mu_K^{Ф}$

Бу тенгламалар системасида эркинлик даражалари сони (C) нимага тенглигини ҳисоблаб топайлик.

Юқоридаги тенгламалар системасида ҳаммаси бўлиб K сатр ва ҳар қайси сатрда $(\Phi - 1)$ тенглама бор. Бир сатрдаги тенгламалар сонини сатрлар сонига кўпайтирсак, барча тенгламалар сони чиқади:

$$(\Phi - 1)\ K.$$

Биз кўриб чиқаётган системада мустақил ўзгарувчилар температура, босим ва концентрациядир. Ҳар бир фазага барча компонентлар киради деб фараз қилиб, K—1 та компонентнинг концентрациясини ўзгартириш мумкин. Энг охирги компонентнинг концентрацияси айирмага қараб топилади.

Фазалар сони Φ бўлганлигидан, мустақил ўзгарувчилар сони концентрация учун $(K-1)\ \Phi$ га, температура учун 1 га ва босим учун 1 га тенгдир. Буларни бир-бирига қўшсак, барча мустақил ўзгарувчилар сони чиқади:

$$(K-1)\Phi + 1 + 1 = (K-1)\Phi + 2.$$

Системанинг эркинлик даражалари сони мустақил ўзгарувчилар сони билан тенгламалар сони орасидаги айирмага тенг:

$$C = (K-1)\Phi + 2 - (\Phi - 1)\ K.$$

Қавсларни очиб, ўхшаш ҳадларни ихчамласак, қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$C = K - \Phi + 2.$$

Ана шу тенглама фазалар қондасининг ифодасидир.

Шуни яна бир марта таъкидлаб ўтиш керакки, фазалар қоидаси фақат мувозанатда турган системалар учунгина татбиқ этилиши мумкин. Мувозанатда турмаган системалар учун бу қоидани татбиқ этиб бўлмайди.

Агар мувозанатда турган система компонентларида содир бўладиган барча процесслар (ўзгаришлар) ўзгармас босимда борса, мустақил ўзгарувчилар сони битта камаяди ва фазалар қоидасининг тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$C = K - \Phi + 1.$$

$C=0$ бўладиган ҳолни кўриб чиқайлик. Бир компонентли (тоза металлдан иборат) системани олайлик. Металл суюқ ҳолатда бўлганда, системанинг эркинлик даражалари сони 1 га тенг бўлади, чунки компонентлар сони ҳам, фазалар сони ҳам 1 га тенгдир:

$$C = K - \Phi + 1 = 1 - 1 + 1 = 1.$$

Бундай ҳолда металлнинг агрегат ҳолатини ўзгартирмай, температурани ўзгартириш мумкин. Суюқ металлнинг кристалланиш пайтида система бир компонент ва икки фазадан иборат бўлади, бунда системанинг эркинлик даражалари сони нолга тенгдир:

$$C = K - \Phi + 1 = 1 - 2 + 1 = 0.$$

Демак, $C=0$ бўлганда маълум бир температурадагина (суюқланиш температурасидагина) икки фаза мувозанатда туради ва бу мувозанатни фазалардан бири йўқолгунча ўзгартириб бўлмайди.

Мувозанатда турган барча металл қотишмаларини (системаларини) ўрганишда $C=K-\Phi+1$ тенгламадан фойдаланамиз, чунки процесслар ўзгармас босимда боради.

Эркинлик даражалари сони нолга тенг системалар *вариантсиз (нонвариантли* ёки *инвариантли)*, эркинлик даражалари сони бирга тенг системалар *бир вариантли (моновариантли)*, эркинлик даражалари сони иккига тенг системалар *икки вариантли (бивариантли)*, эркинлик даражалари сони учга тенг системалар *уч вариантли (тривариантли)* системалар деб аталади.

Агар система вариантсиз бўлса, системанинг ташқи ва ички факторлари (температура, босим, концентрация) ўзгартирилганда, система фазалари сони ҳам ўзгаради. Агар система бир вариантли бўлса, системанинг ташқи ва ички факторларидан бири маълум чегарада ўзгартирилганда система фазаларининг сони ўзгармаслиги мумкин.

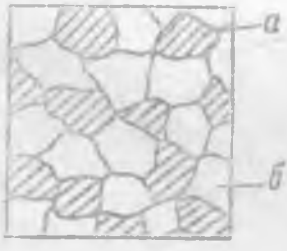
Бинобарин, фазалар қоидаси система мувозанат шартининг математик ифодасидир.

4- §. ҚОТИШМАЛАРНИНГ БИРЛАМЧИ КРИСТАЛЛАНИШИ

Қотишманинг тузилиши, маълумки, тоза металлнинг тузилишига қараганда анча мураккаб бўлади. Қотишманинг тузилиши шу қотишма таркибига кирган компонентларнинг ўзаро қандай таъсир этишига боғлиқдир. Бирламчи кристалланишда қотишма таркибига кирувчи моддалар бир-бирида эрий олмаслиги ҳам, ўзаро химиявий таъсир эта олмаслиги ҳам мумкин; бундай ҳолларда *механик аралашмалар* ҳосил бўлади. Қотишма таркибига кирувчи моддалар (оддий моддалар) бир-бирида эриб, *қаттиқ эритмалар* ҳосил қилиши ва бир-бири билан химиявий таъсир этиб, *химиявий бирикмалар* ҳосил қилиши ҳам мумкин. Қаттиқ эритма ва химиявий бирикмалардан ташқари, шундай фазалар ҳам борки, уларни қаттиқ эритмаларга ҳам, химиявий бирикмаларга ҳам тўла киритиб бўлмайди — улар гўё оралиқ фазалардир (шу бобнинг 7- параграфига қаранг). Буларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

5- §. МЕХАНИК АРАЛАШМАЛАР

Компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримайдиган ва химиявий бирикма ҳам ҳосил қилмайдиган системалар (қотишмалар) *механик аралашмалар* дейилади. Масалан, *А* ва *В* компонентлардан тузилган система бор деб фараз қилайлик. Бу система суюқ ҳолатда бир жинсли бўлсин, аммо қотиш (кристалланиш) жараёнида *А* компонентнинг атомлари билан *В* компонентнинг атомлари умумий бир кристалл панжаранинг таркибига кирмай, яъни бир-бирида эримай, алоҳида-алоҳида кристалл панжаралар ҳосил қилсин. Ана шу система батамом кристалланган кейин механик аралашма бўлади. Демак, механик аралашма *А* компонент кристаллари билан *В* компонент кристалларидан иборат қотишмадир (69- расм).



69- расм. Механик аралашманинг микроскопик тузилиши (схема):
а — А компонент кристаллари;
б — В компонент кристаллари.

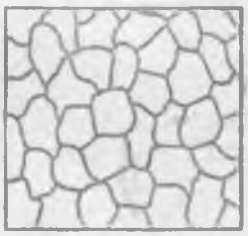
Механик аралашмада ҳар қайси компонентнинг ўз кристалл панжараси борлигини рентгенография усулида аниқлаш мумкин.

Механик аралашмадаги *А* компонент кристалининг хоссалари тоза *А* компонент хоссалари билан, *В* компонент кристалининг хоссалари эса тоза *В* компонент хоссалари билан бир хил бўлади. Бинобарин, механик аралашма ҳосил қилган компонентларнинг хоссалари ўзгармайди.

Қотишма компонентларидан бири атомининг диаметри иккинчи компонент атомининг диаметридан анча (15—17% дан ортиқ) фарқ қилса, компонентлар Д. И. Менделеев даврий жадвалида бир-биридан узоқда турган бўлса ва уларнинг суюқланиш температураларида ҳам анчагина фарқ бўлса, шундагина механик аралашма ҳосил бўлиши аниқланган. Аммо шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, металл қотишмалари компонентларининг бир-бирида батамом эримаслиги амалда кузатилмайди. Бир компонентнинг ҳеч бўлмаганда жуда оз миқдори иккинчи компонентда эрийди, яъни уларда бир-бирида чекланган миқдорда эрувчанлик хусусияти бўлади.

6-§. ҚАТТИҚ ЭРИТМАЛАР

Кўпчилик қотишмалар (металл қотишмалари) суюқ ҳолатда бир жинсли, яъни компонентлари бир-бирида эриган ҳолатда бўлади. Кристалланиш жараёнида бир жинслилик сақланиб қолади—система компонентларининг атомлари умумий кристалл панжаранинг таркибига киради, яъни компонентлар бир-бирида эрийди. Демак, эрувчи компонентнинг эрувчанлиги ва эритувчи компонентнинг эритувчанлиги қаттиқ ҳолатда ҳам сақланиб қолади. Бундай қотишманинг кристалланишида ҳосил бўладиган қаттиқ фаза *қаттиқ эритма* дейилади. Бинобарин, қаттиқ эритма бир фазали, бир турдаги кристаллардан иборат ва бир кристалл панжарага эга қотишмадир. Қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши 70-расмда тасвирланган.



70-расм. Қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши (схема).

Атомларининг диаметрлари бир-биридан 15% дан кам фарқ қиладиган, Д. И. Менделеев даврий жадвалида бир-бирига яқин турган элементлар, кўпинча, қаттиқ эритмалар ҳосил қилади.

Қаттиқ эритма ҳосил бўлишида эритувчи вазифасини: а) металл ўташи, б) металл билан металлнинг ёки металл билан металлоиднинг барқарор химиявий бирикмаси ўташи мумкин.

Эритувчи вазифасини металл ўтайдиган қаттиқ эритмалар. Бундай қаттиқ эритмалар *бирламчи қаттиқ эритмалар* дейилади. Бирламчи қаттиқ эритмалар ҳам, ўз навбатида, икки хил бўлади, булардан бири ўрин олиш қаттиқ эритмалари бўлса, иккинчиси сингиш қаттиқ эритмаларидир. Қотишмада эрувчи компонентнинг атомлари эритувчи компонент кристалл панжарасидаги атомлар ўрнини қисман олишидан ҳосил бўлган қаттиқ эритма *ўрин олиш қаттиқ эритмаси* деб аталади. Агар қаттиқ эритма эрувчи компонент атомларининг эритувчи компонент кристалл панжарасидаги атомлар оралиғига кириши (сингиши) натижасида ҳосил бўлса, бундай қаттиқ эритма *сингиш қаттиқ эритмаси* дейилади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари. Қаттиқ эритманинг кристалл панжарасида эрувчи компонент атомларининг эритувчи атомлари ўрнини олиш ҳодисаси қандай содир бўлади, деган савол туғилади. Бу саволга жавоб бериш учун реал мавжуд кристалл модданинг тузилишини ҳозирги замон физикаси нуқтаи назаридан тасаввур қилиш керак. Маълумки, атомлар барча тугунларида бир текис ва мунтазам жойлашган панжаралар ҳақиқатда мавжуд бўлмаган, яъни идеал панжаралардир. Ҳақиқатда эса қаттиқ моддаларнинг кристалл панжаралари-

да бир қатор нуқсонлар бўлиб, бу нуқсонлар кристалл панжаранинг мунтазам тузилишини бузади.

Бундай нуқсонлардан бири, юқорида (22-бетда) айтиб ўтилганидек, кристалл панжара тугунларида вакансиялар, яъни атом (ион) билан банд бўлмаган жойлар борлиги бўлса, яна бири дислокацияланган, яъни кристалл панжаранинг тугунларида эмас, балки улар орасида жойлашган атомлар борлигидир. Бинобарин, кристалл панжарада атомларнинг иссиқликдан бўладиган ҳаракати уларнинг тебраниш ҳаракатидангина иборат бўлиб қолмай, балки илгарилама силжишидан ҳам иборатдир. Атомларнинг ана шу илгарилама силжиши кристалл панжаранинг нормал тузилишини гоҳ тиклаб, гоҳ бузиб, яъни нуқсонли жойлар ҳосил қилиб туради. Оддий моддаларнинг кристалл панжараларидаги атомларнинг илгарилама силжиши *ўздиффузия* деб, кристалл панжарага бегона атомларнинг кириб қолиши эса *диффузия* деб аталади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлишининг, яъни эрувчи компонент атомлари эритувчи компонент атомлари ўрнини олиш ҳодисасининг сабаби ўздиффузия ва диффузия процессларини келтириб чиқарадиган ана шу нуқсонлардир.

Ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида кристалл панжара параметрлари ё ортади ёки камаяди. Панжара параметрларининг ортиши ёки камайиши эрувчи компонент атомларининг ўлчамларига ва уларнинг эритувчи компонент атомлари билан ўзаро таъсир кучига боғлиқ бўлади. Агар эрувчи компонент атоми эритувчи атомидан катта бўлса, панжаранинг элементар катакчаси катталашади ва, аксинча, эрувчи компонент атоми эритувчи атомидан кичик бўлса, панжаранинг элементар катакчаси кичраяди.

Ўрин олиш қаттиқ эритмалари компонентлари чексиз эрийдиган ва компонентлари маълум чегарагача эрийдиган эритмаларга бўлинади. Компонентлари чексиз эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмаси (қотишма) эрувчи компонентнинг барча концентрацияларида бир жинсли бўлади. Компонентлари чексиз эрийдиган қаттиқ эритмалар тартибсиз ва тартибли бўлиши мумкин (86-бетга қаранг).

Кўпчилик металлар компонентлари маълум чегарагача эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади. Алюминий билан мис, мис билан рух, мис билан қалай қотишмалари ана шундай қаттиқ эритмаларга мисол бўла олади. Компонентлари маълум чегарагача эрийдиган қаттиқ эритмалар компонентларининг муайян концентрацияларидагина бир жинсли бўлади.

Компонентлари маълум чегарагача эрийдиган ўрин олиш қаттиқ эритмалари уч турга: температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги камаядиган, температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги ўзгармайдиган ва температуранинг пасайиши билан эрувчанлиги ортадиган қаттиқ эритмаларга бўлинади. Металларнинг энг кўпи биринчи тур ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади.

Сингиш қаттиқ эритмалари. Ўрин олиш қаттиқ эритмалари билан сингиш қаттиқ эритмаларининг мавжудлиги рентгеноструктура анализи ёрдамида аниқланган; микроструктура анализи қаттиқ эритмалар тузилишидаги ўзига хос хусусиятларни очиб бера олмайди. Ҳамма ҳолларда ҳам микроскоп остида тоза қаттиқ эритманинг металл доналарига ўхшаш доналари кўринади. Бунга углероднинг γ-темирдаги сингиш қаттиқ эритмаси мисол бўла олади. Бу қаттиқ эритманинг микроскопик тузилиши (доналарнинг шакли ҳисобга олинмаганда) техник темирнинг микроскопик тузилишидан фарқ қилмайди (71-расм).

Сингиш қаттиқ эритмалари металлар билан металлоидлар, масалан, темир билан углерод, темир билан азот, темир билан кислород, темир билан бор, темир билан водород қотиштирилганда ҳосил бўлади. Сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил бўлишида кристалл панжара параметрлари ҳамма вақт ортади.

Ўрин олиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида ҳам, сингиш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлишида ҳам эрувчи атомлари эритувчи кристалл панжарасида тартибсиз жойлашади.

Эритувчи вазифасини химиявий бирикма ўтайдиган қаттиқ эритмалар. Юқорида кўриб ўтилган бирламчи қаттиқ эритмалардан ташқари, эритувчи вазифасини химиявий бирикма ўтайдиган иккиламчи қаттиқ эритмалар ҳам бор. Иккиламчи қаттиқ эритмаларда атомларнинг бир қисми тартибли, бир қисми эса тартибсиз жойлашган бўлади. Масалан, эритувчи вазифасини A_nB_m таркибли химиявий бирикма ўтайди ва бу бирикма асосида иккиламчи қаттиқ эритма ҳосил бўлади, деб фараз қилайлик. Бундай иккиламчи эритма ҳосил бўлишида A_nB_m бирикманинг кристалл панжараси сақланиб қолади, аммо ортиқча атомлар, масалан, *B* элементнинг атомлари панжарада *A* элементнинг атомлари ўрнини олади.



71- расм. Техник темирнинг микроскопик тузилиши. ×400

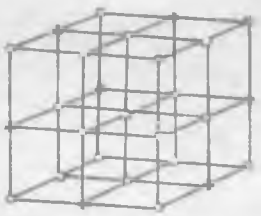
Химиявий бирикмада учинчи элемент ҳам эриши мумкин, бунда учинчи элемент *C* нинг атомлари кристалл панжара тугунларида *A* элементнинг ёки *B* элементнинг атомлари ўрнини олади.

Иккиламчи қаттиқ эритмалар ҳосил бўлишида химиявий бирикманинг формуласи ўзгаради, яъни ундаги атомларнинг нисбати стехиометрик (ҳақиқий) нисбатига тўғри келмай қолади.

Иккиламчи қаттиқ эритма ҳосил бўлишида кристалл панжара тугунларидаги баъзи атомларнинг ўрни бўшаб қолиши, яъни панжаранинг айрим тугунлари атомлар билан банд бўлмаслиги ҳам мумкин.

Кристалл панжараси тугунларида бўш жойлар қоладиган қаттиқ эритмалар *айириш қаттиқ эритмалари* деб аталади.

Айириш қаттиқ эритмасининг кристалл панжараси 72- расмда тасвирланган.



Δ - панжаранинг бўш қолган тугунлари

○ – A компонент атомлари

● – B компонент атомлари

72- расм. Айириш қаттиқ эритмасининг кристалл панжараси.

Титан билан титан карбид, ванадий билан ванадий карбид, ниобий билан ниобий карбид қотишмалари айириш қаттиқ эритмаларига мисол бўла олади, чунки кристалланиш жараёнида бу карбидлар кристалл панжараларининг баъзи тугунлари углерод атомларидан бўшаб қолади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, ўз таркибий қисмларидан қаттиқ эритмалар ҳосил қилмайдиган химиявий бирикмалар ҳам бўлади, аммо шундай бирикмалар ҳам боркн (масалан $CuAl_2$), улар ўз таркибига

кирувчи элементлар атомларининг стехиометрик нисбатида фақат қаттиқ эритмалар тарзидагина мавжуд бўлиб, соф химиявий бирикма ҳолида мавжуд бўла олмайди. Н. С. Курнаков таркибидаги атомларининг стехиометрик нисбатида мавжуд бўла олмай, фақат қаттик эритмалар ҳолидагина мавжуд бўладиган бирикмаларни К. Бертолле шарафига *бертоллидлар* деб, таркибидаги атомлар стехиометрик нисбатда бўладиган, яъни атомларининг нисбати ўзгармайдиган химиявий бирикмалар асосида вужудга келадиган қаттиқ эритмаларни эса Д. Дальтон шарафига *дальтонидлар* деб атади.

7-§. ХИМИЯВИЙ БИРИКМАЛАР ВА ОРАЛИҚ ФАЗАЛАР

Бирламчи кристалланиш жараёнида қотишма компонентлари бир-бири билан реакцияга киришиб, химиявий бирикмалар ва оралиқ фазалар ҳосил қилиши ҳам мумкинлиги юқорида (4-параграф) айтиб ўтилган эди. Бу параграфда ана шу химиявий бирикмалар билан оралиқ фазаларни кўриб чиқамиз.

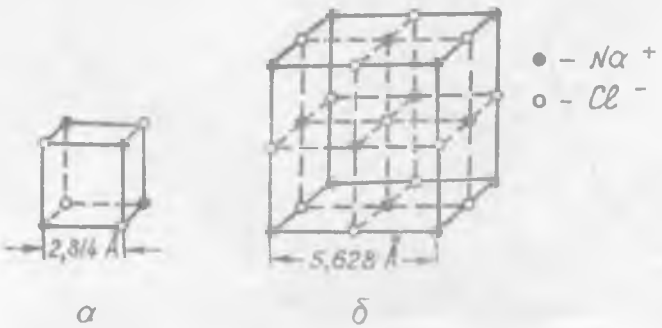
Бирламчи кристалланиш процессида ҳосил бўладиган химиявий бирикмалар ва оралиқ фазаларни уч группага: нормал валентли химиявий бирикмалар, электрон бирикмалар, сингиш фазалари группаларига бўлиш мумкин.

Нормал валентли химиявий бирикмалар. Бундай бирикмалар металлар билан металлар орасида ҳам, металлар билан металлоидлар орасида ҳам ҳосил бўлиши мумкин. Металлар билан металлар орасида ҳосил бўладиган химиявий бирикмаларга (интерметалл бирикмаларга) Mg_2Sn, Mg_2Pb, Mg_3Bi_2 ва бошқалар, металлар билан металлоидлар орасида ҳосил бўладиган химиявий бирикмаларга эса Mg_2Si, MgS, $NaCl$, $CaCl_2$ ва бошқалар мисол бўла олади.

Нормал валентли химиявий бирикмаларнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, биринчидан, уларда бир таркибий қисм атомлари билан иккинчи таркибий қисм атомлари оддий формула орқали ифодаланадиган стехиометрик нисбатда бўлади, иккинчидан, уларнинг кристалл панжараси таркибий қисмларининг кристалл панжарасига ўхшамайди, буни рентгенография усули билан аниқлаш мумкин. Нормал валентли химиявий бирикмалар кристалл панжарасида таркибий қисмларнинг атомлари батартиб жойлашади.

Масалан, натрий хлорид (ош тузи) $NaCl$ нинг кристалл панжарасини олайлик (73-расм).

Расмдан кўриниб турибдики, натрий хлорид кристалл панжарасида хлор ионлари ёқлари марказлашган куб, натрий ионлари ҳам ёқлари



73-расм. Натрий хлоридининг кристалл панжараси:

а — панжаранинг элементар катакчаси; *б* — панжаранинг ўзи.

марказлашган куб панжара ҳосил қилади, аммо бу панжаралар бир-бирига нисбатан ярим давр (параметр) силжиган бўлади. Табиийки, бунда стехиометрик нисбат сақланиб қолади. Бу нисбат атомларнинг батартиб жойлашувидан келиб чиқади.

Натрий хлориддаги боғланиш ион боғланишдир, чунки панжара тугунларида мусбат зарядли натрий ионлари (Na^+) билан манфий зарядли хлор ионлари (Cl^-) бор, бу ионлар электростатик куч таъсирида бир-бирига тортилиб туради.

Агар нормал валентли химиявий бирикма интерметалл бирикма бўлса, унинг панжараси тугунларида мусбат ионлар жойлашади ва бу ионлар бир-бирига электронлар булути воситасида боғланади, бинобарин, интерметалл бирикмалардаги боғланиш металл боғланишдир. Бу боғланиш пухта бўлмай, муайян шароитда бирикмани ҳосил қилган элементлардан бири атомларининг сони стехиометрик нисбатга тўғри келадиган сонидан ортиб ёки камайиб қолади, натижада қаттиқ эритма ҳосил бўлади (83-бетга қаранг).

Нормал валентли химиявий бирикмаларнинг ўзига хос химиявий ва физикавий хоссалари бўлади. Улар муайян температурада суюқланади, бу бирикмаларнинг таркиби ўзгариши билан уларнинг хоссалари тўсатдан (кескин) ўзгаради. Интерметалл бирикмаларнинг қаттиқлиги таркибий қисмларидан ҳар бирининг қаттиқлигига қараганда юқори бўлади.

Нормал валентли химиявий бирикмаларда шу бирикмаларни ҳосил қилган компонентлар қаттиқ ҳолатда деярли эримайди.

Электрон бирикмалар (Юм-Розери фазалари). Инглиз металлофизиги В. Юм-Розери кўрсатиб ўтганидек, электрон бирикмаларда валент электронлар сонининг бирикма таркибидаги атомлар сонига нисбати, яъни электронлар концентрацияси ўзгармас бўлади. Бундай бирикмалар жумласига интерметалл бирикмаларнинг кўпчилиги киради. Электрон бирикмалар Cu — Zn, Cu — Sn, Cu — Al, Ag — Zn, Au — Zn системалари ва бошқа системаларда ҳосил бўлади.

Электрон бирикмаларда электронларнинг ҳар қайси концентрациясига муайян кристалл панжара тўғри келади.

Валент электронлар сонининг бирикма таркибидаги атомлар сонига нисбатини, яъни электронлар концентрациясини N ҳарфи билан белгиласак, масалан, Cu — Zn системасида $\frac{3}{2}$ нисбатга CuZn бирикма, $\frac{21}{13}$ нисбатга Cu_5Zn_8 бирикма, $\frac{7}{4}$ нисбатга эса $CuZn_3$ бирикма тўғри келади. Дарҳақиқат, CuZn таркибли бирикмада миснинг валент электронлари сони 1 га, рухнинг валент электронлари сони 2 га тенг, бирикмадаги атомлар сони эса 2 га баравардир. Демак, CuZn учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлади:

$$N_{CuZn} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}.$$

Cu_5Zn_8 бирикмада миснинг валент электронлари сони 5 га, рухнинг валент электронлари сони 2·8 га тенг, бирикмадаги атомлар сони эса 13 га баравар. Бинобарин, Cu_5Zn_8 учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлади:

$$N_{Cu_5Zn_8} = \frac{5+16}{13} = \frac{21}{13}.$$

Худди юқоридагидек мулоҳаза юритиб, $CuZn_3$ бирикма учун электронлар концентрацияси қуйидагича бўлишини топамиз:

$$N_{CuZn_3} = \frac{1+6}{4} = \frac{7}{4}.$$

CuZn фаза β-фаза деб, Cu_5Zn_8 фаза γ-фаза деб, $CuZn_3$ фаза эса ε-фаза деб аталади. β- фазанинг кристалл панжараси ҳажмий марказлашган куб, γ- фазанинг панжараси мураккаб куб, ε-фазаники эса гексагонал панжарадир. Одатда, системада учала фазанинг ҳаммаси ҳам учрайди.

Электрон бирикмаларни химиявий бирикмалар жумласига киритиш мумкин, чунки улар атомларининг муайян нисбатига ва таркибидаги металларнинг кристалл панжараларидан ўзгача, яъни янги кристалл панжарага эгадир. Аммо уларда атомлар тартибли жойлашган эмас. Юқори температурада электрон бирикмалар таркибидаги металларнинг атомлари кристалл панжаранинг муайян тугунларида турмайди, температура бирор қийматга тушганда эса атомлар маълум даражада тартибга тушади, демак, бундай температурада электрон бирикмани қаттиқ эритмалар жумласига киритиш ҳам мумкин. Бинобарин, электрон бирикмаларни химиявий бирикмалар билан қаттиқ эритмалар орасидаги *оралиқ фазалар* деб ҳисобламоқ керак.

Одатдаги қаттиқ эритмаларда эриган компонент атомларининг эритувчи компонент кристалл панжарасида тартибсиз жойлашуви юқорида (6- параграфда) айтиб ўтилган эди. Аммо маълум шароитда атомлар кристалл панжара тугунларида муайян ўринларни ишғол этиб қолади, яъни тартибсиз вазиятдан тартибли вазиятга ўтади. Бу процесс *тартибга тушиш* деб, эриган элементнинг атомлари тартибли жойлашган қаттиқ эритмалар эса *тартибли қаттиқ эритмалар* деб аталади.

Эриган элемент атомларининг тартибга тушиш процесси тўла бўлиши, яъни атомлар тартибли қаттиқ эритма кристалл панжарасида тегишли ўринларни ишғол қилиши ва чала бўлиши, яъни атомларнинг бир қисми кристалл панжарада муносиб ўринларни ишғол қилиб, бир қисми эса тартибсиз жойлашуви мумкин.

Эриган элемент атомларининг тартибга тушиш процесси диффузион, яъни атомларнинг кўчиши билан боғлиқ бўлган процесссдир, шунинг учун қотишманинг секин совитилиши атомларнинг тартибга тушувига ёрдам беради. Атомларнинг тартибга тушувида кристалл панжаранинг параметрлари (даврлари) ўзгариб, тузилиши ўзгармайди, яъни панжаранинг тури аввалгисидек бўлиб қолаверади. Баъзи ҳоллардагина кристалл панжара бир оз ўзгаради.

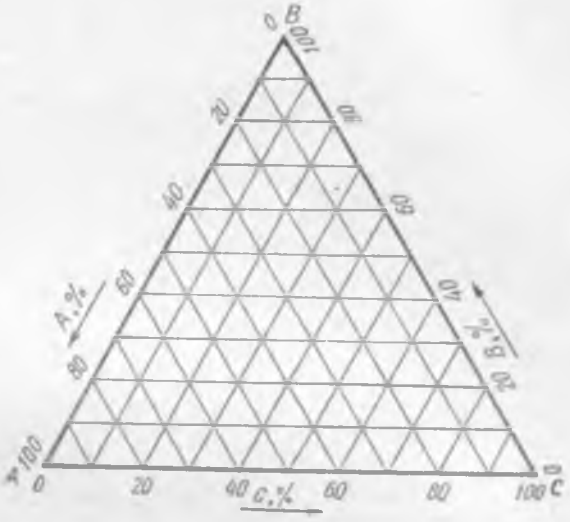
Қаттиқ эритмаларда эрувчи атомларининг эритувчи кристалл панжарасида тартибсиз вазиятдан тартибли вазиятга ўтиш ҳодисасини 1914 йилда Н. С. Курнаков, С. Ф. Жемчужний ва М. Заседателев биринчи бўлиб топдилар. Мис билан олтин қотишмаларининг электр қаршилигини текшириш вақтида уларнинг микроскопик тузилиши сезиларли даражада ўзгармаса-да, хоссаларининг ўзгариши аниқланди. Кейинчалик бориб, қотишма хоссаларининг ўзгариши кристалл панжара ичида атомларнинг қайта тақсимланишидан келиб чиқиши рентген анализидан фойдаланиш йўли билан топилди.

Тартибли қаттиқ эритмалар ҳам химиявий бирикмалар билан қаттиқ эритмалар оралиғидаги фазалардир. Эрувчи элемент атомлари батамом тартибга тушганда бундай фаза химиявий бирикмага ўхшайди, чунки, биринчидан, уларда маълум сондаги атомлар бўладики, уларни химиявий формула билан ифодалаш мумкин, иккинчидан, уларнинг кристалл панжарасида атомлар тартибли жойлашган бўлади. Тартиб-

Демак, учбурчакнинг ҳар қайси томони 100% деб қабул қилинади.

Тенг томонли учбурчак ёрдамида уч компонентли системанинг таркибини (компонентларининг концентрацияларини) ифодалаш учун икки усулдан фойдаланилади. Бу усуллардан бири Гиббс усули, иккинчиси эса Розебом усулидир.

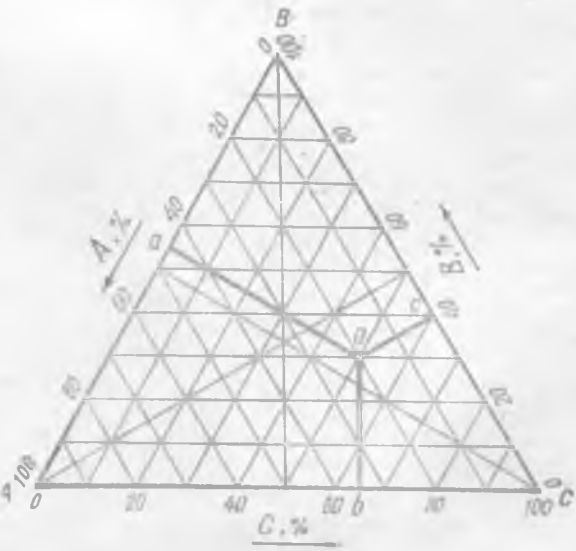
Гиббс усулидан фойдаланилганда, уч компонентли системанинг концентрациялар учбурчаги ичидаги бирор нуқта билан ифодаланган таркибини аниқлаш учун шу нуқтадан учбурчакнинг томонларига перпендикуляр туширилади. Бунда геометриянинг қуйидаги қонунига асосланилган бўлади: *тенг томонли учбурчак ичидаги исталган нуқтадан шу учбурчак томонларига туширилган перпендикуляр кесмалар узунликларининг йиғиндиси ўзгармас катталик бўлиб, учбурчакнинг баландлигига тенгдир* (95-расм).



94-расм. Уч компонентли системанинг концентрацияларини ифодалайдиган тенг томонли учбурчак (концентрациялар учбурчаги).

Агар концентрациялар учбурчагининг баландликларидан ҳар бирини 100 бўлакка бўлиб, ҳосил бўлган нуқталардан учбурчак томонларига параллел чизиқлар ўтказсак, учбурчакнинг юзаси ўлчов катакларига бўлиниб қолади, яъни тўр ҳосил бўлади. Бу катаклар сони перпендикулярларнинг узунликларини билдиради. Масалан, учбурчак ичида *О* нуқта олсак, бу нуқта учбурчакнинг *В* учидан узоқда бўлгани учун *О* нуқта билан ифодаланган қотишмада В компонентнинг миқдори кам бўлади, яъни унинг миқдори шу *В* нинг рўпарасидаги томондан бошлаб ҳисобланади. С ва А компонентларнинг миқдори ҳам ана шундай топилади. Демак, *О* нуқтадаги қотишма 30% В, 20% А ва 50% С дан иборатдир.

Розебом усули геометриянинг: *тенг томонли учбурчак ичидаги исталган нуқтадан шу учбурчак томонларига параллел қилиб ўтказилган тўғри чизиқ кесмалари узунликларининг йиғиндиси учбурчак томонининг узунлигига тенг* деган қондасига асосланади (96-расм).

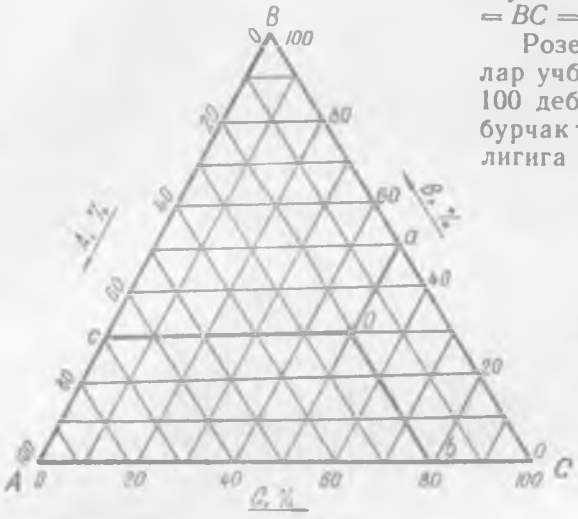


95-расм. Уч компонентли система таркибини Гиббс усулида ифодалаш.

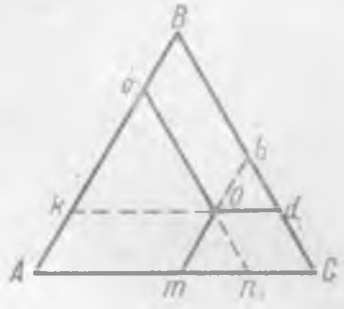
Буни 97-расмдан исботлаш қийин эмас.

$aB = od$, чунки obd учбурчак тенг томонли бўлганлигидан $ob = od$; шунинг учун $aB = ob = od$ бўлади; Omn учбурчак тенг томонли бўлганлигидан $Om = On$; шунинг учун $dC = On = Om$ бўлади; Oak учбурчак ҳам тенг томонли, демак, $Oa = Ok$; шунинг учун $mA = Ok = Oa$ бўлади. Шундай қилиб, $Od + Om + Oa = AB = BC = CA$ эканлиги исботланди.

Розебом усулида концентрациялар учбурчаги томонининг узунлиги 100 деб олинади. Тенг томонли учбурчак томонининг узунлиги баландлигига пропорционал бўлганлиги-



96- расм. Уч компонентли система таркибини Розебом усулида ифодалаш.



97- расм.

дан, O нуқтадаги қотишма Розебом усулида ҳам 30% B, 20% A ва 50% C дан иборатдир

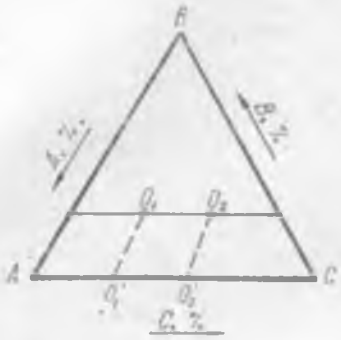
Концентрациялар учбурчагининг томони ҳамма қотишманинг миқдорини кўрсатганлигидан $Od + Om + Oa$ ҳам ҳамма қотишманинг миқдорини, бу йигиндидаги ҳар қайси ҳад эса тегишли компонентнинг миқдорини (концентрациясини) билдиради.

Концентрациялар учбурчаги ичидаги бирор нуқта, масалан, O нуқта учбурчак учларидан бирига, масалан, A учига яқинлашган сари Od кесма узайиб, Oa ва Om кесмалар қисқариб боради. O нуқта AB чизиғи устида бўлса, Oa кесма нолга тенглашади-да, қотишма икки компонентли (A+B) бўлиб қолади. Агар d нуқта учбурчак учларидан бирида, масалан, A учида бўлса, Oa кесма билан Om кесма нолга, Od кесма эса AC га тенглашиб, фақат тоза A компонентнинг ўзи қолади. Демак, Od кесма уч компонентли системадаги A компонентнинг миқдорини (концентрациясини), Om кесма B компонентнинг миқдорини, Oa кесма эса C компонентнинг миқдорини кўрсатади.

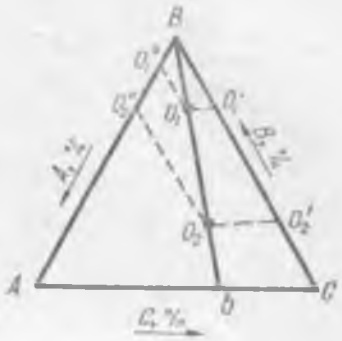
Энди, концентрациялар учбурчагининг хоссалари билан танишиб чиқайлик.

1. Учбурчакнинг ҳар қайси томонига параллел қилиб чизилган тўғри чизиқ кесмасининг ҳар қайси нуқтасига тўғри келадиган қотишма таркибида учбурчакнинг шу кесма рўпарасидаги учига қўйилган компонентнинг миқдори ҳамма вақт бир хил бўлади. Масалан, 98-расмда AC га параллел чизиққа тўғри келадиган барча қотишмалар (чунончи, O_1 ва O_2 қотишмалар) таркибида B компонентнинг миқдори бир хил бўлади, чунки B компонентнинг концентрациясини кўрсатувчи O_1O_1' ва O_2O_2' кесмалар ўзаро тенг.

2. Концентрациялар учбурчагининг бирор учидан унинг рўпарасидаги томонига туширилган тўғри чизиқ кесмасидаги нуқталарга тўғри келадиган қотишмаларнинг таркибида учбурчакнинг қолган икки учига қўйилган компонентлар миқдорлари орасидаги нисбат ўзгармас бўлади. Масалан, 99-расмда O_1 нуқтага тўғри келадиган қотишма таркибидаги А компонент



98- расм.



99- расм.

билан С компонентнинг нисбати $\frac{O_1^{\circ}O_1}{O_1'O_1}$ га. O_2 нуқтага тўғри келадиган қотишма таркибидаги А компонент билан С компонентнинг нисбати $\frac{C_2^{\circ}O_2}{O_2'O_2}$ га тенг. $O_2^{\circ}O_2B$ учбурчак $O_2'O_2B$ учбурчакка, $O_1^{\circ}O_1B$ учбурчак $O_2'O_2B$ учбурчакка ўхшаш бўлганлигидан

$$\frac{O_1^{\circ}O_1}{O_1'O_1} = \frac{O_2^{\circ}O_2}{O_2'O_2}$$

бўлади ва хоказо. Демак, Bb чизиғидаги барча қотишмаларда $\frac{A}{C}$ нисбат ўзгармас экан.

Бинар қотишмаларнинг кристалланиш процессига қандай асосий қоидалар татбиқ этилса, уч компонентли қотишмаларнинг кристалланиш процессига ҳам шундай қоидалар — фазалар қоидаси ва кесмалар қоидаси татбиқ этиладн.

Уч компонентли система ҳолат диаграммасининг шакли система компонентларининг ўзаро таъсир этиши натижасида қандай фазалар ҳосил бўлишига боғлиқдир. Система компонентлари эса:

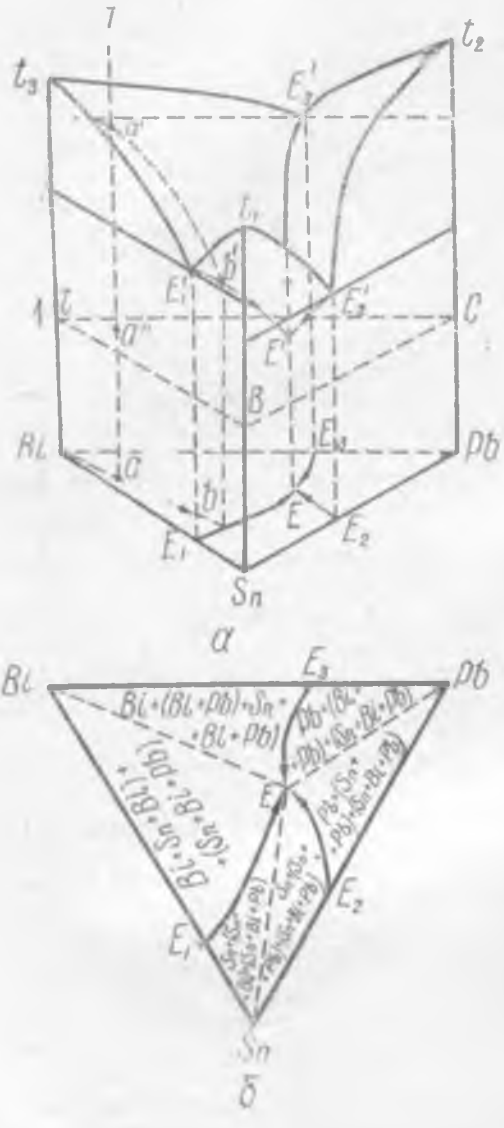
1) қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримаслиги ҳам, ўзаро химиявий бирикма ҳосил қилмаслиги ҳам, яъни механик аралашма (учлама эвтектика) ҳосил қилиши;

2) қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча ёки маълум чегарагача эриши, яъни чекланмаган ёки чекланган қаттиқ эритмалар ҳосил қилиши;

3) ўзаро таъсир этиб, қўш ёки учлама, барқарор ёки беқарор химиявий бирикмалар ҳосил қилиши мумкин.

Биз механик аралашма ҳосил қиладиган уч компонентли система билан қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаларини кўриб чиқамиз.

Компонентлари учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг ҳолат диаграммаси. Компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида эримай, учлама эвтектика ҳосил қиладиган системанинг фазовий ҳолат диаграммасини Bi — Sn — Pb системаси мисолида кўриб чиқайлик. Бундай системанинг фазовий ҳолат диаграммаси 100- расмда тасвирланган.



100- расм. Bi — Sn — Pb системасининг фазовий ҳолат диаграммаси (*а*) ва бинар эвтектика чизиқларининг концентрациялар учбурчагига гуширилган проекцияси (*б*).

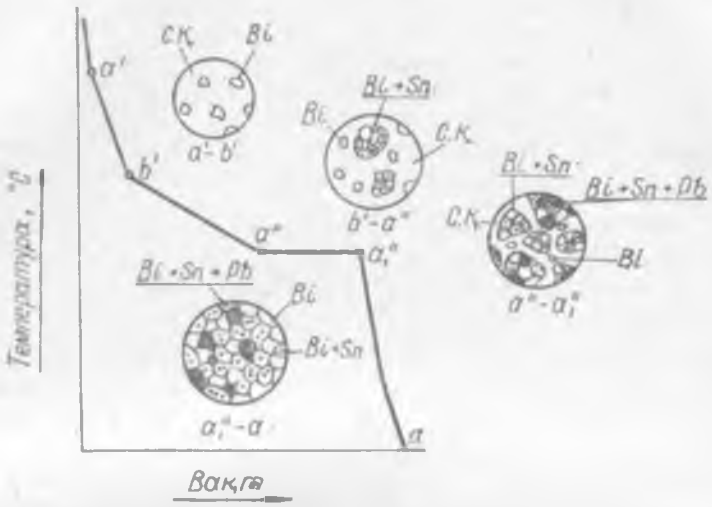
Фазовий диаграмманинг чап ёни E_1 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган икки компонентли Bi — Sn системасининг, ўнг ёни E_2 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган Sn — Pb системасининг, орқа ёни эса E_3 таркибли эвтектика ҳосил қиладиган Bi — Pb системасининг ҳолат диаграммасидир. Bi — Sn — Pb системасида E таркибли учлама эвтектика ҳосил бўлади. E таркибли қотишма Bi — Sn — Pb системасидаги қолган барча қотишмаларнинг суюқланиш температурасидан паст температурада (96 °С да) суюқланади ва 52,5% Bi, 15,5% Sn ҳамда 32% Pb дан иборат бўлади.

Фазовий диаграмманинг $t_1E_1E'E_2$, t_1, $t_2E_2'E'E_3t_2$ ва $t_3E_3E'E_1t_3$ сиртлари *ликвидус сиртлари* дейилади. Суюқ қотишма ана шу сиртларгача совитилганда, кристаллана бошлайди. $t_1E_1E'E_2$ t_1 сирт қалайнинг кристаллана бошлаш соҳаси, $t_2E_2E'E_3t_2$ сирт қўргошиннинг кристаллана бошлаш соҳаси, $t_3E_3E'E_1t_3$ сирт эса висмутнинг кристаллана бошлаш соҳасидир. Ликвидус сиртларининг кесишув чизиқлари уч компонентли системадаги *бинар эвтектика чизиқлари* деб аталади. Масалан, $t_1E_1E'E_2t_1$ сирт билан $t_2E_2E'E_3t_2$ сиртнинг кесишув чизиғи E_2E' бинар эвтектика чизиғидир. Ана шу чизиқда қалай билан қўргошин бир вақтда кристаллана бошлайди. Бинар эвтектика чизиқларининг кесишув пуқтаси учлама эвтектика пуқтаси (E') дир.

Бинар эвтектика чизиқларининг проекцияси концентрациялар учбурчагига туширилса, E_1E, E_2E ва E_3E ясси эгри чизиқлар ҳосил бўлади (100- расм, *б*),

Энди, *l* қотишманинг кристалланиш процессини кўриб чиқайлик. Ликвидус сиртидан юқорида қотишма суюқ ҳолатда бўлади. Суюқ қотишма совитилса, 271°С да ундан висмут кристаллана бошлайди. Бунда

суюқ қотишмада қалай ва қўрғошиннинг концентрацияси орта боради, аммо қалай билан қўрғошин миқдорлари орасидаги нисбат ўзгармайди. Суюқ қотишма таркиби ликвидус сиртидаги $a'b'$ эгри чизиғи бўйлаб ўзгаради. Бу эгри чизиқнинг фазовий диаграмма асосига туширилган проекцияси учбурчакнинг Bi учидан ўтган ab тўғри чизиқ бўлади.



101- расм. *l* қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари.

Демак, $a'b'$ чизиқ Bit_3 ордината билан a' нуқтадан ўтувчи текисликда ётган ясси эгри чизиқдир.

Суюқ қотишмадан висмут кристаллана бориб, суюқ қотишманинг таркиби b нуқтадаги каби бўлиб қолади. Бу вақтда суюқ қотишма висмут билан қалайга тўйинади. Температура пасайган сари Bi ва Sn нинг суюқ фазада эрувчанлиги камаяди, шунинг учун суюқликдан бир вақтнинг ўзида ҳам Bi, ҳам Sn кристаллари ажралиб чиқа бошлайди, яъни бинар эвтектика ҳосил бўлади. Суюқ қотишманинг таркиби $E'(E)$ нуқтадаги каби бўлиб қолганда, суюқ қотишмадан бир вақтнинг ўзида Pb ҳам ажралиб чиқа бошлайди, яъни учлама эвтектика ҳосил бўла боради. Учлама эвтектика, бинар эвтектиканинг аксича, ўзгармас t температурада ажралиб чиқади.

l қотишманинг совиш эгри чизиғи ва тузилиш схемалари 101- расмда тасвирланган.

Ҳолат диаграммасининг қайси соҳасида қандай структуралар борлиги 100- расм, *б* да кўрсатилган.

Энди, Bi — Sn — Pb системасига фазалар қоидасини татбиқ этамиз. Процесс ўзгармас босимда боради, деб фараз қиламиз.

Суюқ қотишмадан висмут кристаллана бошлаганда система икки фазадан — суюқ қотишма билан висмут кристалларидан иборат бўлади ва фазалар қоидаси қуйидагича ёзилади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 2 + 1 = 2.$$

Демак, бундай шароитда, икки фазали системанинг мувозанатини бузмай туриб, температурани ва икки компонентдан бирининг концентрациясини ўзгартириш мумкин.

Агар суюқ қотишма бинар эвтектика (Bi+Sn) билан мувозанатда турса, система уч фазадан, яъни суюқ қотишма ва висмут билан қалай кристалларидан иборат бўлади. Бундай система учун фазалар қоидаси қуйидагича ифодаланади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 3 + 1 = 1.$$

Демак, суюқ қотишма бинар эвтектика билан мувозанатда турган системада фақат битта факторни (ё температурани ёки концентрациялардан бирини) маълум чегарада ўзгартириш мумкин.

Учлама эвтектика ҳосил бўлишида фазалар сони 4 га тенглашади, чунки системада суюқ қотишмадан ташқари, Bi, Sn ва Pb кристаллари ҳам бўлади. Бундай шароитда система вариантсиз (нонвариантли)дир:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 4 + 1 = 0.$$

Демак, кристалланиш процесси суюқ қотишма батамом йўқолгунча ўзгармас температурада боради. Суюқ қотишма кристалланиб бўлгандан кейин, фазалар сони 3 га тенглашиб, системанинг эркинлик даражалари 1 бўлиб қолади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 3 + 1 = 1.$$

Энди, Bi — Sn — Pb системасига кесмалар қоидасини татбиқ этамиз.

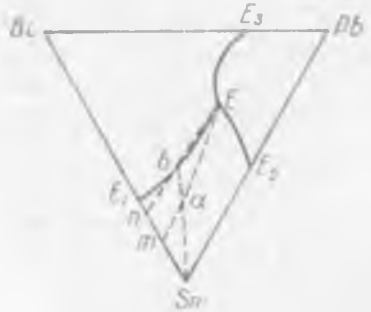
Bi — Sn — Pb системасининг таркиби a нуқтага тўғри келадиган қотишмасида (102- расм) Sn кристаллари (бирламчи кристаллар) миқдори қуйидагича топилади:

$$\text{Sn} = \frac{ab}{\text{Sn}b} \cdot 100\%;$$

суюқ қотишма миқдори эса қуйидагича бўлади:

$$\text{с. қ.} = \frac{\text{Sn}\,a}{\text{Sn}-b} \cdot 100\%;$$

a таркибли қотишмадаги бинар эвтектика миқдори $\frac{bE}{nE}(100 - \text{Sn})\%$ га, учлама эвтектика миқдори эса $\frac{nb}{nE}(100 - \text{Sn})\%$ га тенгдир. Учлама эвтектиканинг миқдорини $\frac{ma}{mE}$ нисбатдан топса ҳам бўлади. Бундай ҳолда $\frac{aE}{mE}$ нисбат Sn нинг бирламчи кристаллари билан бирор эвтектиканинг нисбий миқдорини билдиради.



102- расм. Bi— Sn —Pb системасига кесмалар қоидасининг татбиқ этилиши.

Қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган уч компонентли системанинг ҳолат диаграммаси. Бундай системанинг ҳолат диаграммасини Mn — Cu — Ni қотишмалари мисолида кўриб чиқамиз, чунки Mn — Cu, Cu — Ni ва Ni — Mn бинар қотишмаларнинг компонентлари суюқ ҳолатда ҳам, қаттиқ ҳолатда ҳам бир-бирида исталганча эрийди.

Mn — Cu — Ni системасининг фазовий ҳолат диаграммаси 103- расмда тасвирланган.

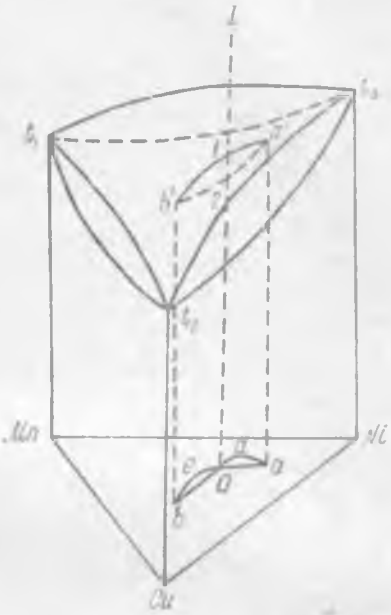
Mn — Cu — Ni системасининг фазовий диаграммасида бинар қотишмаларнинг ликвидус чизиқларидан ўтувчи сирт фазовий диаграмманинг *вик-*

ликвидус сирти, бинар қотишмаларнинг солидус чизиқларидан ўтувчи сирт фазовий диаграмманинг *солидус сирти* бўлади.

Mn — Cu — Ni системасининг кристалланиши Mn — Cu, Cu — Ni ва Ni — Mn бинар системаларининг кристалланиши кабидир.

Энди, *1* қотишманинг кристалланишини кўриб чиқайлик.

Таркиби *O* нуқтага тўғри келадиган суюқ қотишма совитилса, ликвидус сиртидаги *1* нуқтада кристаллана бошлайди, яъни суюқ қотишмадан Mn, Cu ва Ni нинг бир-биридаги қаттиқ эритмаси ажралиб чиқа бошлайди, бу қаттиқ эритманинг таркиби *a'* нуқтадаги каби бўлади. Қаттиқ эритма кристалларининг таркиби солидус сиртидаги *a'2* чизиғи бўйлаб, суюқ қотишманинг таркиби эса ликвидус сиртидаги *1b'* чизиғи бўйлаб ўзгаради. Демак, қотишма кристаллана борган сари қаттиқ эритманинг таркиби *1* қотишманинг таркибига яқинлашади, суюқ қотишманинг таркиби эса *1* қотишманинг таркибидан узоқлашади. Қотишма солидус сиртидаги *2* нуқтагача совитилса, ана шу нуқтада батамом кристалланиб бўлади, яъни бир жинсли учлама қаттиқ эритмага айланади, бу қаттиқ эритманинг таркиби *1* қотишманинг таркиби каби бўлади.



103- расм. Mn— Cu — Ni системасининг фазовий ҳолат диаграммаси.

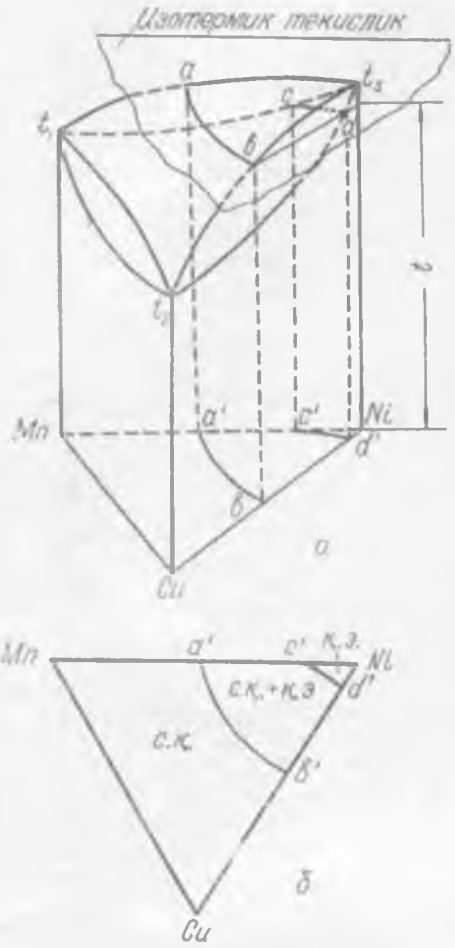
Қотишманинг кристалланиш процессида суюқ фазанинг таркибигина ўзгариб қолмай, балки қаттиқ эритманинг таркиби ҳам ўзгаради. Шу сабабли, қаттиқ эритманинг ҳар қайси таркибига суюқ эритманинг муайян таркиби тўғри келади, чунки қаттиқ эритма ҳам, суюқ эритма ҳам *1* қотишманинг фигуратив нуқталари чизиғидан ўтувчи бир тўғри чизиқда бўлади. Қаттиқ эритма таркиби *a'2* чизиғи бўйлаб, суюқ эритма таркиби эса *1b'* чизиғи бўйлаб ўзгариши юқорида айтиб ўтилди, аммо бу чизиқлар бир текисликда ётмайди, шу сабабли улар ясси эгри чизиқлар бўлмай, балки фазовий эгри чизиқлардир. Шунинг учун ҳам учлама қаттиқ эритма кристаллана бошлаб, то батамом кристалланиб бўлгунча унинг таркибини кесмалар қоидасидан фойдаланиб, яъни конода ўтказиш ва бу коноданинг солидус чизиғини кесиб ўтган нуқтасини аниқлаш йўли билан топиб бўлмайди.

Қаттиқ эритма билан суюқ эритманинг мувозанатли таркибларини бирлаштирувчи конода ўзига параллел тарзда силжиб, фигуратив нуқталар чизиғи атрофида айланади. Бунда коноданинг қаттиқ эритма таркиби *a'* га тўғри келадиган учи солидус сиртида эгри чизиқ ҳосил қилади (бу эгри чизиқнинг фазовий диаграмма асосига туширилган проекцияси *adO* дир), коноданинг иккинчи учи эса ликвидус сиртида сирпаниб, фазовий диаграмма асосига туширилган проекцияси *Oeb* бўлган эгри чизиқ ҳосил қилади.

1 қотишманинг кристалланиш процессида унинг эркинлик даражалари сони 2 га тенг, чунки бунда қотишма 2 фазали бўлади:

$$C = K - \Phi + 1 = 3 - 2 + 1 = 2.$$

Бинобарин, температуранинг ўзгариши билан бир вақтда қаттиқ эритманинг таркибини ҳам ўзгартириш мумкин, бунда мувозанат бузилмайди. Қаттиқ эритма таркибини фазовий эгри чизиқ бўйлаб ўзгартириш мумкинлигининг сабаби ана шу.



104- расм. Mn — Cu— Ni системаси ҳолат диаграммасининг изотермик текислик билан кесилиши.

Mn—Cu—Ni системаси ва, умуман, компонентлари қаттиқ ҳолатда бир-бирида исталганча эрийдиган учлама системалар ҳолат диаграммаларининг горизонтал (изотермик) кесимлари диққатга сазовордир.

Фазовий диаграммани кесувчи горизонтал текислик *изотермик текислик* деб аталади.

Mn — Cu — Ni системаси ҳолат диаграммасини энг қийин суюқланувчи компонент (Ni) нинг суюқланиш температураси (t_3) дан пастроқ, аммо энг осон суюқланувчи компонент (Cu) нинг суюқланиш температураси (t_2) дан юқорироқ температура (t) да изотермик текислик билан кесайлик (104- расм, *а*). Бундай изотермик текислик фазовий диаграмманинг ликвидус сиртини *ав* чизиғи бўйлаб, солидус сиртини эса *cd* чизиғи бўйлаб кесади. *ав* чизиқ *ликвидус изотермаси* деб, *cd* чизиқ эса *солидус изотермаси* деб аталади. Ликвидус изотермасидан юқорида система суюқ қотишмадан, ликвидус изотермаси билан солидус изотермаси орасида система суюқ қотишма ва қаттиқ эритма кристалларидан, солидус изотермасидан пастда эса система қаттиқ эритма кристалларидан иборат бўлади (104- расм, *б*).

Изотермик кесимлар учлама эвтектика ҳосил қиладиган системаларнинг ҳолат диаграммаларида ҳам ўтказилади, аммо бу кесимлар ликвидус изотермаларидангина иборат бўлади, чунки солидус температураси системанинг ҳамма қотишмалари учун бир хил, яъни учлама эвтектиканинг қотиш температурасига тенгдир.

V БОБ

ТЕМИР — УГЛЕРОД ҚОТИШМАЛАРИ

УМУМИЙ МАЪЛУМОТ

Барча металларнинг қора ва рангдор металларга бўлиниши ўрта мактаб химия курсидан маълум. Қора металларга, асосан, темир ва унинг қотишмалари киради. Темир қотишмаларидан энг муҳимларини ҳозирги замон машинасозлигининг асоси бўлган *пўлат* билан *чўян* ташкил этади. Пўлат билан чўян эса *темир — углерод қотишмалари* деб аталади.

Пўлат билан чўян ўз таркиби жиҳатидан мураккаб, яъни кўп компонентли қотишмалардир. Аммо уларнинг таркибига иккита асосий компонент — темир (Fe) ва углерод (C) киради, шунинг учун бу қотишмаларни темир—углерод қотишмалари деб қараш мумкин.

Темир—углерод қотишмаларининг тузилишини, бу қотишмалар қиздирилганда, совитилганда ва бошқа усуллар билан ишланганда уларда қандай процесслар содир бўлишини ўрганиш соҳасида ватанимиз фани биринчи ўринда туради. Улуғ рус олими Д. К. Черновнинг кашфиётлари туфайли пўлат ва чўян ишлаб чиқариш ҳамда уларни термик ишлаш пухта илмий асосга эга бўлиб қолди.

Д. К. Черновнинг тадқиқотлари темир—углерод системасининг ҳолат диаграммасини, шунингдек, темир—углерод қотишмаларини ўрганишга асос бўлди ва металлшунослик фани пайдо бўлишига олиб келди.

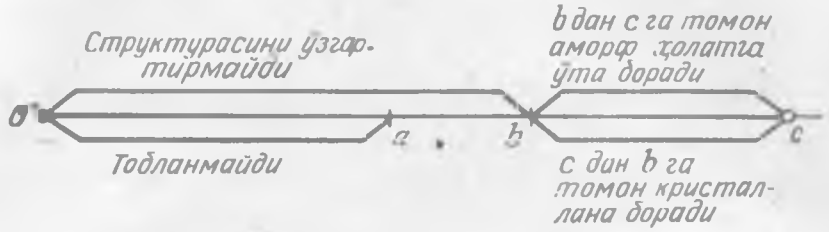
Д. К. Чернов қаттиқ ҳолатдаги пўлатда содир бўладиган ўзгаришларни кашф этди ва пўлатда критик нуқталар мавжудлигини ва бу нуқталарнинг углерод миқдорига боғлиқ эканлигини кўрсатди, яъни темир—углерод диаграммаси тўғрисида дастлабки тушунчалар берди.

Критик нуқталар кашф этилишидан олдин, пўлат қиздирилганда ва совитилганда унда нималар содир бўлиши маълум эмас эди. Шу сабабли пўлатни термик ишлаш натижалари хилма-хил чиқарди.

1868 йилда Д. К. Чернов пўлатдан тўп стволлари ишлаб чиқаришни текширар экан, пўлатда критик нуқта *a* ва критик нуқта *b* борлигини аниқлади. Чернов таъбири билан айтганда *a* нуқтанинг аҳамияти шундан иборат (105- расм): «Пўлат қанчалик қаттиқ бўлмасин, у *a* нуқтадан паст қиздирилганда, қанчалик тез совитилишига қарамай, тобланмайди; аксинча, у анча юмшоқ бўлиб қолади ва уни арралаш осон бўлади». *b* нуқтанинг аҳамияти шундан иборатки, «пўлатнинг температураси *b* нуқтагача кўтарилди дегунча пўлат массаси донадор (умуман айтганда, кристалл) ҳолатдан мумсимон, яъни аморф ҳолатга (қаттиқ эритма — аустенит ҳолатига — *А. Т.*) ўтади».

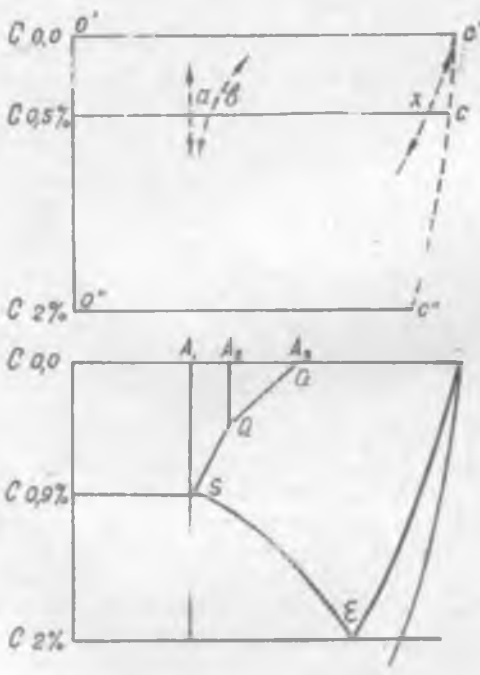
Д. К. Чернов темир — углерод системаси ҳолат диаграммасининг намунасини ҳам чизиб берди. Бу диаграмма 106- расмда тасвирланган.

Д. К. Чернов диаграммаси пўлатда бўладиган ўзгаришлар тўғрисида энг муҳим маълумотлар олишга имкон беради, бу маълумотлардан биз ҳозирги кунгача фойдаланиб келамиз.



105- расм. Пўлатнинг критик нуқталари (Д. К. Чернов).

106- расмда тасвирланган диаграммада *a* нуқта пўлатдаги углерод миқдорига боғлиқ эмас, *b* нуқта эса углерод миқдорининг ортиши билан пасаяди; *b* нуқтадан юқори температурадагина пўлатнинг структураси батамом аустенитга айланади, бинобарин, *b* нуқтадан пастда пўлат тобланмайди. *c'cc''* чизиқ ликвидус чизиғи бўлиб, *c'X* чизиқ солидус чизиғидир.



106- расм. Темир-углерод қотишмаларининг ҳолат диаграммаси (Д. К. Чернов).

Д. К. Чернов *a* ва *b* критик нуқталарни пўлатнинг чўғланиш рангларига қараб топган эди. Француз олими Ф. Осмонд Ле-Шателье пирометридан фойдаланиб, бу критик температураларни ўлчади ва критик нуқталардан ўтишда пўлат структурасида бўладиган ўзгаришларнинг характерини аниқлаб, асосий структураларга ном берди.

Пўлат қиздирилганда аустенит ҳосил бўлишини дастлаб инглиз тадқиқотчиси Р. Аустен топди, унинг бу кашфиётини металлографик анализ ёрдамида француз олими Ле-Шателье, рус олимлари А. А. Байков ва Н. Т. Гудцов исботладилар. Юқорида баён этилган маълумотлардан фойдаланиб, голланд олими Г. Розебом ва инглиз тадқиқотчиси Р. Аустен темир — углерод системаси ҳолат диаграммасининг дастлабки намунасини чизиб бердилар, аммо уларнинг бу диаграммалари мукаммал эмас эди. Фақат XIX асрнинг охиридагина немис олими П. Геренс янги маълумотлардан фойдаланиб, темир — углерод ҳолат диаграммасининг ҳозирги кўринишига яқин вариантини чизиб берди.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, темир—углерод системасининг ҳолат диаграммасини, мувозанат чизиқларининг вазияти нуқтаи назаридан олганда, ҳозир ҳали мукаммал деб бўлмайди. Темир—углерод қотишмаларини тозалаш усуллари ва текшириш методлари такомиллаша

борган сари диаграммадаги мувозанат чизиқлари вазиятининг янада *аниқланиши* шубҳасиздир.

Темир — углерод системасининг ҳолат диаграммасини ўрганиш амалий жиҳатдан ғоят катта аҳамиятга эга, чунки пўлат ҳамда чўянни термик ишлаш ва технологик процессларнинг бошқа баъзи турлари ана шу диаграммага асосланади.

Темир углерод билан бирикиб, бир неча хил химиявий бирикма: Fe_3C, Fe_2C, FeC ва бошқаларни ҳосил қилади. Демак, темир — углерод системасининг ҳолат диаграммаси тўртинчи тип ҳолат диаграммалари жумласига киради ва юқорида тилга олинган химиявий бирикмаларга оид чизиклар воситасида бир неча диаграммага бўлинади. Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, амалда ишлатиладиган темир — углерод қотишмаларининг таркибида кўпи билан 5% углерод бўлади. Бундан ташқари, таркибида 6,67% дан ортиқ углерод бўлган қотишмалар ҳолат диаграммаси яхши текширилган эмас. Шунинг учун биз Fe—C ҳолат диаграммасининг темирдан то Fe_3C* гача бўлган қисминигина кўриб чиқамиз ва бунда темир билан Fe_3C ни системанинг компонентлари деб ҳисоблаймиз. Шундай экан, Fe—Fe_3C системасининг ҳолат диаграммасини кўриб чиқишдан олдин темир ва цементитнинг хоссалари ҳамда тузилиши билан танишиб чиқишимнз керак.

1-§. ТЕМИР ВА УНИНГ ХОССАЛАРИ

Одатда, темир ҳеч қачон мутлақо тоза ҳолатда бўлмайди, унга ҳамма вақт бошқа элементлар аралашган бўлади. Ҳозирги вақтда илмий текшириш ишлари учун таркибида 0,01% ва, ҳатто, ундан ҳам кам қўшимчалар бўладиган темир ҳосил қилиш усули топилган. Бундай темирни текширишга жуда камдан-кам ҳоллардагина эҳтиёж туғилади. Кўпчилик ҳолларда *техника темири* (баъзан арико темир) деб аталадиган темир текширилади, бундай темир эса ҳозир мартен печларида кўп миқдорда ҳосил қилинади. Техника темирининг таркибида 0,1—0,2% ундан ортиқ элементлар бўлади. Бу элементларнинг баъзилари, масалан, углерод ва мис процентнинг юздан бир улушлари қадар (0,02% чамаси) бўлса, қолганларининг миқдори процентнинг мингдан ва, ҳатто, ўн мингдан бир улушларини ташкил этади.

Қуйида келтирилган маълумотлар худди шу техника темирига оиддир.

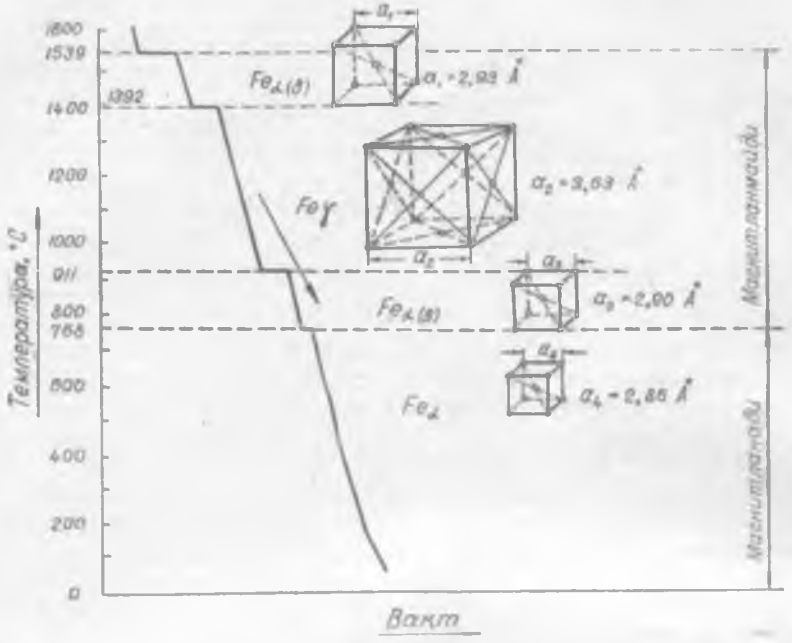
Темир юмшоқ, пластик, кул рангроқ тусда товланадиган оқ металл бўлиб, 1539°С да суюқланади.

Қаттиқ ҳолатда темирнинг иккита модификацияси (аллотропик шакл ўзгариши) бўлади, булар α-темир (Feα) ва γ-темир (Feγ) дир. Темирнинг совиш эгри чизиғи ва α-темир билан γ-темирнинг кристалл панжараси 107- расмда тасвирланган.

α-темир температураларнинг икки оралиғида: 911°С дан паст температураларда ва 1392 дан 1539°С гача температураларда мавжуд бўла олади. Бунинг сабаби шуки, темирнинг эркин энергияси (F) миқдори температурага қараб маълум даражада ўзгаради: 911°С дан паст температураларда α-темирнинг эркин энергияси γ-темирникидан кам, 1392°С дан юқори температураларда эса ортиқ бўлади. 911°С билан 1392°С температуралар оралиғида темир атомларининг ёқлари марказлашган куб тарзида жойлашуви сабабли эркин энергияси камроқ бўлади, шунинг учун темир қиздирилганда 911°С температурада α-темир γ-темирга, 1392°С температурада эса γ-темир α-темирга айланади.

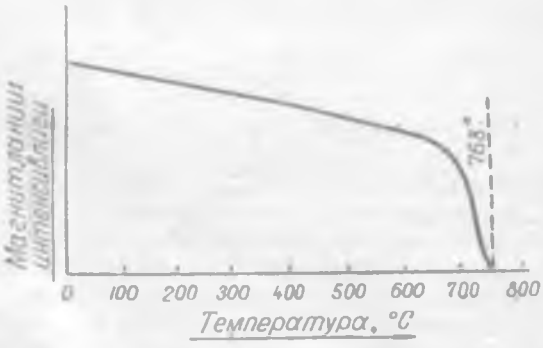
* Fe_3C таркибли химиявий бирикмани *цементит* деб аташ қабул қилинган.

1392°C ва ундан юқори температурадаги α-темир, баъзан, δ-темир дейилади. Аммо темирнинг бу модификацияси янги бир шакл ўзгариш эмас. δ-темир 768°C ва ундан паст температурадаги α-темирдан фақат кристалл панжара параметрлари жиҳатидангина фарқ қилади (107-



107- расм. Темирнинг совиш эгри чизиғи ва кристалл панжаралари.

расмга қаранг). Баъзи металларда, шу жумладан темирда ҳам, яхши магнитланиш хоссаси бўлади. Темирнинг бу хоссаси *ферромагнитлик хоссаси* дейилади. Аммо темир қиздирилган сари унинг ферромагнитлик хоссаси секин-аста пасайиб, маълум температурада бутунлай йўқолади. Металлнинг ферромагнитлик хоссаси бутунлай йўқоладиган температура *Кюри нуқтаси* деб аталади. Демак, 768°C температура темир учун Кюри нуқтасидир. 108- расмда темир магнитланиш хоссасининг температурага қараб ўзгариши тасвирланган.



108- расм.

Темирнинг ферромагнитлик хоссаси Кюри нуқтасига яқинлашган сари секин-аста пасайиб боради ва бу нуқтада темирнинг хоссалари тўсатдан ўзгармайди. Ферромагнитлик хоссасининг ўзгаришида температура гистерезиси (ўта совиш, ўта қизиш) бўлмайди ва металлнинг механик ва баъзи физикавий хоссалари ўзгармай, балки кўпгина электр, магнит ва иссиқлик

хоссалари ўзгаради. Металлнинг ферромагнитлик хоссаси ўзгарганда металл қайта кристалланмайди, яъни кристалл панжара ўзгармайди, аммо кристалл панжаранинг параметрлари бир оз ўзгаради. Бинобарин, ферромагнитлик хоссасининг ўзгариши аллотропик шакл ўзгаришдан бутунлай фарқ қилади.

768 билан 911°С температуралар орасидаги α-темир магнитланмайди, шунинг учун у β-темир деб аталади.

Энди, темирнинг баъзи механик хоссаларини кўрсатувчи қуйидаги маълумотларни келтириб ўтамиз (7-жадвал).

7-жадвал

Темирнинг механик хоссалари

Механик хоссалари				
σ_b, Мн/м² (10^{-1} кГ/мм²)	δ, %	ψ, %	$a_н$, кж/м² (10^{-3} кГм/см²)	НВ
250	50	85	3000	80

Темир баъзи металлар билан ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилади, металлоидлар, масалан, азот, углерод ҳамда водород билан эса сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил қила олади.

2-§. ЦЕМЕНТИТ ВА УНИНГ ХОССАЛАРИ

Цементит Fe_3C темирнинг углерод билан ҳосил қилган химиявий бирикмаси, яъни темир карбиди бўлиб, унинг таркибида 6,67% углерод бўлади. Цементит жуда қаттиқ модда — унинг қаттиқлиги Бринель бўйича 800 га тенг (НВ=800), пластиклиги эса, амалий жиҳатдан олганда, нолга баравар (δ=0%). Цементитнинг суюқланиш температураси 1600°С чамасидадир. Паст температураларда цементитда кучсиз магнитланиш хоссаси бўлади, унинг бу хоссаси 217°С температурада йўқолади. Цементит барқарор бирикма эмас — қиздирилганда парчаланиб, ундан графит ажралиб чиқади:

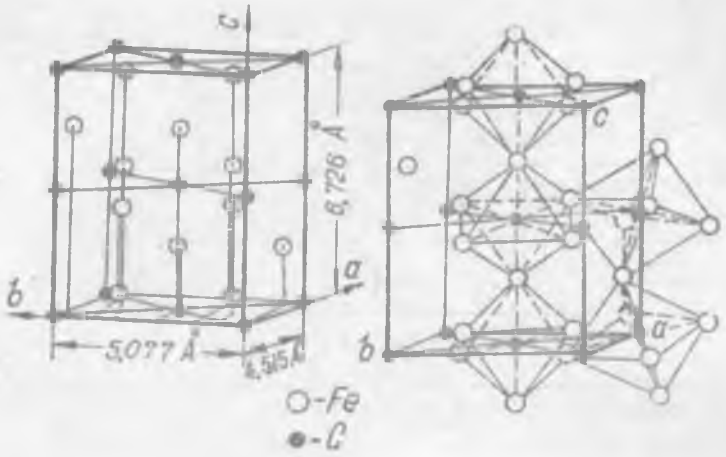
$$\underset{\text{цементит}}{Fe_3C} \xrightarrow{\text{қиздириш}} 3Fe + \underset{\text{графит}}{C}$$

Цементитнинг кристалл панжараси жуда мураккабдир (109-расм). Цементит кристалининг бир неча октаэдрдан иборатлиги расмдан кўриниб турибди (расмда октаэдрларнинг бештаси кўрсатилган). Темирнинг ҳар бир атоми бир вақтнинг ўзида икки октаэдрга тегишли бўлганлигидан, ҳар қайси октаэдрга 3 атом темир ва 1 атом углерод тааллуклидир.

Цементит ўрин олиш қаттиқ эритмалари ҳосил қила олади, яъни ундаги углерод атомлари ўрнини металлоидлар, масалан, азот ёки кислород атомлари, темир атомлари ўрнини эса металлар, чунончи марганец, хром, вольфрам атомлари олиши мумкин. Таркибидаги темир атомларининг ўрнини бошқа металларнинг атомлари олишидан ҳосил бўлган бирикма *легирланган цементит* деб аталади ва Me_3C формула

билан белгиланади (бу формулада Me — цементит таркибидаги темир атомлари ўрнини олган металл атомлари).

Углерод α-темирда кам эриганлигидан, кўпчилик ҳолларда, пўлат структурасига таркибида углерод миқдори кўп бўлган фазалар — цементит ёки бошқа карбидлар киради



109- расм. Цементитнинг кристалл панжараси.

А. Fe—Fe_3C СИСТЕМАСИНИНГ ҲОЛАТ ДИАГРАММАСИ

Темир—углерод қотишмалари шартли равишда икки компонентли қотишмалар жумласига киритилади. Углероднинг темир билан бирикиб, химиявий бирикма — цементит Fe_3C ҳосил қилиши мумкинлиги юқорида айтиб ўтилган эди. Бундан ташқари, қотишмада углерод эркин ҳолда, яъни графит тарзида ҳам бўлиши мумкин. Цементитнинг парчаланиши натижасида ҳам графит ҳосил бўла олади. Демак, темир—углерод қотишмаларининг икки хил системаси — цементитли ва графитли системалари мавжуд. Бу системалардан биридаги компонентлар темир билан цементит (Fe—Fe_3C) бўлса, иккинчисидаги компонентлар темир билан графит (Fe—C) дан иборат.

Fe—Fe_3C системасининг ҳолат диаграммаси 110- расмда тасвирланган. Расмда Fe — C системасининг ҳолат диаграммаси пунктир чизиқлар билан кўрсатилган.

Fe—C системаси барқарордир, шунинг учун у *стабил система* деб аталади. Цементитнинг парчаланиши мумкин бўлганлигидан Fe—Fe_3C системаси, назарий жиҳатдан олганда, батамом мувозанатдаги система бўла олмайди, шунинг учун у *метастабил система* дейилади. Мувозанат ҳолат шундан иборатки, мумкин бўлган процессларнинг ҳаммаси охиригача боради. Аммо Fe_3C (цементит) темир билан углерод қотишмаларидан фойдаланишнинг одатдаги шароитида парчаланмайди. Шу сабабли Fe—Fe_3C системасини амалда мувозанатдаги система деб ҳисоблаш мумкин.

Fe—Fe_3C диаграммасидан пўлат ва оқ чўянларни ўрганишда кенг кўламда фойдаланилади; Fe—C системасидан эса таркибидаги углерод графит тарзида бўладиган пўлат ва чўянларни ўрганишдагина фойдаланиш мумкин.