

6. Полиморф ва эвтектоид ўзгаришли қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари	95
7. Кимёвий бирикма ҳосил қилалиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари	99
8. Уч компонентли ҳолат диаграммалари	102
Намунавий назорат саволлари	104
6-боб. Пластик деформациянинг механик хоссаларга таъсири	104
1. Металл қотишмалари деформацияси	105
2. Пластик деформация	108
3. Деформация натижасида мустаҳкамликнинг ошиши ҳамда металл ва қотишмаларнинг емирилиши	110
4. Металл ва қотишмаларнинг конструкцион мустаҳкам-лигини ошириш усуллари	113
Намунавий назорат саволлари	119
7-боб. Деформацияланган металл ва қотишмаларнинг қайта кристалланиши	119
1. Қайтиш ҳамда қайта кристалланиш	120
2. Қайта кристалланишдаги тузилиш	123
3. Совуқ ва иссиқ ҳолда деформациялаш	126
Намунавий назорат саволлари	128
8-боб. Темир ва унинг қотишмалари	129
1. Темирнинг хоссалари	130
2. Темир-углерод қотишмалари	134
3. Темир-углерод ҳолат диаграммаси	136
4. Углерод ва доимий қўшимчаларнинг қотишма хоссаларига таъсири	146
5. Легирлашнинг қотишма хоссаларига таъсири	149
Намунавий назорат саволлари	153
9-боб. Металл қотишмаларига термик ишлов бериш назарияси	154
1. Перлитнинг аустенитга парчаланиши	156
2. Ута совитилган аустенитнинг изотермик парчаланиши	159
3. Перлитнинг ҳосил бўлиши	161
4. Мартенситнинг ҳосил бўлиши	162
5. Бейнитнинг ҳосил бўлиши	166
6. Мартенситни қайта қиздиришда рўй берадиган ўзгаришлар	168
7. Термик ишлов беришнинг пулат хоссаларига таъсири	170
Намунавий назорат саволлари	172
10-боб. Соф термик ишлаш маҳорати (технологияси)	172
1. Юмшатиш ва нормаллаш	173
2. Пулатларни тоблаш маҳорати	177
3. Пулат юзасини тоблаш	184

4. Пулатларни бўшатиш ва уларга совуқ ҳароратда ишлов бериш	185
5. Пулатларга термомеханик ва механотермик ишлов бериш	186
6. Машинасозлик чўянларига ишлов бериш	188
Намунавий назорат саволлари	189
11-боб. Пулатларга кимсвий-термик ишлов бериш	189
1. Пулат юзасини углеродга бойитиш	190
2. Пулат юзасини азот билан бойитиш	193
3. Пулат юзасини азот ва углерод билан биргаликда бойитиш	197
4. Юзани элементлар билан диффузион тўйинтириш	198
5. Пулат юзаси хоссаларини ўзгартиришнинг юқори энергетик усуллари	201
6. Термик ишлов бериш жиҳозлари	203
Намунавий назорат саволлари	206
12-боб. Конструкцион пулат ва қотишмалар	207
1. Конструкцион пулатлар синфи	208
2. Углеродли конструкцион пулатлар	211
3. Кам легирланган қурилиш ва арматура пулатлари	213
4. Цементацияланадиган ва яхшиланадиган конструкцион кам легирланган пулатлар	214
5. Юқори эластикликка эга бўлган пружина-рессор пулатлари	216
6. Технологик яхшиланадиган хусусиятли пулатлар	220
7. Эскиришда мартенсит ҳосил қиладиган пулатлар	222
8. Ишқаланишдаги емирилишга қаршилиги катта бўлган конструкцион пулатлар	223
9. Зангбардош, юқори ҳамда паст ҳароратларга чидамли пулат ва қотишмалар	226
Намунавий назорат саволлари	229
13-боб. Чўянлар	230
1. Оқ ва кулранг чўянлар	232
2. Юқори мустаҳкамликка эга бўлган чўянлар	233
3. Болгаланувчан чўянлар	234
4. Махсус легирланган чўянлар	237
Намунавий назорат саволлари	238
14-боб. Асбобсозлик пулатлари ва қаттиқ қотишмалар	238
1. Кесувчи асбоблар учун пулатлар	239
2. Ўлчов асбоблари учун пулатлар	242
3. Штамплар учун пулатлар	243
4. Асбобсозлик қаттиқ қотишмалари	245
Намунавий назорат саволлари	247

15-боб. Махсус физик хусусиятли қотишмалар	248
1. Электр ўтказувчанлиги турлича бўлган материаллар	248
2. Магнит материаллари ва парамагнитлар	251
3. Аввалги шаклига қайтиш хусусиятига эга материаллар	252
4. Юқори электр қаршиликка эга бўлган материаллар	254
5. Кенгайишнинг ҳарорат коэффиценти турғун бўлган қотишмалар	256
6. Эластик хусусиятли пўлат ва қотишмалар	257
Намунавий назорат саволлари	258
16-боб. Алюминий ва унинг асосидаги қотишмалар	259
1. Тоза алюминий ва унинг техникада ишлатилиши	259
2. Алюминий қотишмалари	260
3. Деформацияланадиган алюминий қотишмалари	266
4. Қуйма алюминий қотишмалари	267
5. Алюминий қуқуни қотишмалари	271
Намунавий назорат саволлари	272
17-боб. Магний ва унинг асосидаги қотишмалар	272
1. Магний қотишмалари	272
2. Қуйма магний қотишмалари	277
3. Деформацияланадиган магний қотишмалари	278
Намунавий назорат саволлари	279
18-боб. Мис ва унинг қотишмалари	280
1. Тоза мис ва ўзга қўшимчаларнинг таъсири	280
2. Жез (латун)лар ва уларнинг хосалари	282
3. Бронзалар	286
Намунавий назорат саволлари	290
19-боб. Қийин суюқланадиган металл ва қотишмалар	291
Намунавий назорат саволлари	293
20-боб. Титан ва унинг қотишмалари	295
Намунавий назорат саволлари	296
21-боб. Қалай, қўрғошин ва рух асосидаги антифрикцион қотишмалар	296
Намунавий назорат саволлари	300
22-боб. Металл бўлмаган конструкцион материаллар	300
1. Полимерлар ва уларнинг турлари	300
2. Конструкцион полимерлар	307
3. Резиналар	311
4. Шишалар	313
5. Сопол (керамика) материаллар	316
Намунавий назорат саволлари	320
23-боб. Композицион материаллар	321
1. Композицион материалларни яратиш усуллари	321
2. Полимер асосидаги композицион материаллар	324

3. Металл асосидаги композицион материаллар	327
Намунавий назорат саволлари	329
24-боб. Материал танлаш асослари	330
1. Цементацияланадиган ва нитроцементацияланадиган пўлатларни танлаш	331
2. Юқори узгарувчан ток билан қиздириб тоблашга муҳжалланган пўлатлар	333
3. Конструкциян яхшиланадиган пўлатларни танлаш	334
4. Пружина ва рессорлар учун пўлатларни танлаш	337
5. Совуқдайин штамилаб буюм олишга пўлатларни танлаш	339
6. Қуйиш усули билан буюмлар тайёрлаш учун пўлат- ларни танлаш	340
7. Қурилиш буюмлари учун пўлатларни танлаш	341
Намунавий назорат саволлари	342
25-боб. Материалпуносликнинг экологик муаммолари	343
Намунавий назорат саволлари	345
Адабиётлар рўйхати	346

15-6

16-6

17-6

18-6

19-6

20-6

21-6

22-6

23-6

Илҳом Носир (Илҳом Носиров)

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

На узбекском языке

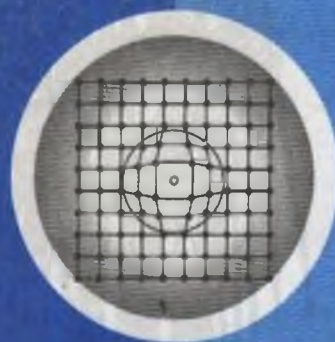
Бадий муҳаррир Т. Қаноатов
Кичик муҳаррир Ш. Соибназарова
Тех. муҳаррир У. Ким
Мусахҳиҳ М. Раҳимбекова
Компьютерда тайёрловчи Э. Ким

Теришга берилди 26.03.2001. Босишга рухсат этилди 13.02.2002.
Бичими 84x108¹/₃₂, "Таймс" гарнитурда офсет босма усулида
босилди. Шартли бос.т. 18,48. Нашр т. 19,3. Нусхаси 2000.
Букюртма № 34.

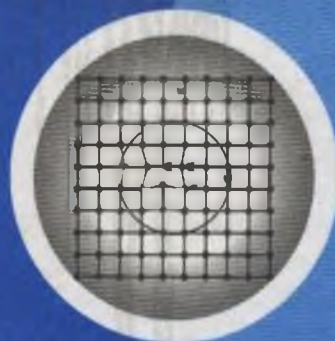
"Ўзбекистон" нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кўчаси, 30.
Нашр. № 109-2000.

Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот қўмитаси
Тошкент китоб-журнал фабрикасида босилди.
700197, Тошкент, Юнусобод даҳаси, Муродов кўчаси, 1.

Илҳом Носир



МАТЕРИАЛШУНОСЛИК



"ЎЗБЕКИСТОН"

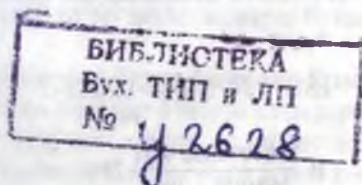


620.2

Н-80 ИЛҲОМ НОСИР

МАТЕРИАЛШУНОСЛИК

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлиги техника олий ўқув юртлари талабалари учун дарслик
сифатида тавсия этган.*



ТОШКЕНТ — "ЎЗБЕКИСТОН" — 2002

дан
ай-
адал
ида
иши
иш-
ни-
ате-
сса-
иш

гла-
бе-
: ва
иги
жа-
лда
куп
ари
иё-
ма-
кув
тиб

ва-
му-
ёр-
ос-
ар-
он-

Тақризчилар:

Техника фанлари доктори, Ўзбекистон Фанлар академиясининг академиги **Маҳкамов Р. Г.**, техника фанлари доктори, профессор **Абдуллаев Ш.**

Муҳаррирлар:

З. Аҳмаджонова, С. Абдукаримов

Носир, Илҳом.

Материалшунослик: Олий ўқув юртлари талабалари учун дарслик. — Т.: Ўзбекистон, 2001. — 352 б.

Дарслик Олий ўқув юртларининг машинасозлик ва бошқа техника йуналишларидаги бакалаврлар учун мулжалланган бўлиб, ундан магистрлар ҳам фойдаланишлари мумкин. Дарсликда металл ва қотишмаларнинг атом-кристалл тузилиши, унинг нуқсонлари, хосса ва тузилишларини кристалланиш ва бошқа усуллар билан бошқариш кенг ёритилган.

Материалларнинг физик-механик хоссаларини бошқаришда катта ўрин тутган термик ва кимёвий-термик ишлаш маҳоратлари келтирилган.

Кейинги пайтда металл бўлмаган материаллар техникада кенг ишлатилаётганини ҳисобга олиб, полимер асосидаги материалларнинг таркиби, тузилиши ва хоссаларига дарсликда кенгроқ ўрин берилган. Композитлар, ойналар, сопол (керамика) ва бошқа материалларни қўллаш соҳалари таҳлил қилинган.

Техника ва иқтисодий нуқтаи назардан илмий асосда материалларни танлашнинг самарали усуллари аниқ мисолларда келтирилган. Шунингдек, материалларни қўллаш ва қайта ишлаш билан боғлиқ баъзи бир экологик муаммолар ҳам ёритилган.

ББК.30.3я73

ISBN № 5-640-02388-2

2004070000 — 41
351(04) — 2001

© “ЎЗБЕКИСТОН” нашриёти, 2002 й.

СУЗ БОШИ

Ўзбекистон Республикаси мустақилликка эришгандан кейин фан-техника ривожига катта эътибор берилди, аynиқса, оғир саноат, металлургия ва машинасозлик жадал ривожланмоқда. Кейинги пайтда кўплаб ҳиссадорлик ҳамда қўшма машинасозлик корхоналарининг ташкил этилиши Ўзбекистонга янги техника ва технологияни олиб келишга имкон берди. Саноатнинг бундан кейинги ривожланиши арзон, пухта, ишлатиш қулай бўлган янги-янги материалларни излаб топиш, мавжуд материалларнинг хоссаларини яхшилаш ёки зарурий йўналишда ўзгартириш технологиясини яратишни талаб этади.

Бу вазифани ҳал этиш учун техника олий ўқув юртларида талабаларга материалшуносликдан пухта билим бериш зарур. Лекин бу соҳада ўзбек тилида дарслик ва қўлланмаларнинг йўқлиги ва борининг ҳам етишмаслиги талабаларнинг чуқур билим олишларини маълум даражада қийинлаштирмоқда. Ана шуларни ҳисобга олган ҳолда муаллифнинг Тошкент автомобиль йўллар институтида кўп йиллар давомида ўқиган маъруза ва илмий изланишлари ва иш тажрибаси асосида 1993 йилда “Ўқитувчи” нашриётида ўзбек тилида материалшуносликдан ўқув қўлланмаси чоп этилган эди. Ўзбекистон олий ва ўрта махсус ўқув юртлари талабалари ва мутахассислари бунини яхши кутиб олишди.

Шу орада Ўзбекистон Республикаси Олий таълим вазирлиги тасдиқлаган фанлар бўйича стандартлар ва намунавий дастурлар вужудга келди, яъни мутахассис тайёрлашни дунё талабларига кўтаришнинг илмий-услубий асослари — таълим дастури яратилди. Ана шу билим стандарти (андоза) ва дастурлар бўйича ўзбек тилида ҳар томон-

лама мукаммал дарсликлар яратила бошланди. Муаллиф ҳам ўзининг олдин чоп этилган материалшуносликдан ўқув қўлланма асосида янги дарслик яратишга жазм қилди.

Дарслик намунавий дастур асосида яратилди. Мавжуд рус ва бошқа хорижий мамлакатларда яратилган дарсликлардаги каби ўзбек тилидаги дарсликда ҳам металлларга кўпроқ эътибор берилди, чунки яқин келажакда металлларнинг конструкцион ва асбобсозлик материали сифатидаги ўрни муҳим бўлиб қолади. Лекин бу дарслик бошқалардан ўзининг ёзилиш услуби ҳамда таркиби билан фарқ қилади. Дарсликда ўқувчининг фанни мустақил ўзлаштиришига алоҳида эътибор берилган. Унда келтирилган билимни назорат қилиш саволлари талабани фанни мустақил ўзлаштиришга ўргатади. Худди шунингдек, махсус курс ва диплом ишларида талабаларнинг дарсликдан фойдаланиш самарадорлигини ошириш мақсадида конструкция ва асбобларнинг материалларини танлаш бўйича мисоллар ва мулоҳазалар келтирилди.

Материалларни техникада ишлатишда ҳозирги пайтда кўпроқ ундан самарали фойдаланиш асосий масала бўлиб қолмоқда. Шунинг учун ҳисобга олган ҳолда дарсликда бу масалага мумкин қадар кўпроқ ўрин берилди. Жумладан, ҳар хил синфлардаги металлмас ва композицион материалларни яратиш назариясига алоҳида ўрин берилди. Худди шунингдек, экология ҳамда материал танлашнинг техник ва иқтисодий масалалари ҳам ёритилди.

1-б о б.

МАТЕРИАЛШУНОСЛИК АСОСЛАРИ

Материалшунослик фан сифатида жуда кўп йирик дунё олимларининг илмий изланишлари маҳсули сифатида шаклланди. Фаннинг тараққиёти мавжуд материалларнинг хоссаларини такомиллаштиришдангина иборат бўлмай, балки талаблардан келиб чиқадиган бутунлай янги конструкция материалларни яратиш билан боғлиқдир. Шунинг учун фаннинг асосий мақсади — фақат таркиб, тузилиш ва хоссаларни ўрганиб қолмай, балки ҳар бир синфдаги материалларнинг мавжуд буюм (конструкция) лардаги ҳолатини кузатиш орқали тузилиш (структура) ва хоссаларни биргаликда боғлиқлигини ўрганишдан иборат.

Материалшунослик тараққиёти муҳим муҳандислик фани сифатида физика, кимё, механика илмларининг ривожига асосланади. Шунинг учун унда кўрилатган масалаларни тушунтиришда термодинамика асослари, кристаллография, қаттиқ жисмларнинг атом-кристалл тузилиши, тузилишдаги нуқсонлар назарияси, материалларнинг деформацияси ва емирилишнинг физик асослари каби фундаментал илмлардан кенг фойдаланилади.

1. Хомашё ва материал ҳақида тушунча

Инсон ўз фаолиятида моддаларни ишлаб чиқариш маҳсулоти деб қарайди. Моддалар аслида материянинг маълум бир барқарор массага эга бўлган бўлагидир. Ана шундай моддий дунёни техникада “ашё” ёки “материал” деб аташ қабул қилинган. Демак, материаллар меҳнат жараёнининг маҳсули бўлиб, ундан инсоният ўз талабларини қондирадиган буюмлар ясашда фойдаланади. Материаллар ишлаб чиқаришда бирламчи восита ҳисобланади. Ма-

териал бўлмаса, саноат жараёнлари ҳам бўлмайди. Масалан, мис (материал) ишлаб чиқариш учун рудалар (мис рудалари) қазиб олиниши керак. Хомашё материалларини олиш учун ҳам меҳнат сарфланади, яъни рудалар қазиб олиниб, қайта ишлаш учун руда бойитиладиган комбинатларга юборилади сўнгра бойитилган рудалардан мис олинади. Мисдан эса турли хил буюмлар ишлаб чиқарилади. Мис олишда руда хомашё материал бўлса, буюм ишлаб чиқаришда миснинг ўзи хомашё материал ҳисобланади. Меҳнат жараёни шуни кўрсатадики, сифат жиҳатидан барча хомашёларни икки турга бўлиш мумкин. Бирламчи хомашё ёки биринчи бор материални ҳосил қилиш учун ишлатиладиган модда. Лекин ана шу бирламчи материални ҳосил қилиш учун ҳамма вақт ҳам танланган хомашё 100 фоиз сарфланмайди, яъни унинг маълум қисми чиқиндига айланиши мумкин. Ана шу чиқиндилар ҳам бошқа буюмларни ишлаб чиқариш учун хомашё, яъни иккиламчи хомашё бўлиши мумкин. Масалан, ёғочнинг қайта ишланишидан чиққан қиринди (иккиламчи хомашё) мебель саноатида ишлатилади.

Буюмлар ишлаб чиқариш учун материаллар билан бир қаторда ярим фабрикатлар ҳам ишлатилиши мумкин. Ярим фабрикат деганда қайта ишланган, лекин ҳали тайёр буюм ҳолига келтирилмаган материал тушунилади. Буюм олиш учун материални, яъни ярим фабрикатни қайта ишлаш яна давом эттирилиши керак. Демак, бир ишлаб чиқаришда тайёрланган материал (маҳсулот) бошқа ишлаб чиқариш учун ярим фабрикат ҳисобланади.

2. Материалшунослик фани

Материалнинг техникага яроқлилиги унинг тузилишига боғлиқдир. Материалнинг тузилиши деганда, унинг бир бутунлигини таъминлови, яъни ташқи ва ички таъсирларга фаол қаршилиқ кўрсатувчи ички боғланишлар тушунилади. Ана шу ички боғланишларга мувофиқ материалнинг хоссалари ҳам ўзгариши мумкин. Демак, материалларнинг хоссалари уларни бир-бири билан солиштиргандагина ажратиш мумкин бўлган фалсафий ту-

шунчадир. Бу тушунча миқдор ва сифат ўзгаришларни ўз ичига олади.

Материалнинг таркиби, тузилиши ҳамда хоссалари ўрта-сидаги амалий боғланишларни ўрганадиган фан *материалшунослик* деб аталади. Материалнинг таркиби деганда шу материалнинг қандай кимёвий элементлардан тузилганлиги тушунилади. Кундалик турмушимизда қўлланиладиган материалларнинг аксарияти биргина кимёвий элементдан иборат бўлмай, кўп элементларнинг мажмуи ёки бирикмасидан иборат. Материалнинг тузилиши тушунчаси анча кенг маънодаги тушунча бўлиб, кўз ёки оддий лупа билан кўриб бўладиган макротузилиш, махсус (500—2000 марта катта қилиб кўрсатадиган) оптик асбоблар — металломикроскоплар ёрдамида ўрганиладиган микро-структура ҳамда 100 000 марта катта қилиб кўрсатадиган электрон микроскопларда ёки рентген нурлари таъсир эттириш билан кузатиладиган супмикроскопик структураларни ўз ичига олади. Материалнинг хоссалари деганда, унинг кимёвий, физик ва механик хоссалари тушунилади.

Иллари материал қандай кўринишда бўлса, одамлар уни шундайлигича ишлатганлар. У вақтда улар ҳали материалнинг тузилиши ҳақидаги тушунчага эга эмас эдилар. Кейинчалик материал хоссаси билан унинг ички тузилиши ўртасидаги боғланишни ўрганишга ўтилди. Шундан кейингина буюмларнинг ишлатилиш шароитига қараб материаллар хоссаларини бошқариш имкониятига эга бўлинди. Материалнинг хоссалари ҳамда ундан тайёрланган буюмларнинг ишлатилиш шароитини билган ҳолда унинг чидамлилиги ва узоқ муддат ишлай олишини олдиндан ҳисоблаб аниқлаш мумкин бўлади.

Кимё, физика, механика каби фанларнинг муваффақияти натижасида материалларнинг ички тузилишлари ўрганила бошланди. Материалшунослик фанининг кейинги тараққиёти ҳам шу фанларнинг эришган ютуқларига боғлиқдир. Кейинги йилларда фан-техника тараққиёти натижасида янгидан-янги материаллар яратилмоқда, ишлаб чиқаришнинг янада самарали усуллари кашф этилмоқда. Иккинчи томондан, материалшунослик фанининг муваффақияти структурани яхшилаш, буюмлар-

нинг конструкцияларини ясашда материалларни қайта иш-
лашнинг самарали усулларини кашф этиш ҳамда уни та-
комиллаштиришдадир. Хомашёни қайта ишлаб, унинг
ҳолати, тури ёки шаклини ўзгартириш ҳамда материал,
ярим фабрикат ёки буюм ясаш жараёнлари технологик
жараён деб аталади. Буюмларнинг мўлжалланган муддат-
да муваффақиятли ишлай олиши ана шу технологик жа-
раённинг қанчалик тўғри ва самарали бажарилишига, ма-
териалнинг тўғри танланишига боғлиқдир. Материалшу-
нослик фани машина ва механизмларни инсон манфаати
учун ишлатишда материал хоссаларини бошқаришнинг
илмий-назарий асосини ташкил қилади.

Ишлаб чиқаришнинг ҳажми ортиб борган сари атроф-
муҳитнинг ифлосланиб заҳарланиши материалларнинг иш-
лаш шароитларини оғирлаштириб бормоқда, унга қўйила-
диган талаблар ҳам ортиб бормоқда. Табиат маҳсулотлари-
ни кўпроқ инсон манфаатига бўйсундириш, атроф-муҳитни
муҳофаза қилишда илмий асосларга таяниш, ҳосил бўла-
ётган иккиламчи хомашёни зарарсизлантирибгина қолмай,
балки улардан янги материал ва буюмлар ишлаб чиқариш
лозим. Чиқиндисиз тўлиқ технологик жараённи топиш ва
уни амалга ошириш эндиликда ҳам иқтисодий, ҳам ижти-
моий аҳамиятга эга.

3. Материалшунослик фанининг ривожланиш тарихидан қисқача маълумот

Тараққиётнинг дастлабки тош, бронза ва ниҳоят, те-
мир даврларида ҳар бир даврнинг ўзига хос материалла-
ри пайдо бўлиб, давр мезонини белгилаган. Инсонлар
даставвал тош ва суяк материалларни макон ва қурол учун
ишлатганлар, тошни қайта ишлаб қурол ясаганлар. Бу
қуролларни аввал ов учун ишлатган бўлсалар, кейинча-
лик тошдан ерни қайта ишлайдиган қуроллар, яъни иш-
лаб чиқариш воситаларини ясаганлар. Натижада аста-се-
кин ёғочни, терини ва қум-тупроқни (лойни) қайта иш-
лаш — сопол саноати яратила борди. Сопол саноатининг
тараққиёти борган сари касб буюмларини ишлаб чиқа-
ришга имкон яратди. Бронза даврига келиб, тош қурол-

ларнинг аҳамияти йўқола бошлади ва металлургия саноати вужудга кела бошлади. Металл қотишмаларнинг таркибини ўзгартириш орқали унинг хоссаларини бошқариш мумкинлиги маълум бўлди ва бу жараён амалиётда қўлланила борди. Темир даврида материалларни ишлаб чиқаришдаги ютуқлар узоқ йиллар давомида жамиятнинг ишлаб чиқариш кучлари даражасини белгилади. Осиёда, Ўрта ер денгизи атрофида, Хитой ҳудудида илк бор металлларни қайта ишлайдиган корхоналар вужудга келди.

Сув ва ҳаводан фойдаланиш материалшунослик саноатида янги тараққиётни очди. Темир эритиб тозалашда пуфлаш учун ҳаводан фойдаланиш эса суюқлантирилган металллар ҳароратини ошириш имконини берди. Натижада металл қушимчалардан тўла тозаланиб, унинг сифати яхшиланди. Металл ишлаб чиқаришда писта кўмир ўрнига коксланадиган кўмрдан фойдаланиш эса давр талаби — ишлаб чиқаришни ривожлантириш натижасида вужудга келди. Кокслаш технологиясининг кашф этилиши металлургия саноатини жадал ривожлантирди.

Пулат олишнинг янги-янги усуллари кашф этилди. Англияда аввал Г. Бессемер (1856), сўнгра С. Томас (1878), Францияда эса П. Мартен (1864) каби ихтирочилар пулат олишнинг янги усуллари кашф этишди.

XVIII аср охири XIX аср бошларига келиб машинасозлик саноати юксак ривожланди, бу эса металлларни қўлаб ишлаб чиқаришни талаб қиларди. Материалларни ишлаб чиқариш даражасини ошириш бу соҳадаги олдинги амалий ютуқларни умумийлаштириш ҳамда бу соҳа учун янги илмий асослар яратишни тақозо қилди. Натижада XIX асрга келиб, материалшунослик машинасозликдаги маҳсус фанга айланди. Материалшуносликнинг фан сифатида такомиллашишига истиснодди рус олими ва ихтирочиси Д. К. Черновнинг (1839-1921) фазалар ўзгариши ҳақидаги назарияси жуда катта туртки бўлди. Бу фаннинг ривожланишига яна А. Ледебурнинг (немис олими) металллар структураси тушунчаси, инглиз физиклари Ф. Лавес ҳамда В. Юм-Розерининг янги типдаги фазаларни кашф этиши ҳам катта аҳамият касб этди. Металлшунослик фанининг шу даврдаги тараққиётига тадқиқотнинг янги (инструментал) усуллари кашф этилиши ҳам таъсир қил-

ди, масалан, рентген нурларининг кристалл тузилишини урганишга қўлланилиши ҳамда метали тузилишининг металломикроскоп (металлография) усуллари кашф этилди. Кўп изланишлар натижасида кристалланиш ҳамда жисмлардаги кўп жинсли (гетероген) мувозанат назариялари яратилди.

Ички ёнув двигателларининг кашф этилиши, шунингдек автомобиль саноати, темир йўл транспорти ҳамда ҳаво флотининг тараққиёти материаллар хоссаларини яхшилаш, уни қайта ишлаш саноатини такомиллаштиришни тақозо этди. Натижада такомиллашган домна печлар, пулат эритиладиган мартен печлари барпо этилди, саноат миқёсида прокатланган ярим фабрикат ҳамда материаллар кўплаб ишлаб чиқиладиган бошланди. Пулатларни пайвандлаш мумкин эканлигини Н. Н. Бенардос ва Н. Г. Славянов илмий асосда исботлаб берди. Икки электрод ўртасида ёй ҳосил қилиш кашфиёти эндиликда одамлар манфаати учун ишлатиладиган бошланди.

Рус олими А. М. Бутлеров 1881 йили оламшумул кашфиёт — жисмларнинг кимёвий тузилиш назариясини кашф этди. Кейинчалик Бутлеровнинг бу назарияси асосида қуйи молекулали органик кимёвий моддалардан полимерлар олиш мумкинлиги исботланди. 1909 йилда С. В. Лебедев хоссалари жиҳатидан табиий каучукка ўхшаш сунъий каучукни синтез қилиб олди. Ҳозирги вақтда техникани сунъий каучуксиз тасаввур қилишимиз қийин. Шундай қилиб, машинасозликда ишлатиладиган металл материаллар ҳукмдорлиги тугади, улар билан бирга сунъий материаллар ҳам ишлатиладиган бошланди.

XX асрнинг 40-йилларига келиб, илмий техника жадал ривожланди, натижада материалшунослик фани катта ютуқларга эришди, бу даврда бир қатор материаллар кашф этилди. Юқори ўтказувчанликка эга бўлган янги материаллар, ярим ўтказгичлар, сунъий олмос ҳамда углерод асосидаги бошқа материаллар кашф қилинди.

Домна печларида содир бўлаётган оксидланиш-қайтарилиш жараёнлари натижаларини тўлиқ ҳисобга олишнинг кашф этилиши билан материалларнинг тузилиши ва технологик жараён ҳақидаги билим янада бойиди. Бу эса материалшунослик саноатининг янада ривожланиши-

га сабаб бўлди. Илғор мамлакатларнинг металлургия sanoatларида суяқ металлни тўхтовсиз қуйиш технологияси, пўлат ишлаб чиқаришнинг кислородли конвертер усули амалда қўлланила бошланди. Турли ферроқотишмаларни олиш, пўлат эритишнинг электрометаллургия усуллари-дан фойдаланиш пўлат сифатинигина ошириб қолмай, балки жуда кўп турдаги легирланган пўлатларни олиш имконини туғдирди. Материаллар мустаҳкамлигини оширишнинг янги усуллари кашф қилинди. Термик ишлов таъсирида пластик деформацияланиш, яъни термомеханик ишлов усули, коррозиябардош, оловбардош ҳамда махсус магнит хоссаларига эга бўлган, ҳаттоки аввалги маълум геометрик формаларини “эсида” сақлаб қола оладиган қотишмалар кашф этилди. П. А. Ребиндер (1898—1972) томонидан кашф қилинган, юза фаол (актив)лигини оширувчи моддаларнинг қаттиқ юзага молекуляр таъсир этиш механизми эса янги жадаллашган (интенсив) технологияларни яратишга асос солди.

Янги турдаги полимерларни синтез қилиш билан бир қаторда, уларни қайта ишлаш технологияси ҳам такомиллашиб борди. Айниқса, полимер материалларнинг иссиқликка чидамлилигини ошириш, хоссаларини барқарорлаштириш устида катта ишлар олиб борилди. Натижада иссиқбардош полимерларни синтез қилиш технологияси, полимерларни ҳам металл материалларга ўхшаш модификациялаш усули яратилди.

Ҳозирги илмий-техника тараққиёти пухта ва енгил материалларни ишлаб чиқаришни тақозо этади. Шунинг учун материалшунослик фани олдиға қўйилган янги вазифа турли ташкил этувчи (компонент)лардан иборат бўлган композицион материалларни ишлаб чиқаришнинг илмий асосларини яратишдан иборат. Чунки машина механизмларининг янги конструкциялари олдиға уларда қўлланилган материалнинг солиштира оғирлигини камайтириш, тезликни ошириш, ишлаб чиқариш жараёнининг экологик тозаллигини таъминлаш, конструкциянинг ишлаш муддатини ошириш каби талаблар қўйилмоқда.

Ишқаланиш жуфтлари машина ва механизмларнинг жуда муҳим қисми бўлиб, уларнинг ишлаш сифати ва муддатини белгилайди. Шу сабабли материалнинг ишқала-

ниб емирилишини камайтириш муҳим вазифадир. Кейинги пайтда шу муаммо устида икки йўналишда иш олиб борилмоқда. Биринчи йўналиш ишқаланиш коэффиценти кичик ва ейилишга чидамли янги композицион материаллар ва конструкцияларни яратиш бўлса, иккинчи йўналиш ишқаланиш жуфтларининг ишлаш жараёнида юзаларда содир бўладиган мураккаб физик-кимёвий жараёнларни илмий асосда чуқур урганишдир.

1956 йилда ишқаланиш жуфтларининг юзаларида модда молекулаларининг танлаб сараланиши натижасида ишқаланиш жуфтларидаги емирилишнинг йўқолиш имкониятини туғдирадиган кашфиёт қилинди. Бироз кейинроқ эса материалларни вакуумда радиация таъсирида бомбардимон қилиш натижасида унинг ишқаланиш коэффиценти энг паст даражада бўлишига олиб келадиган кашфиётлар ҳам қилинди. Бундай кашфиётлар, умуман олганда, машина ва механизмларнинг емирилиши натижасида кўриладиган жуда катта зарарнинг олдини олиш имкониятини беради.

Космос материалшунослигидаги муҳим масалалардан бири космос шароитида материаллар хоссаларининг барқарорлигини таъминлашдан иборатдир. Материалшуносликда пайдо бўлган янги йўналишлардан бири космос материалшунослигидир. Бу йўналишга биринчи бўлиб, рус олимлари С. П. Королёв (1906—1966) ҳамда А. Т. Туманов (1909—1976)лар асос солишди.

Шундай қилиб, материалшунослик фани ўз тарихига эга бўлди, нисбатан қисқа вақт ичида жуда кўп турдаги материаллар бунёд этилди, энг муҳими, машинасозликнинг ажралмас қисми бўлган материалшунослик дастури вужудга келди.

4. Материалшуносликдаги муаммолар

Маълумки, ҳар вақт янги техника намунасини яратиш учун ишлатиладиган материаллар илм-фаннинг энг охириги ютуқларига асосланиб танланади, яъни энг янги материаллар ишлатилади. Янги яратилган машиналар, албатта юқори ишчи босимда ишлатилиши, катта тезликларга эга бўлиши ҳамда юқори ҳароратларга чидай олиши керак. Бу

кўрсаткичлар эски намуна кўрсаткичлари билан солиштирилиб, машинанинг солиштирма қуввати белгиланади. Демак, бу кўрсаткичларнинг юқори даражада бўлиши материалшунослик фанининг ютуғидир.

Ҳозирги замон машиналари материалларни биринчи навбатда юқори мустаҳкамликка эга бўлишини тақозо қилади. XX асрнинг охирига келиб материалларнинг мустаҳкамлиги қарийб 8...10 баробар ортди. Ҳозирги кундаги энг мустаҳкам материалларнинг емирилиши учун 10^3 МПа зўриқиш (кучланиш) керак бўлади. Баъзи лаборатория ишларида қўлланиладиган монокристалларнинг емирилиши учун, ҳаттоки 10^4 МПа кучланиш талаб этилади. Ҳозирги замон фани олдидаги муаммолардан бири амалда ишлатилаётган юқори мустаҳкамликка эга бўлган материалларнинг пухталигини янада ошириш, иқтисодий жиҳатдан уларнинг таннархини камайтиришдан иборат.

Ҳаддан ташқари қаттиқ материаллар — борид, карбид, сунъий олмосларни ишлаб чиқариш ва уларни қўллаш саноатнинг имкониятига ва техник жиҳатдан такомиллашганига боғлиқ бўлади. Бундай материаллар жуда қаттиқ бўлиши билан бир қаторда, мўрт бўлганликлари сабабли, уларни қайта ишлаш бирмунча қийинчилик туғдиради. Шунинг учун бундай материалларни саноат миқёсида қайта ишлаш ҳамда қайта ишлашнинг технологик жиҳатдан такомиллашган ва самарали усулларини топиш муаммоси ҳам бор.

Материалнинг самарадорлиги машинасозликда масса ўлчов бирлигига тўғри келадиган машинанинг қуввати ёки унинг унумдорлиги билан белгиланади. Демак, машинасозликка қўйилаётган янги талаб машина ва механизмларнинг қувватини, унумдорлигини ошириш ҳамда улар учун ишлатиладиган материалларнинг пухта ва енгил бўлишига эришишдир. Масалан, кейинги пайтда олинган магний ҳамда литий қотишмалари ана шундай талабларга жавоб беради. Бундай материаллардан яратилган бир хил массали конструкцияларнинг деформацияга қаршилиги пўлат ёки титандан ясалган конструкцияларнинг қаршилигидан устун туради. Газ билан тўйинтирилган баъзи материаллар ҳозирги замон техникаси

ди. Техник ҳамда иқтисодий талабларнинг ортиб бориши ҳамда ер юзи ва ер ости хомашёларининг чегараланганлиги туфайли мустаҳкамлиги юқори бўлган янги-янги материалларни ишлаб чиқариш технологиясини топиш ва уни ўзгартириш вазифаси пайдо бўлади. Бунинг учун биринчи навбатда мавжуд материалларга ўзга қўшимчаларни қўшиш ҳамда асосий материал элементини у билан ҳеч қандай боғланишда бўлмаган зўриқтирувчи элементлар билан бойитиш, яъни композицион материалларни синтез қилиш каби муҳим аҳамиятга эга бўлган ишларни бажариш лозим. Композицион материаллар машина ва механизмларнинг узок ишлаши ҳамда техник-иқтисодий кўрсаткичларини оширибгина қолмай, балки ишлаб чиқариш жараёнини ҳам тақомиллаштириши мумкин. Аммо композицион материалларнинг қўлаб ишлаб чиқарилиши муҳим муаммоларни ҳам туғдириши мумкин. Масалан, баъзи композицион материалларни ишлаб чиқариш инсон саломатлигига катта зарар келтиради, атроф-муҳитни заҳарлайди, яъни янги экологик муаммоларни келтириб чиқаради. Лекин композицион материаллардан оқилona фойдаланиб, улардан энг катта фойда олиш материалшунослик фанининг муҳим вазифаларидан биридир.

Материалларни емирилишдан, айниқса коррозия таъсирида емирилишдан ҳимоя қилиш асосий муаммо бўлиб қолмоқда. Ишлаб чиқаришнинг кенгайиб бориши натижасида атроф-муҳитнинг кимёвий таъсири жуда ортиб кетди. Емирилган машина қисмларини тиклаш учун катта маблағ сарф этилмоқда. Материалларнинг ишлаш жараёнидаги тузилма (структура) ўзгариши қонуниятлари ҳамда унинг оқибатини ўрганиш хоссаларнинг турғунлигига эришиш имкониятини беради. Демак, ишлаш муддатини аниқроқ белгилаш имконияти яратилади.

Юқориди келтирилган қисқа маълумотлардан кўриниб турибдики, материалшунослик фанининг ютуқлари билан бир қаторда унинг олдида турган муаммолар фан-техника тараққиёти учун муҳим аҳамиятга эгадир. Машинасозлик саноати тез ривожланиб бораётган мустақил Ўзбекистон учун бу жуда муҳим. Чунки янги материалларни излаб топиш ва таъмирлашнинг янги самарали усуллари яратиш ҳозирнинг ўзидаёқ зарурдир.

Намунавий назорат саволлари

1. Хомашё, материал ва яримфабрикат тушунчаларига таъриф беринг. 2. Материалшунослик фанининг олдига қўйилган масалалар нималардан иборат? Материалнинг таркиби, тузилиши ва хоссаларига таъриф беринг. 3. Чиқиндисиз ишлаб чиқариш маҳорати деганда нимани тушунасиз? 4. Материалшуносликдаги муҳим кашфиётлардан сўзлаб беринг. 5. Материалшуносликдаги муаммоларни таърифланг.

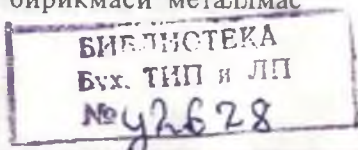
2-606.

МАТЕРИАЛЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА ТУЗИЛИШИ

Моддаларнинг таркиби ва тузилиши кенг маънодаги тушунча бўлиб, материалларнинг хоссаларини белгилайди. Материалларнинг таркиби ва тузилиши ҳақидаги билим уларни ишлатишда ва қайта ишлашда рўй бераётган жараёнларни тушунишга ва оқибат натижада материалларни техникада қўллашнинг илмий асосларини яратишга олиб келади. Материал таркибининг тузилиши материалда содир бўлаётган ҳодиса ва жараёнларнинг барқарорлиги, яъни атом ва молекула тузилиши ёки атомлар орасидаги боғланишларнинг тури каби тушунчаларни ҳам ўз ичига олади.

Д. И. Менделеевнинг элементлар даврий жадвалидаги кўпчилик элементлар металллардир. Шунинг учун ҳам материалшунослик фанида металлларга катта ўрин ажратилган.

Умуман олганда, металл ва металл бўлмаган элементлар орасидаги принципиал фарқни аниқлаш анча қийин. Бир элементнинг бир модификацияси металл бўлса, иккинчи модификацияси металл бўлмаслиги мумкин (масалан, оқ ҳамда кулранг қалай). Лекин шуни айтиш керакки, металл бирикмалари ва қотишмалари кўпинча кристалл тузилишга эга. Баъзан металл бирикмалари металлмас хоссаларига эга бўлиши мумкин (масалан, $MgSn$). Металлларнинг металмас хоссаларга эга бўлган элементлар билан ҳосил қилган бирикмаси металлмас



бирирма ёки қотишмани ҳосил қилади дейиш ҳам нотўғридир. Масалан, металлларнинг водород, углерод, азот билан ҳосил қилган бирикмалари металллик хоссаларига эгадир.

1. Металл боғланиш

Элементларнинг ўзаро таъсирлашуви натижасида ҳосил бўладиган металл ёки металл бўлмаган бирикмаларнинг ҳосил бўлиши уларнинг атомлари орасидаги боғланишга боғлиқ бўлади. Жисмларни бир бутун қилиб турувчи куч ҳам ана шу атомлар орасидаги боғланишнинг турига боғлиқдир. Металларда учрайдиган боғланишлар умумлашган эркин электронлар ҳисобига вужудга келади.

Металл боғланишларда атомлар бир-бирига яқинлашганда уларнинг ташқи қаватидаги электронлари биргина атомга тегишли бўлмасдан, балки қўшни атомларга ҳам тегишли бўлиб, қўшни атомларнинг электронлари билан бирга бутун ҳажм бўйича электрон булутларини ҳосил қилади. Бу ҳолатдаги боғланиш энергияси мусбат зарядланган ион билан манфий зарядланган электрон булути орасидаги электростатик тортишиш кучи билан белгиланади. Боғланишнинг махсус тури бўлган металл боғланиш материалнинг кўпчилик хоссаларини вужудга келтиради (масалан, юқори электр ўтказувчанлик ва иссиқлик ўтказувчанлик).

Маълумки, ҳар қандай жисм фазода энг кам потенциал энергияга эга бўлишга ҳаракат қилади, яъни маълум шароит учун мувозанатга интилади. Шунингдек, мавжуд маълум боғланишларнинг ҳамма турлари (ион боғланиш, молекуляр боғланиш, ковалент ва металл боғланиш)да ҳам атомлар бир-бирига нисбатан потенциал энергия энг кам бўлган масофани эгаллашга ҳаракат қиладилар.

Материалдаги бир хил атомларнинг кимёвий жиҳатдан фарқи бўлмаганлиги учун кўп сондаги атомлар потенциал энергия энг кам ҳолатни эгаллайди, яъни тугунларида атомлар ётган кристалл панжарани ҳосил қилади. Демак, реал материалларнинг хоссалари кристалл панжаранинг турларига боғлиқ бўлади.

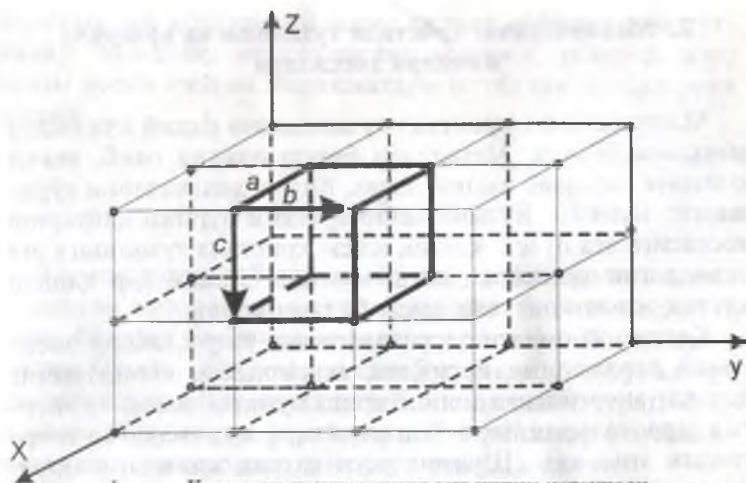
2. Металлларнинг кристалл тузилиши ва кристалл панжара хоссалари

Материалнинг кристалл тузилишини оддий кўз билан аниқласа бўлади. Металлдан бирор намуна олиб, унинг юзасини яхшилаб жилвирласак, йирик доначаларни куришимиз мумкин. Бу доначалар ёруғлик нуруни қайтариш хоссасига эга бўлса, қаттиқ жисм кристалл тузилишга эга экан деган хулосага келиш мумкин. Лекин ҳар қандай қаттиқ жисм кристалл жисм бўлавермайди.

Қаттиқ жисмдаги заррачаларнинг ўзаро таъсир энергияси даражасини ўсиқлик таъсиридаги атомларнинг ҳаракат энергиясига солиштириш мумкин. Аммо бу энергия заррачаларни парчалаш учун сарф қилинадиган энергиядан анча кам. Шунинг учун қаттиқ жисмдаги заррачаларни бир-бирига кучли таъсир этувчи заррачалар деб қаралади. Қаттиқ жисмнинг физик ва механик хоссалари ана шу заррачаларнинг жисмда ўзаро фазовий жойлашишига боғлиқ бўлади.

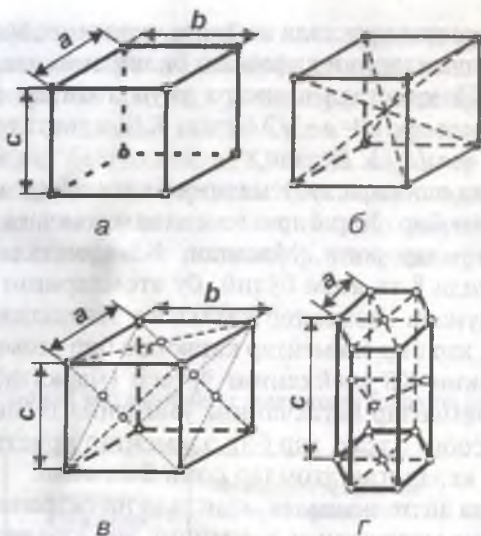
Кристалл жисм деб заррачаларнинг жисмда фазовий жойлашишининг маълум бир геометрик тартибига айтилади. Одатда бундай жойлашиш аниқ симметрияга эга бўлиш билан бир қаторда кўп қиррали жисмни эслатади. Аслида ана шу қирраларнинг кесилган жойи (жисмнинг учи) атомларнинг жойлашиш ўрнини кўрсатади. Демак, кристалллар учта ўлчамда жойлашган атомлар тартиби бўлиб, мувозанат шароитида тўғри симметрияга эга бўлган кўп қиррали жисмдир. Кристалл жисмда заррачаларнинг (атом, ион ёки молекула) уч ўлчам бўйича доимий такрорланиши (қайтарилиши) натижасида кристалл панжара (ёки кристалл тўр) ҳосил бўлади. Кристалл панжарада заррачаларнинг ўзаро тортилиши ва итарилиш мувозанати сақланади, бунда ички потенциал энергия ана шу мувозанатни сақлаш учун керак бўлган энг кам қийматга эга бўлади. Заррачаларнинг кристалл жисмдаги бундай жойлашиш тартиби юзлаб, минглаб кристалл панжара даври сифатида қайтарилиши мумкин.

Материалларнинг кристалл тузилиши ҳақидаги тушунчани элементар кристалл катак (ячейка) орқали ифодалаш осон. Элементар катак деганда атом кристалл тузилишининг энг кичик қисми тушунилиб, ана шу катакни



1-рasm. Кристалл панжаранинг энг кичик катакчаси (элементар ячейкаси).

уч ўлчам бўйича қўп марталаб қайтарилиши натижасида жисмнинг фазовий кристалл панжараси ҳосил бўлади (1-рasm). Элементар кристалл панжараларнинг қирралари, одатда a , b , c билан белгиланади ва бу кўрсаткичлар кристалл даврини белгилайди ёки қайтарилиш (узатиш) вектори деб ҳам аталади. Ана шу элементар катакчани тавсифлаш (характерлаш) учун яна координацион сон, атомлар жойлашишининг зичлик коэффициенти деган тушунчалар ҳам киритилган. Кристалл жисмларда кристалл панжаранинг турлари атомларнинг ўзаро жойлашишига қараб ҳар хил бўлади. Кристалл катакчанинг тури координацион сон тушунчаси билан ифодаланади. Кристалл панжарада энг яқин бир хил масофада турган атомлар сонига шу кристалл панжаранинг координацион сони деб аталади ва u ҳарфлар билан белгиланади. Масалан, оддий куб катакнинг координацион сони 6 га тенг бўлиб, K_6 , марказлашган куб катакчаники K_8 , ёқлари марказлашган куб катакчаники эса K_{12} , атомлари зич жойлашган гексагонал катакчаники G_{12} ва шунингдек, оддий тетрагонал катакчаники T_6 деб белгиланади. Куб катакчанинг ўлчамлари қиймати атом ўлчамлари қиймати билан белгиланади, бундай ўлчов бирлиги наномер (нм) деб аталади (1-жадвал).



2-расм. Металларда учрайдиган элементар катакча турлари:

a — оддий куб катакча; *б* — марказлашган куб катакча;
в — ёқлари марказлашган куб катакча; *г* — гексагонал куб катакча.

Кристалл панжара турлари 14 та бўлса ҳам, кўпчилик металллар учун 4 та турдаги элементар катакча, яъни оддий, марказлашган ҳамда ёқлари марказлашган куб катакчалар ва гексагонал катакча (2-расм) турлари кўп учрайди.

1-жадвал

Баъзи металлларнинг элементар катакча ўлчамлари

Атом катакчанинг тури	Металлар	Элементар панжара қирралари ўлчами, нм $1 \text{ нм} = 10^{-3} \text{ см}$
K6	<i>Fe</i>	$a=b=c$; $a=28606$
K8	<i>Cr</i>	$a=b=c$; $a=0,28788$
K12	<i>Ni</i>	$a=b=c$; $a=0,35165$
Г12	<i>Ti</i>	$a=b=0,2951$; $c=0,4679$ $c/a=1,5873$

Металларнинг кристалл панжара тури аниқ бўлса, атомларининг ўлчамларини ҳисоблаш билан аниқлаш мумкин. Масалан, К8 кристалл панжара учун атомлар орасидаги энг кичик масофа $d = a \cdot 3/2$ бўлса, К12 кристалл панжара учун эса $d = a\sqrt{2/3}$ бўлади.

Кристалл панжара хусусиятини белгилайдиган яна бир муҳим ўлчам бор. Ҳар бир элементар катакчага тўғри келадиган атомлар сони. Масалан, К8 кристалл панжара тугунчаларида 8 та атом бўлиб, бу атомларнинг ҳар бири 8 та яна шунақа элементар катакчага тегиштлидир (фазода). Демак, ҳар бир элементар катакчага бир атомгина тўғри келади. Лекин К8 ячейканинг ўртаси (маркази)да турган атом шу элементар катакчанинг ўзигагина тегишли эканлигини ҳисобга олсак, ҳар бир элементар кристалл катакчага тўғри келадиган атомлар сони 2 га тенг.

Юқорида айтганимиздек, кристалл панжаранинг ҳар хил турларининг мавжудлиги жисмнинг энг кам ички потенциал энергияга эга бўлиши, шу шароитда жисмнинг маълум бир турғунликка эга эканлигини ифодалайди. Маълум шароитда кўп элементлар К8 элементар катакча шаклида бўлади, қолган элементлар эса Г6 ёки К12 кўринишда бўлади. Лекин кристалл панжара турғун бўлган шароитда ҳарорат оралиғи ёки мавжуд шароит ўзгарса, янги турғун шароитга мос бўлган кристалл панжара тури ҳам ўзгаради. Масалан, биргина темир элементи шароитга қараб, К8 ва К12 ёки кобальт элементи К12 ва Г6 кристалл панжараларга эга бўлиши мумкин. Шунга ўхшаш марганец, қалай, титан каби кўплаб металлларни келтириш мумкинки, улар бир неча типдаги элементар катакча турига эга.

Биргина кимёвий элементнинг шароитга қараб бир неча элементар кристалл панжара турларига эга бўлиши металллардаги полиморфизм ёки аллотропик шакл ўзгариш деб аталади. Кристалл панжаранинг бир турдан иккинчи бир турга ўтиши жараёни металллардаги полиморф ўзгариш деб аталади. Металллардаги полиморф ўзгариш изотермик (ҳарорат ўзгармасдан содир бўладиган) жараён бўлиб, у иссиқлик чиқариш ёки ютиш хусусиятига эга. Бошқача қилиб айтганда полиморф ўзгаришда қайта кристалланиш содир бўлади.

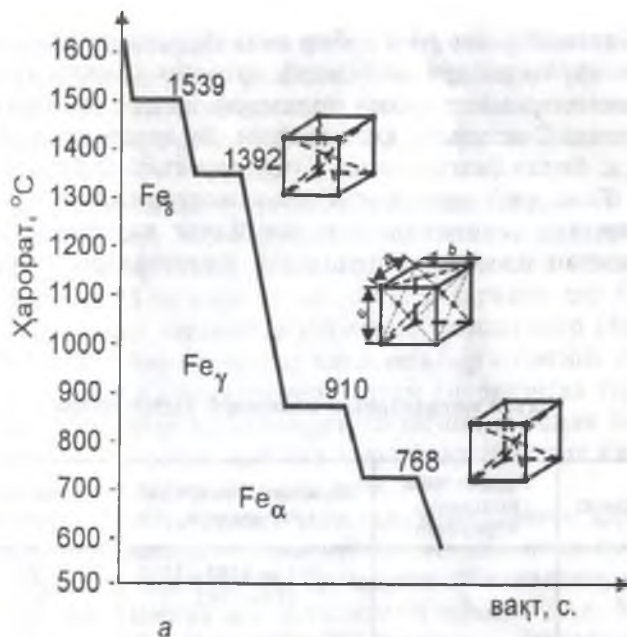
Биргина элементнинг бир неча турдаги кристалл панжара кўринишлари полиморф қаторни ташкил қилади. Элементларнинг ҳар хил полиморф шакллари мисол тариқасида 2-жадвалда келтирилган. Бу қаторлар α , β , γ , δ ва ҳ.к. билан белгиланади. Купгина металллар (Fe , Sn , Co , Mn , Ti ва ҳ.к.) полиморфизм хоссасига эгадир. 3-расмда темирнинг совитилиш ёки иситилиш жараёнида содир бўладиган изотермик полиморф ўзгаришлари кўрсатилган.

2-жадвал

Баъзи металлларнинг полиморф ўзгаришлари

Элемент	Элементнинг полиморф кўриниши	Мувозанат ҳолатнинг ҳарорат оралиғи, °C	Кристалл тузилиши
Fe	α	0—911 ва 1392—1539	K8
	β	911—1392	K12
Co	α	0—450	Г12
	β	450—1480	K12
Si	α	0—18	K6
	β	18—232	T8
Ti		0—882	Г12
		882—1660	K8
Mn	α	0—700	K6
	β	700—1079	K6
	γ	1079—1143	T12
	δ	1143—1244	K8

Энди металл полиморфизмига мисол қилиб, темир полиморфизмини кўриб чиқамиз (3-расм). Темир 1539°C дан пастда кристаллана бошлайди, натижада ҳосил бўлган кристалл панжара тури марказлашган куб катакча (K8) шаклида бўлади. Демак, 1392°C дан 1539°C гача K8 шаклида (δ — модификация) бўлади. Совиш ҳарорати 1392°C га етганда кристалл катакчанинг шакли ўзгаради (K8→K12), яъни полиморф ўзгариш рўй беради. Ҳарорат 911°C гача



б



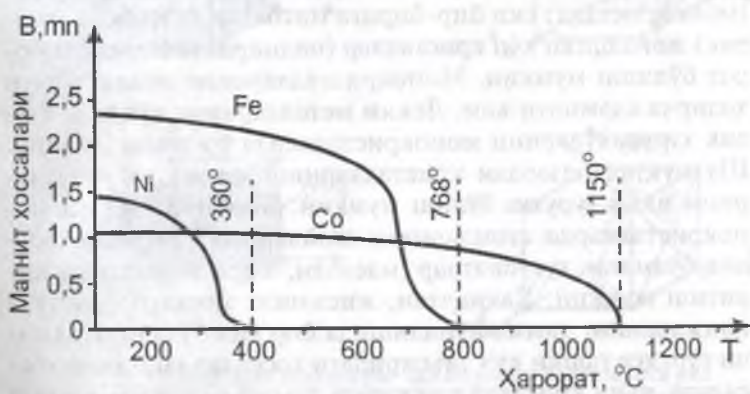
в

3-расм. Темирнинг полиморф ўзгариш эгри чизиги ва структураси: а — совитиш (иситиш) изотермаси; б — Fe_γ нинг кристалл тузилиши; в — Fe_α нинг кристалл тузилиши.

пасайганда яна полиморф ўзгариш рўй беради ($K_{12} \rightarrow K_8$). Ёқлари марказлашган (K_{12}) куб катакча яна марказлашган куб катакчага (K_8) ўтади. Ёқлари марказлашган куб катакча темирнинг γ — модификацияси дейилади, 911°C

дан кичик ҳароратда ҳосил бўлган марказлашган куб каттача эса α — модификация деб аталади. Демак, қиздирилганда ҳам худди шу жараён қайтарилади ($\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \delta$), α — ҳамда δ — модификацияларнинг куб каттачалари шакли бир хил бўлганлиги учун δ — модификацияни юқори ҳароратли α — модификация деб ҳам аталади.

Аммо 768°C да юз берадиган изотермик жараён темирдаги полиморф ўзгаришларга алоқадор эмас. Ҳарорат 768°C бўлганда, темир атомининг атрофидаги α — қобикда электронлар жуфти ҳосил бўлади, лекин кристалл панжара тури ўзгармайди (К8). Электрон қобиғидаги бундай ўзгариш темирнинг магнит хоссалари ўзгаришига олиб келади. Шунинг учун ҳам темир 768°C дан пастда ферромагнит ва 768°C дан юқори ҳароратда эса парамагнит хоссасига эга, фақат темир эмас, балки бош-қа элементлар ҳам юқори ҳароратда ўзининг магнит хоссаларини ўзгартиради (масалан, Никель, кобальт ва ҳ.к.). Элементларнинг магнит хоссаларини йўқотиш хусусиятлари изотермик жараён бўлиб, бу изотермик ҳароратлар П. Кюри нуқтаси деб ҳам аталади (4-расм). Металлардаги магнит хоссаларининг ўзгариши ферромагнит хоссаларига эга бўлган элемент атомларининг ташқи қобиғидаги электронлар тузилишининг ўзгаришини билдиради. Демак, юқори ҳароратда йўқотилган магнит хоссалари металл совитилганда яна аста-секин



4-расм. Металлардаги магнит ҳолатнинг ўзгариши.

тикланади, магнит ўзгариш изотермик ҳароратдан наstda металл яна ферромагнит хоссага эга бўлиб қолади. Полиморф ўзгариш магнит ўзгариши билан бир хил эмас ва улар бир-бирларига боғлиқ ҳам эмас. Масалан, темир учун α — модификацияга ўтиш 911°C да, магнит ўзгаришлари эса 768°C да содир бўлади, кобальт элементининг α ва β — модификацияга ўтиши эса 450°C да, магнит ўзгариши эса 1000°C дан юқорида содир бўлади.

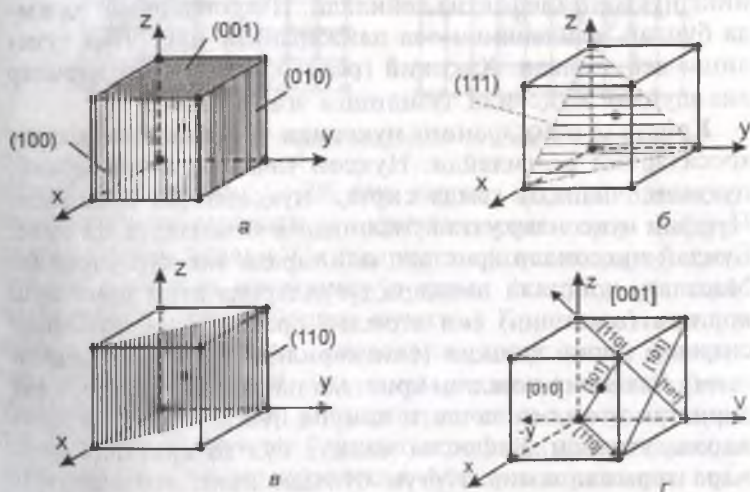
Металлардаги полиморф ўзгаришлар фақат ўзгармас ҳарорат оралиғигагина боғлиқ бўлмасдан, балки юқори босим таъсирида аллотропик шакл ўзгариши содир бўлиши мумкин. Масалан, босим остидаги полиморф ўзгаришларни техникада қўлланилишига ёрқин мисол қилиб сунъий олмос олиш жараёнини кўрсатиш мумкин. Углерод юқори атмосфера босими остида (10^4 МПа) ва юқори ҳарорат таъсирида олмос модификациясига ўтади. Сунъий олмос эса техниканинг турли жабҳаларида жуда кенг қўлланилади.

Металлардаги полиморфизм хоссаларининг кашф қилиниши металл ва қотишмалар хоссаларини бошқаришга кенг имконият яратиб беради. Металларнинг у ёки бу кристалл панжара турига эга эканлигини аниқлашда рентген нуридан фойдаланиш катта аҳамиятга эга бўлади. Металларнинг турли ҳароратдаги рентген нури тасвири орқали кристалл панжара турлари аниқланади.

Кристалл жисм биргина яхлит кристалллардан иборат (монокристалл) ёки бир-бирига нисбатан тартибсиз (хаотик) жойлашган кўп кристалллар (поликристалллар)дан иборат бўлиши мумкин. Монокристаллларнинг амалиёт учун ҳозирча аҳамияти кам. Лекин металларнинг кўпгина физик хусусиятларини монокристаллларда ўрганиш мумкин. Шу нуқтаи назардан кристаллларнинг физик хусусиятларини икки гуруҳга бўлиш мумкин. Биринчи гуруҳга монокристаллларда атомларнинг жойлашиш тартибига боғлиқ бўлмаган хусусиятлар (масалан, жисм зичлиги)ни киритиш мумкин. Ҳақиқатан, жисмнинг зичлиги кристалл панжаранинг ҳамма йўналишида бир хил бўлади. Иккинчи гуруҳга ташқи куч таъсиридаги хоссалар (механик хоссалар), яъни кристалл панжарага таъсир қайси йўналишда эканлигига боғлиқ бўлган физик хусусиятлар кирази. Турли

йўналишдаги хоссалар, масалан, эластиклик модули ёки магнит хусусияти ва бошқа хоссалар бир-бирларидан фарқ қилади. Кристалл панжара хоссаларининг йўналишига боғлиқлигига анизотропик хусусият деб аталади. Бу ерда анизотропия фақат монокристалларга тааллуқлидир. Параллел йўналишларда хоссалар бир хил бўлади. Шунинг учун координата бошидан ўтадиган параллел юзалар оиласи учун битта йўналишни кўрсатиш кифоя қилади. Бу эса тўғри чизиқ ёки юзада ётган бир нуқтани аниқлашга имкон беради, иккинчи нуқта эса ҳамма вақт координата бошида бўлади. Бу нуқта кристалл катакча ётган кристалл панжаранинг тугунини ташкил қилади ва унинг координаталари бутун сонларни ифодаловчи U , V , W ҳарфлар билан белгиланади. Бу ҳарфлар квадрат қавсда $[U, V, W]$ бўлса йўналишлар индексини, оддий қавсда (U, V, W) бўлса юзалар индексини ифодалайди. Бу индекслар орқали силжиш юзаларини аниқлаш қулай бўлади (5-расм).

Поликристаллардаги кристалл йўналишлари доначаларда мужассамлашган бўлиб, доначалар (кристаллитлар) жисмда турли тартибда (хаотик) жойлашганлиги учун анизотропик хусусиятларга эга эмас. Поликристаллар изотропик



5-расм. Монокристалларнинг анизотропик хоссаларига оид чизма (кристаллографик йўналишлар ҳамда юзалар индекслари кўрсатилган).

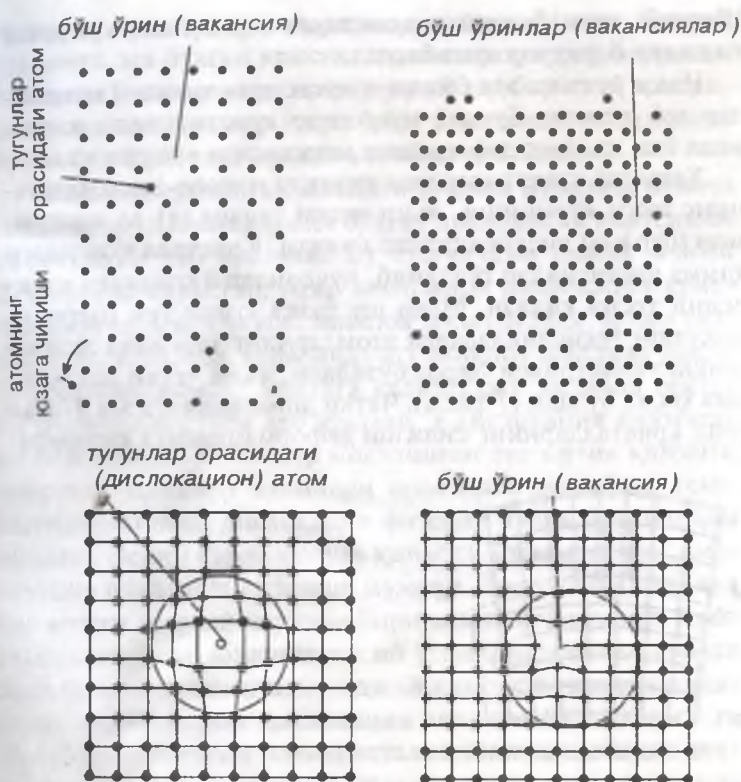
хусусиятларга эга, ҳамма йўналишда ҳам бир хил хоссаларга эга. Поликристалларда анизотроник хоссани ҳосил қилиш мумкин. Агар ташқи таъсир натижасида доначалар йўналишини маълум тартибга солинса (масалан, пластик деформация орқали), бундай поликристаллитлар ҳам анизотроник хусусиятларга эга бўлади. Техникада бу усуллардан металл ва қотишма хоссаларини бошқаришда кенг фойдаланилади.

3. Кристаллардаги нуқсонлар ва уларни аниқлаш усуллари

Идеал ҳамда реал жисмлар деган тушунчалар мавжуддир. Биз шу пайтгача кристаллардаги атомларнинг аниқ ва юқори тартибда жойлашишини кўриб ўтдик, яъни идеал кристалл панжара ҳақида фикр юритдик.

Ҳақиқатда эса кристалл панжара тугунларининг баъзиларида атом бўлмасдан, тугун бўш қолиши ҳам мумкин ёки кристалл панжара атомлари орасига ортиқча атом жойлашиши ҳам мумкин. Бундай ҳол кристалл панжаранинг нуқсони (дефекти) дейилади. Нуқсонларнинг ҳажмда бундай жойлашиши эса панжаранинг нуқсонли тузилиши деб аталади. Ҳақиқий (реал) кристалл панжаралар ана шундай нуқсонли тузилишга эга (6-расм).

Кристалл панжаранинг нуқсонли тузилиши жисмнинг хоссаларини белгилайди. Нуқсон ўлчамларга эга бўлиб, нуқтали, чизиқли ҳамда сиртқи нуқсонларга бўлинади. Нуқтали нуқсонлар учта йўналишдаги ўлчамларга эга эмас. Бундай нуқсонлар кристалл панжарада энг кўп учрайди. Масалан, кристалл панжара тугунларида атом ўрни бўш қолиши (вакансия) ёки атомлар орасига ўзга атомнинг сиқилиб кириб қолиши (сингдирилган ёки дислокацион атом). Вакансия исталган кристалл панжарада учраса, сингдирилган атом эса зичлиги камроқ бўлган кристалл панжарада учрайди. Вакансия мавжуд бўлган кристалл панжара термодинамик турғун бўлади, яъни атомларнинг иссиқлик таъсиридаги ҳаракати мобайнида йўқ бўлиб ва яна пайдо бўлиб туради. Масалан, суюқланиш ҳарорати-га яқин ҳароратдаги вакансия атомларининг миқдори



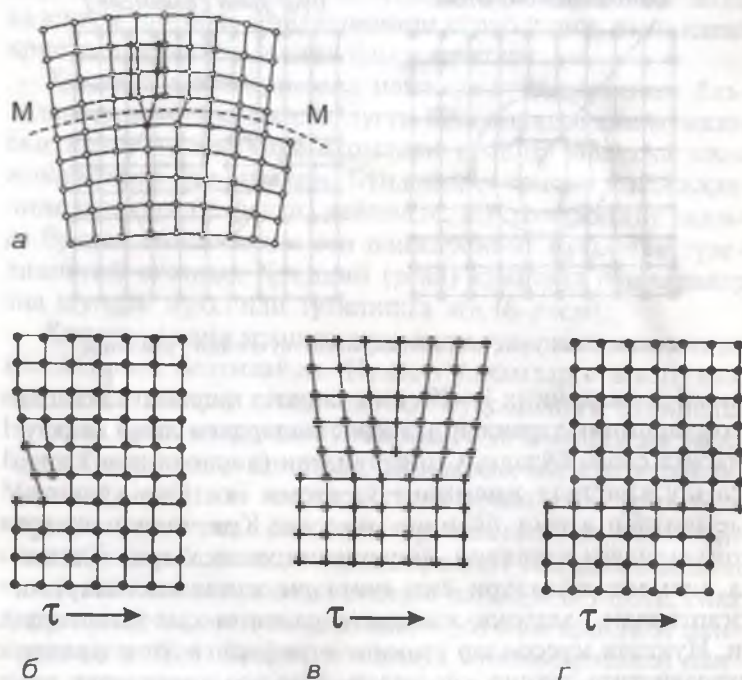
6-расм. Реал кристалл панжаранинг нуқсонли тузилиши.

ҳамма атомларнинг 1—2% ини ташкил қилади. Вакансия атомларининг ҳаракати эса кристаллардаги атом диффузиясига сабаб бўлади. Сингдирилган (дислокацион) атом эса шу кристалл жисмнинг ўз атоми ёки ўзга қўшимча элементлар атоми бўлиши мумкин. Кристалл панжара атомларидаги вакансия, дислокация ҳодисалари, қўшимча элемент атомлари ёки ионлари жисм хоссаларини ўзгартиради, ҳаттоки жисмнинг рангини ҳам ўзгартиради. Нуқтали нуқсонлар ўзининг атрофидаги атомларнинг мувозанатига таъсир кўрсатади. Маълум даражадаги потенциал ички кучланишларни (кристалл панжаранинг бузилиши натижасида) вужудга келтиради. Лекин умумий ҳажмда бундай ички кучланишлар ўз мувозанатига эга.

Шунинг учун бундай нуқсонларга эга бўлган кристалл панжара барқарор ҳисобланади.

Икки ўлчамга эга бўлган нуқсонларга чизиқли нуқсонлар деб аталади. Бундай нуқсонлар кристалланиш жараёнида ёки пластик деформация натижасида вужудга келади.

Ҳақиқий кристаллардаги чизиқли нуқсон-дислокациянинг икки кўриниши, яъни четки (чизиқли) ва винтсимон (бурама) дислокациялар мавжуд. Кристалл юзасидаги ҳамма вакансиялар туғлианиб, нуқсонлар йиғиндиси ҳалқасини ҳосил қилади. Мана шу ҳалқа юзига тик (перпендикуляр) текисликлардаги атомларнинг тартибли жойлашиши геометрияси бироз бузилади, яъни четки дислокация ҳосил бўлади (7-расм). Четки дислокацияга эга бўлган реал кристалларнинг силжиш деформациясига қаршили-



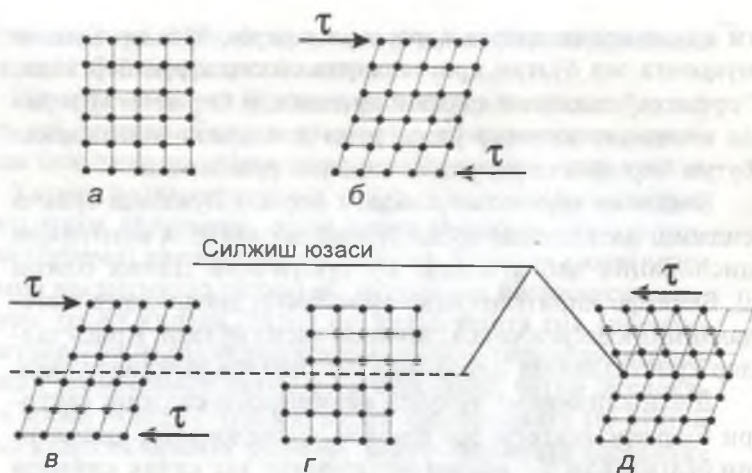
7-расм. Чизиқли нуқсонларнинг ҳосил бўлишини тушунтирувчи чизма: а — дислокациянинг жойлашиши (ММ — силжиш юзаси); б, в, г — дислокациянинг юзага чиқиш давлари.

ги идеал кристалларга қараганда камроқ бўлади. Бундай нуқсонга эга бўлган кристалларда силжиш рўй берганда, “ортиқча” вакансия ҳалқаси орқали ҳар бир атом қаторида кетма-кет атомлар ўзаро ўрин алмашиши натижасида бутун бир кристалл орқали силжиш рўй беради.

Вакансия тўпланган жойдаги нормал йўналиш бўйича силжиш натижасида ҳосил бўлган дислокация винтсимон дислокация деб аталади. Бу тушунчани Дания олими Д. Бюргерс киритган. Агар винтсимон дислокация кристаллнинг юзасига чиқса, зинапоя ҳосил бўлади. Кристаллар кристалланиш жараёнида шу зинапоя шаклида ўсади.

Дислокациянинг вужудга келишидаги силжиш вектори Бюргерс вектори деб аталади, у дислокация қиймати-ни белгилайди. Бу вектор модулининг энг кичик қиймати кристалл панжара атомлари орасидаги масофага тенг. Умуман олганда, дислокация фазовий чизиқ бўлиши ҳам мумкин. Лекин бунда модуль қиймати ўзгармаса ҳам, дислокация йўналиши ўзгариши мумкин. Дислокациянинг яна бир муҳим хусусиятларидан бири унинг зичлигидир. Кристаллнинг 1 см^2 юзасини кесиб ўтган дислокация сонига дислокация зичлиги дейилади. Жуда секин кристаллланётган жисмларнинг дислокация зичлиги $10^2 - 10^4 \text{ см}^{-2}$ га тенг. Мувозанатдаги поликристаллларнинг дислокация зичлиги $10^6 - 10^7 \text{ см}^{-2}$ га етади. Жуда катта пластик деформация натижасида дислокация зичлиги $10^8 - 10^{12} \text{ см}^{-2}$ га етиши мумкин.

Кристалл жисмдаги дислокация кристалл панжаранинг қийшайишига сабаб бўлади, яъни катта дислокацияли кристалл жисмнинг ички потенциал энергияси кичик дислокацияли кристалл жисмнинг ички потенциал энергиясидан катта бўлади. Ташқи куч таъсирида кристалл панжарадаги дислокация ҳаракатга келади. Бир хил йўналишга эга бўлган дислокациялар бир-бирига қўшилиб, катта энергияни ҳосил қилади. Турли йўналишдаги дислокациялар бир-бири билан ейишиб кетади. Демак, шундай вазият бўлиши мумкинки, пластик деформация ошиши билан дислокация ҳаракати тўхтайдди, яъни дислокация зичлиги маълум критик қийматга эга бўлади. Ташқи куч таъсири-



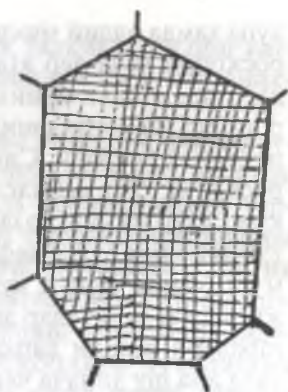
8-расм. Силжиш кучи (τ) таъсирида кристалл панжаранинг эластик ва пластик деформацияланиши; — мувозанат ҳолат; б — куч таъсирида кристалл панжаранинг эластик қийшайиши; в, д — пластик деформация таъсирида бир атом масофага силжиши, д — қўш кристалли дислокацион кучиш.

ни янада ошириш металлда дарз ҳосил бўлишига сабаб бўлади, яъни жисм емирилади.

Агар кристалл жисмдаги нуқсонлар уч ўлчамга эга бўлса, бундай нуқсонлар сиртқи нуқсонлар деб аталади. Бундай нуқсонларга кристаллларнинг йўналиши ўзгарган чегаралар, хусусан ўхшаш, яъни қўш кристалллар киради. Ўхшаш кристалллар бутун бир кристаллнинг бир қисми бўлиб, кристалл тузилиши иккинчи бир қисмнинг акси бўлади. Бошқача қилиб айтганда, яхлит бир кристаллнинг симметрия ўқи бўйлаб синишидир. Бунда бир-бирининг аксини ифода этадиган ва синиш юзасига эга бўлган 2 та кристалл ҳосил бўлади (8-расм). Бу кристалллардаги синиш симметриясини қўш кристалллар юзаси деб аталади. Қўш кристалллар кристалланиш, деформация ёки деформацияланган металлارни юмшатиш натижасида ҳосил бўлиши мумкин. Қўш кристалллардаги ўхшаш атомлар вектор бирлигига тенг бўлган масофага эмас, балки ундан анча кам масофага силжиганда дислокация рўй беради.

Сиртқи нуқсонларга дислокациянинг ейилиб, тўпла-ниб қолган жойи (дислокация девори) ҳам киради. Элек-

трон микроскоп ёрдамида ана шундай деворлар яққол куринади. Сиртқи ва текисликдаги нуқсонлар умуман олганда блоклар, доначалар чегараларини ҳосил қилади. Ҳақиқий поликристалллар жуда кўп доначалар (кристаллитлардан) иборат. Бу доначаларнинг ўлчами юздан бир миллиметрдан тортиб, бир неча миллиметргача бўлиши мумкин. Ҳар бир донача (кристаллит) яхлит бир кристалл эмас, балки у ҳам ўз навбатида парчалардан (фрагмент) ёки бўлақчалар (блок) дан иборат бўлиб, уларнинг ўлчамлари доначанинг ўлчамидан 100, ҳатто 1000 марта кичикдир (9-расм).



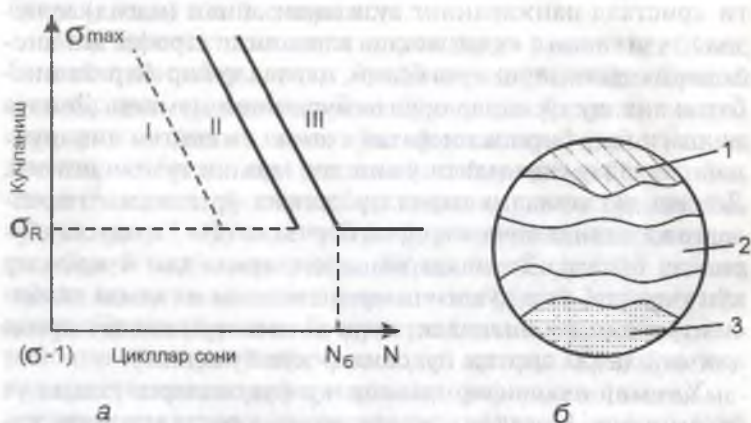
9-расм.
Кристаллларнинг ички тузилиши (чизмаси).

Агар поликристалларда доначалар бир-бирига нисбатан тартибсиз ҳамда катта бурчак остида жойлашган бўлса, парчалар бир-бирига нисбатан кичик бурчак (бир неча секунддан, то бир неча минутгача) остида жойлашган. Ҳар бир парча ичидаги кристалл панжаранинг тузилиши айнан (идеал) кристалл тузилишига яқин, лекин парчанинг атрофи эса дислокация тўсиқларига эга бўлиб, парчалар бир-бирига нисбатан ана шу тўсиқлар орқали бурилиши мумкин. Донача ичидаги бир-бирига нисбатан озгина силжиган ана шундай парчалар йиғиндиси ўзига хос мозаик тузилишга эга. Донача четларидаги парчалар донача ўртасидаги парчаларга қараганда анча каттароқ бурчакка (1—5 градусга) бурилган бўлади. Доначаларнинг четларида ҳам нуқсонлар кўп учрайди, ўзга қўшимчаларда дислокация ҳамда вакансия тўпламлари йиғилади, яъни доначаларнинг четларида ҳажмий ҳамда сиртқи нуқсонлар кўп бўлади.

Ҳажмий нуқсонлар ҳам сиртқи нуқсонларга ўхшаш уч ўлчамга эга. Масалан, металлларнинг кристалланиши жараёнида вужудга келадиган ғовак, дарз ва чўкмалар бунга мисол бўлади.

Жисм доначалари ўлчамлари ёки уларнинг бир-бирига нисбатан жойлашиш тартибини лупа ёрдамида аниқлаш мумкин. Металл тузилишидаги нуқсонларни оддий кўз,

луна ҳамда оддий микроскоп орқали текшириш усули макроскопик усул деб аталади. Макронуқсонларга ғоваклар, дарзлар, доначаларнинг чегаралари, металл юзасидаги бирор-бир элементларнинг йиғилиб қолиши (ликвация) каби нуқсонлар киради. Синиш юзаларини текшириш ҳам макроскопик усул дейилса, у уч хил кўринишда бўлиши мумкин. Агар синиш юзаси ғадир-будур бўлса, материалдан тайёрланган буюм деформацияга учрамайди, яъни металл мўрт бўлиб, ташқи куч таъсирида синади. Агар кристалл жисмдаги доначалар деформацияланмаса, яъни донача чегаралари етарли даражада нуқсонларга эга бўлса, кристалл ана шу донача чегаралари бўйлаб емирилади. Синиш юзаси ойна каби ялтироқ бўлса, юзада синиш маркази бўлади, ана шу марказдан синиш толаларининг йўналиши кўриниб туради, бундай синиш қовушоқ синиш деб аталади. Бундай синиш жуда катта деформация натижасида вужудга келади. Чарчаш натижасида синиш ҳам худди шундай содир бўлади. Синиш юзасининг бир парча жойи бўртиб чиқиб, қолган жойлари текис, толасимон, ялтироқ бўлса, аралаш синиш деб аталади (10-расм).



10-расм. Чарчаш натижасида емирилиш диаграммаси (а) ва унга мос келадиган емирилиш тури (б): I — нуқсонларнинг йиғилиш даври; II — дарзнинг ўсиши; III — синишнинг охири даври; I — дарзнинг ҳосил бўлиш маркази; 2 — чарчашдан емирилиш (толасимон емирилиш); 3 — жараённинг охири (охири емирилиш даври).

Синиш юзаларини макроскопик тадқиқот қилиш катта аҳамиятга эга, чунки бунда синиш сабабларини аниқлаш мумкин.

Кристалл жисмларнинг ундан ҳам нозикроқ нуқсон тузилишларини аниқлаш микроскопик усул деб аталади. Микроскопик тадқиқот натижасида доначаларнинг таркиби, доначалардаги нуқсонлардан тортиб, дислокацион тузилишларни ҳам аниқлаш мумкин. Бунинг учун оптик микроскоплар (1500—2000 марта катта қилиб кўрсатадиган) ёки электрон микроскоплардан фойдаланилади. Ҳозирги замон электрон микроскоплари тузилишни 100 000 мартадан 500 000 мартагача катта қилиб кўрсата олади. Элементар кристалл панжаранинг турлари рентген нури таъсирида ўрганилади. Кристалл панжарадаги атомларнинг жойлашиши, улардаги нуқсонлар, дислокация, парчаларнинг жойлашишини рентгенография, нейтронография каби усуллар ёрдамида ўрганиш мумкин.

4. Кристалл жисм атомлари диффузияси

Юқорида кристалл жисмнинг тузилишида вакансия, дислокацион атомлар ҳароратнинг кўтарилиши билан ўз ўринларини алмаштиришларини кўрсатиб ўтган эдик. Кристалл жисмдаги бу ҳаракат диффузиянинг асосини ташкил қилади. Техникада қўлланилаётган муҳим жараёнлар, кўпгина табиий, сунъий кимёвий реакцияларнинг асосини диффузия ташкил қилади.

Жисмнинг газ, суюқ ҳамда қаттиқ ҳолларида қўлланиладиган диффузия қонунлари Фик қонунлари деб аталади. Биринчи қонун газлардаги заррачаларнинг тартибсиз ҳаракатига асосланади, яъни бу қонун асосида диффузия йўналишини аниқлаш қийин. Агар аралашманинг таркиби, яъни концентрацияси бир хил бўлмаса диффузия маълум бир йўналишга эга бўлади. Масалан, заррачалар катта концентрацияли аралашмадан кичик концентрацияли массага диффузияланади. Фикнинг биринчи қонунига биноан бундай оқим қуйидагича ифодаланади:

$$dM = -D \frac{dp}{dx} \cdot dS \cdot dt$$

Агар масса бир компонентли бўлиб, икки қисмдан иборат бўлса, биринчи қисмнинг зичлиги иккинчи қисмга қараганда каттароқ деб қараш керак. Бу ҳолда модда зичлик катта қисмдан зичлик кичик қисмга диффузияланади. Агар шартли равишда жисмни икки компонентли система деб қаралса, минус ишора dt вақт давомида dS фазовий юзадан dX йўналишга перпендикуляр бўлган йўналишда биринчи компонентнинг юқори концентрацияли қисмдан кичик концентрацияли қисмга диффузияланишини ифодалайди. Бу тенгламада $\frac{dp}{dX}$ зичлик градиенти; D — диффузия коэффициенти.

Куб катакчали поликристалларда диффузия коэффициенти диффузия йўналишига боғлиқ эмас, яъни у изотропик хоссага эга. Бошқа ҳолларда диффузия коэффициенти тажриба ўтказиш усули билан аниқланади.

Кристалл жисмдаги диффузия жараёни механизми ҳар хил бўлиши мумкин. Ўз-ўзидан диффузияланишда ҳам, қўшимча заррачалар диффузиясида ҳам вакансия механизми муҳимдир. Бу ҳолда диффузиянинг энг оддий куриниши атомнинг қўшни вакансияга кўчишидир, натижада янги вакансия ҳосил бўлади. Диффузион алмашиш механизми кристалл катакча ёқлари ўртасида кичик ўлчамли атомлар жойлашган ҳолларда рўй беради. Масалан, кристалл панжарасида углерод, азот, бор атомлари жойлашган темирда диффузиянинг шу механизми кузатилади.

Маълумки, диффузия тезлиги кристалл панжарадаги вакансия ёки дислокацион атомларнинг зичлигига боғлиқ. Ҳароратнинг ошиши билан бу нуқсонларнинг зичлиги ҳам ортиб боради. Шунинг учун ҳам диффузия тезлиги ҳароратга боғлиқдир.

Реал кристалл жисмлар нуқсонларнинг нотекис жойлашиши билан характерланади. Реал кристалларнинг тузилиши диффузия механизмига катта таъсир қилади. Энг муҳими диффузион жараёнлар кристалл жисмларда рўй берадиган фаза ўзгаришининг сабабчиларидир.

Намунавий назорат саволлари

1. Жисмларни бир бутун қилиб турувчи ички кучларни таърифланг.
2. Металлардаги боғланиш турини тушунтириб беринг.
3. Кристалл панжара хоссалари деганда нимани тушунасиз ва

у нима учун керак? 4. Металлардаги полиморфизм қотишмаларда ҳам сақланиб қоладими? 5. Металлардаги магнит ҳолатининг ўзгариши полиморфизмдан фарқ қиладими? 6. Моно- ва поликристалл тузилишлар нима билан фарқланади? 7. Металлардаги анизотропияни қандай тушунасиш? 8. Реал жисм тузилиши идеал тузилишдан қандай фарқ қилади? 9. Жисмдаги нуқсонларни таърифланг. 10. Дислокация ҳақида нималарни биласиз? 11. Газ ва қаттиқ жисмдаги диффузиялар қандай фарқ қилади? 12. Диффузия тезлиги нималарга боғлиқ?

3-б о б.

КРИСТАЛЛАНИШ ВА ЭРИШ НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

Маълумки, термодинамик барқарорлик туфайли жисмлар уч ҳолатда: қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатида бўлиши мумкин. Барқарорликнинг бундай турларни атом ёки молекулаларнинг ҳолати, яъни жисмнинг эркинлик даражаси билан белгиланади ва ҳажм ўзгариши орқали рўй беради. Агар барқарорлик тури ўзгариши кичикроқ ҳажм ўзгариши билан содир бўладиган бўлса, жисмнинг эркинлик даражаси (термодинамик потенциали)ни қуйидаги тенглама орқали аниқласа бўлади:

$$F = E - TS,$$

бу ерда F — барқарорлик шарти, яъни жисм ўзининг энг кам эркинлик энергияси даражасига интилади, E — жисмнинг тула ички энергияси, T — абсолют ҳарорат ва S — энтропия.

Жисмнинг эркинлик энергияси (F) кинетик ва потенциал энергия йиғиндисидан иборат. Бундай энергияни эркин энергия деб қаралишига сабаб, изотермик жараёнларда у иссиқлик ёки ишга айланган ҳолда қаралаётган тизим (система)дан ажралиб чиқади.

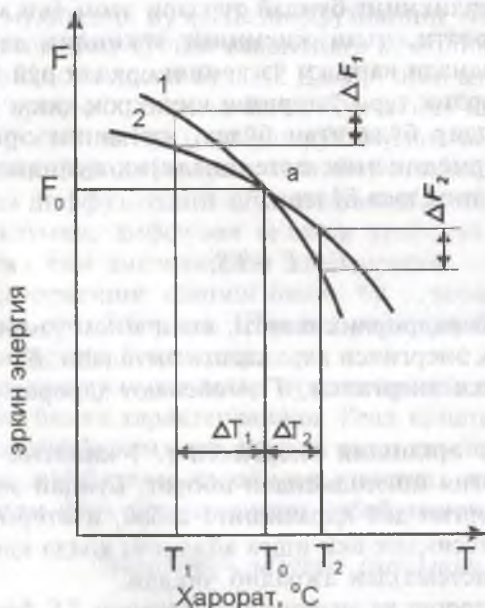
Абсолют ҳарорат ва энтропия купайтмаси TS боғланган энергия ёки энтропия омили деб аталади. Хуллас, эркинлик энергияси F билан, энтропия S термодинамик тизим-

нинг барқарорлик шarti деб қаралади. Барқарорликка эришганда F энг кам қийматга, S эса мумкин бўлган катта қийматга эга бўлади. Шунинг учун T қанча катта бўлса, $E-TS$ айирма шунча кичик бўлади, жисм ҳолатининг ўзгариши ҳароратга боғлиқ бўлгани учун тадқиқотларда “Энергия — ҳарорат” эгри чизиқларидан кенг фойдаланилади.

1. Бир жинсли (гомоген) кристалланиш

Кристалланиш деганда суюқ жисмнинг қаттиқ (кристалл) ҳолатга ўтиш жараёни ва аксинча, суюқланиш (эриш) деганда эса қаттиқ жисмнинг суюқ ҳолатга ўтиш жараёни тушунилади.

Суюқ жисмнинг ҳарорати оширилса, тизимнинг эркинлик даражаси камайиб, барқарор ҳолатга келади ва аксинча, ҳароратини пасайтириб борсак, унинг термодинамик потенциали ортиб боради. Кристалл (қаттиқ) жисмда ҳам худди шундай ҳолатни кузатиш мумкин (11-расм).



11-расм. Металлар учун тизимнинг эркин энергиясини ҳароратга боғлиқлиги (1 — суюқ ва 2 — кристалл металлар учун).

Лекин суюқ ва қаттиқ ҳолатларда жисм тенг эркин энергияга эга бўлса ("а" нуқта) жисм ҳолатлари ўзаро мувозанатда бўлади. Шу нуқтага тўғри келадиган ҳарорат мувозанат (идеал эриш ёки кристалланиш) ҳарорати, энергия ва мувозанатдаги соф эркинлик энергияси деб айтилади (T_0 ва F_0). Кристалланиш (ёки эриш) содир бўлиши учун жисмнинг соф эркин энергияси ΔF_1 (ёки ΔF_2) га ўзгариши керак. Бунинг учун ташқи таъсир (масалан, ҳарорат, босим) ўзгариши керак.

11-расмда оддий шароитда (нормал босимда) бир таркибли (гомоген) жисм учун ҳарорат таъсири кўрсатилган. Масалан, кристалланиш жараёни бориши учун ΔF_1 ва эриш жараёни бориши учун эса ΔF_2 га тенг бўлган энергия ўзгариши содир бўлиши керак. Бошқача қилиб айтганда, кристалланишнинг бориши учун суюқ жисмнинг соф эркин энергияси қаттиқ жисмникига қараганда ΔF_1 га кам бўлиши керак.

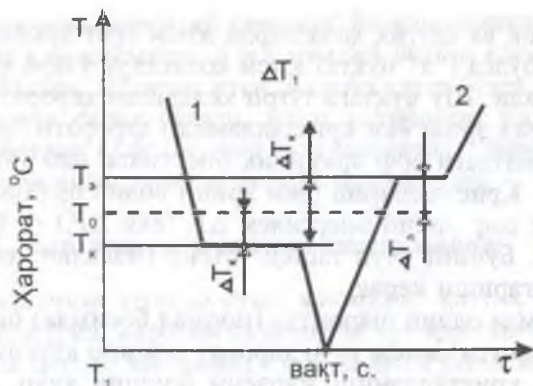
Демак, металлнинг мувозанат ҳарорати (T_0) дан паст ҳароратда ўта совитилгандагина кристалланиш жараёни бориши мумкин экан. Мувозанат ҳарорати (T_0) билан кристалланиш (T_k) ҳарорати орасидаги фарққа ўта совитиш (ёки ўта иситиш) (ΔT) даражаси деб айтилади:

$$\Delta T = T_0 - T_k.$$

Ўта совитиш (ΔT)нинг миқдорига қараб кристалланиш (эриш) тезлигини бошқариш мумкин. Кристалланиш жараёнида тизимнинг ортиқча энергияси яширин иссиқлик ҳолатида ажралиб чиқади, зеро кристалланиш ўзидаги иссиқликнинг ажралиши, эриш эса иссиқликнинг ютиши билан тавсифланади. Совиш (эриш) эгри чизиқлардаги горизонтал қисмлар шундан далолат беради (12-расм). Кристалланиш жараёнида ажралаётган яширин иссиқлик, совитишда йўқотилаётган иссиқлик билан мувозанатлашади.

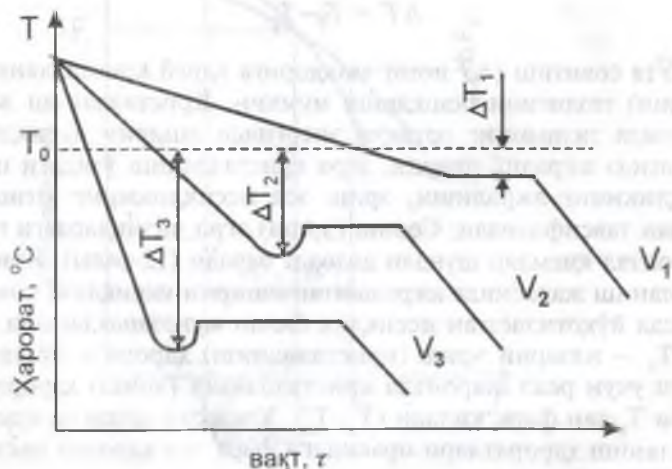
T_0 — назарий эриш (кристалланиш) ҳарорати бўлганлиги учун реал шароитда кристалланиш (эриш) ҳароратлари T_0 дан фарқ қилади (T_s , T_k). Ҳақиқий эриш ва кристалланиш ҳароратлари орасидаги фарқ эса ҳарорат гистерезиси деб аталади:

$$\Delta T_g = T_s - T_k$$



12-расм. Тоза металллар учун совитиш (1) ва иситиш (2) эгри чизиқлари.

Сон жиҳатдан унинг миқдори иситиш (совитиш) тезлигига, металлнинг табиати ва тозаллигига боғлиқ бўлади. Ўзга қушимчалардан яхши тозаланган металлни $0,5 T_1$ гача ўта совитиш мумкин, лекин ўта совитиш даражаси одатда $10\text{--}30^\circ\text{C}$ дан ошмайди. Совиш тезлиги ортиб борган сари ўта совиш даражаси ҳам катталашиб боради (13-расм). Шунингдек, совиш эгри чизигининг горизонтал қисми қисқ-

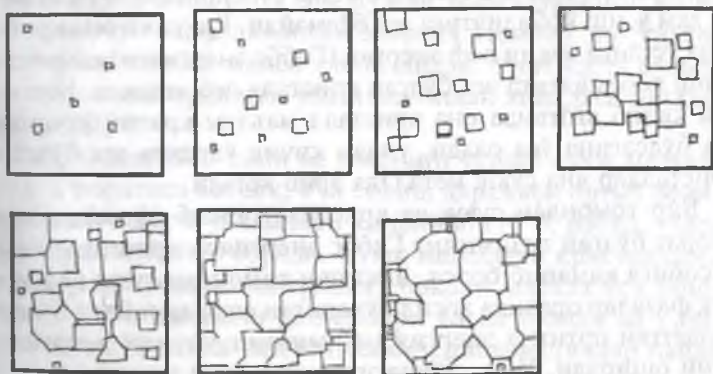


13-расм. Ҳар хил тезликдаги совитиш эгри чизиқлари ($V_1 < V_2 < V_3$).

ариб, унинг олдида чуқурликлар ҳосил бўлади. Яъни, кристалланишда ҳосил бўладиган иссиқлик миқдори ҳам ортиб, совитишда йўқотилаётган иссиқликка нисбатан илгарилаб боради. Совиш тезлиги жуда катта бўлганда ичдан чиқаётган ва совишда йўқотилаётган ҳароратлар мувозанати йўқолиши ҳам мумкин. Бундай шароитда суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтишда кристалл жисм ўрнига аморф қаттиқ жисм ҳосил бўлади.

Изланишлар шуни кўрсатадики, ўта совиш рўй берганда суюқ жисмдан бирданига кристалл жисм ҳосил бўлмайди. Кристалланиш жараёни икки мустақил жараёндан иборат бўлиб, аввал кристалл марказлари (она кристаллар) ҳосил бўлади. Иккинчи жараёнда эса ҳосил бўлган марказлар ўса бошлайди. Яъни кристалланаётган металл майда-йирик кристалл доначалар ва суюқ қисмдан иборат бўлади (14-расм).

Эриш ҳароратидан пастда ўта совитилганда суюқ жисмнинг кўп қисмида барқарор ўсиш қобилиятига эга бўлган кристалл марказлари — она кристаллар ҳосил бўлади. Кристалл марказларининг ҳосил бўлишининг бошланғич даврида, марказлар эркин ўсганлиги учун уларнинг шакли тўғри бурчакли бўлади. Ўсишнинг маълум даврида кристаллар бир-бирига тегиб эркин ўсишга ҳалақит беради, тўғри шакл бузилади ва натижада доначалар кўп қиррали бўлиб қола-



14-расм. Металлларнинг кристалланишини тушунтирувчи чизма.

ди. Бундай бир жинсли кристалл булакчаларига кристаллитлар ёки кристалл доначалари деб аталади.

Она кристаллларнинг ҳосил бўлишида суюқ металлнинг кристалланиш олдидан унинг заррачаларини фазодаги атом-молекуляр ҳолатини тасаввур этиш зарур. Бунда газ ҳолатига ўхшаш суюқ ҳолатда атомлар тартибсиз ҳаракатда эмас, лекин кристалл жисмлардаги каби аниқ юқори тартибли жойлашган ҳам эмас. Суюқ металлларда атомларнинг ҳолати қуйи тартибда бўлади. Баъзи бир жойларда атомлар тартибсиз бўлса, баъзи бир жойларда атомлар тўплами қуйи тартибли жойлашади. Лекин иссиқлик ҳаракати туфайли ана шу қуйи тартибли жойланишлар беқарор бўлади: маълум вақтдан кейин бузилиб ўрнига янги тартибли жойлашиш ҳосил бўлиб, бу воқеа тез-тез қайтарилиб туради. Совиш ортиб борган сари микроҳажмдаги қуйи тартибли жойланишлар барқарорроқ бўлиб боради, қайта бузилиш тобора камроқ содир бўлади.

Эриш ҳароратига яқин ҳароратларда микроҳажмдаги қуйи тартибли фазаларнинг таркиблари (мукаммаллиги) ҳар хил бўлиб, баъзиларининг тартибли жойланиши худди кристалл жисмдаги каби мукаммал бўлади. Бундай таркибларга эга бўлган микрофазалар флуктацияни ҳосил қилади, яъни суюқ жисмда номукаммаллик вужудга келади. Агар металл ўзга қўшимчалардан тозаланган бўлса, бундай флуктацияларнинг йириги она кристалллар (кристалл марказлари)ни ҳосил қилади. Лекин бундай она кристалллар ҳаммаси ҳам ўсиш қобилиятига эга бўлмайди. Қайсики она кристалл ўсганда эркин соф энергия (Гиббс энергияси) камайса, ўсиш қобилиятига эга бўлган кристалл деб аталади. Бошқача қилиб айтганда она кристалл маълум критик ўлчамга эга бўлсагина ўса олади, ундан кичик ўлчамга эга бўлган кристалллар яна суюқ металлда эриб кетади.

Бир томондан суюқ ва кристалл таркиб (фаза)лардан иборат бўлган тизимнинг Гиббс энергияси кристалланиш ҳисобига камайиб борса, иккинчи томондан суюқ ва қаттиқ фазалар орасида ҳосил бўладиган сирт ҳисобига ҳосил бўлаётган ортиқча энергия тизимининг умумий энергиясини оширади. Уни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\Delta F_{\text{умум}} = -V \cdot \Delta F_v + \delta \sigma$$

Бу ерда V — кристалл маркази (она кристалл) ҳажми; ΔF_v — тизимдаги суюқ ва қаттиқ фазалар энергияларининг фарқи (11-расмга қаранг); S — ҳосил бўлган кристалл фазаларнинг умумий юзаси; σ — кристалл ва суюқ жисм чегарасидаги сирт таранглиги.

Агар кристалл маркази радиуси R бўлган шар шаклида деб қарасак, $V\Delta F_v$ — нинг узгариши R^3 га ва $\delta\sigma$ эса R^2 га пропорционал бўлади.

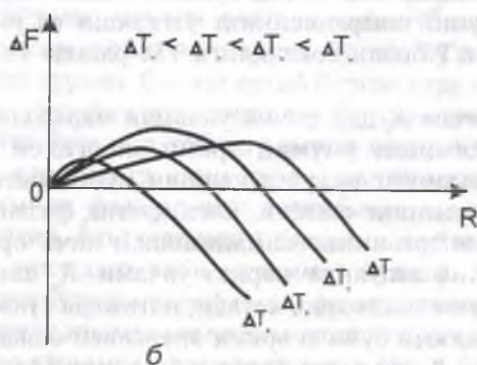
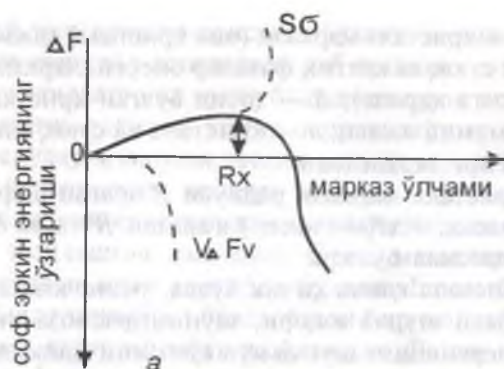
Она кристалл қанча кичик бўлса, унинг юзасини ҳажмига нисбати шунча юқори, шунингдек юза энергияси умумий энергиянинг шунча кўп қисмини ташкил қилади.

Она кристаллларнинг ҳосил бўлиши билан боғлиқ металлнинг умумий энергиясининг узгариши ва уни R ва ўта совитиш ΔT билан боғлиқлиги 15а-расмда келтирилган.

Критик ўлчам R_x дан кичик ўлчамли марказлар ҳосил бўлганда тизимнинг умумий эркин энергияси ортади, чунки янги юзанинг вужудга келиши муносабати билан Гиббс энергиясининг ошиши, янги қаттиқ фазани ҳосил бўлишидаги энергиянинг камайишидан анча ортиқдир. Бошқача қилиб айтганда марказ ўлчами R_x дан кичик бўлганда, у суюқликда эриб кетади, натижада суюқ металлнинг бутун ҳажми бўйича эркин энергияси ошади. Марказ ўлчамлари R_x дан катта бўлса, у барқарор бўлади, чунки тизимнинг ҳажм бўйича умумий эркин энергияси камайди. Чегаравий R_x га эга бўлган марказларнинг ҳосил бўлиши учун сарфланадиган энергия атомлар энергиясининг флуктуацияси манба ҳисобланади. Унча катта бўлмаган ΔT да уни қуйидаги тенглама билан аниқласа бўлади: $R_x = 4\sigma / \Delta T_v$.

Марказларнинг сони ва уларнинг ўсиши суюқ металлнинг ҳароратига боғлиқ. Ўта совитиш даражаси ортиб бориши билан донacha ўлчамлари кичрайиб (15-б, расм), уларнинг сони кўпайиб боради. Суюқ металлдан кристалларга атомларни кўчиши (миграция) орқали марказ ўса бошлайди. Яъни кристалл қатламлари ҳосил бўлади ва у билан боғлиқ чизиқли ёки винтсимон дислокациялар пайдо бўлади.

Кристалланишда она кристалларининг сони ва уларнинг ўсиш тезлиги амалиёт учун муҳим аҳамиятга эга.

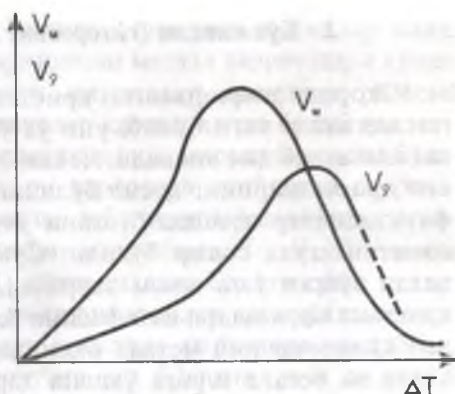


15-расм. Кристалл марказини ҳосил бўлишида соф эркин энергиянинг ўзгаришини марказ ўлчами R (а) ва ўта совитиш даражаси ΔT (б)га боғлиқлиги.

Нисбатан бир хил ўзгармас шароит учун қотган металлнинг тузилишига вақтга нисбатан ҳажм бирлигида ҳосил бўлган марказларнинг сони (МС) ҳамда ана шу марказларни ўсиш тезлиги (ЎТ) катта таъсир кўрсатади. Марказ сони қанча кўп бўлса ва улар қанча тез ўсса кристалланиш шунча тез боради.

Мувозанат ҳароратида (T_0) марказлар сони ва ўсиш тезлиги нолга тенг (16-расм). Ўта совитиш даражаси ортиб бориши билан марказ сонининг ҳосил бўлиш тезлиги ($V_{МС}$) ва унинг ўсиши ортиб ($V_{ЎТ}$) маълум ўта совитишда максимум қийматга эга бўлади. Ўта совитишни янада кўпайтирсак, энди марказ сони ҳам, ўсиш тезлиги ҳам камаяди.

Лекин ўта совиш ортиши билан марказларнинг ҳосил бўлиш тезлиги, ўсиш тезлигига қараганда катта бўлади. Марказ сони ва уни ўсиш тезлиги тизимнинг соф эркинлик энергиясининг ўзгариши билан боғлиқ. Ўта совиш даражаси ортиб бориши билан тизимнинг суюқ ва кристалл ташкил этувчиларининг соф



16-расм. Марказни ҳосил бўлиш тезлиги V_k ва ўсиш тезлиги V_r ни ўта совитишга боғлиқлиги чизмаси.

эркин энергиялари орасидаги фарқ ΔF_v ортиб боради, бу эса кристалланишни тезлаштиради, яъни марказ сонини ва уларнинг ўсишини тезлаштиради (16-расм). Лекин марказларнинг ҳосил бўлиши ва ўсиши учун суюқ металлда атомларнинг диффузион кўчиши талаб этилади. Шунинг учун ўта совишда (яъни кичик ҳароратда) кристалл ҳосил бўлиши ва ўсиши учун ΔF_v ета олмайди. Натижада суюқ металл қотгандан кейин аморф ҳолат ҳосил бўлиши керак.

Марказларнинг ҳосил бўлиш тезлиги катта бўлгандан кейин, марказларни ўсиши чегараланади, натижада қотгандан кейин металл доначалари (кристаллари) ҳам кичик бўлади.

Ўта совиш даражаси ΔT катта бўлмаса (кичик совитиш тезлигида) марказлар сони табиийки кам бўлади, натижада қотган металл тузилишида доначалар (кристаллар) ҳам йирик бўлади. Демак ўта совитиш даражасини ўзгартириш орқали қотган металл доначаларининг ўлчамларини бошқариш мумкин экан.

Металл тузилишидаги доначалар катта-кичиклиги (донадорлиги)нинг механик хоссаларига катта таъсири бор. Агар металл майда донадорликка эга бўлса, айниқса қовушқоқлиги ва пластиклиги юқори бўлади. Донадорлик фақат ўта совитиш даражасигагина боғлиқ эмас. Донадорликка қиздириш ҳарорати, суюқ металлни қуйиш усули, унинг кимёвий таркиби, айниқса ўзга қўшимчалар тури ва миқдори катта таъсир кўрсатади.

2. Кўпжинсли (гетероген) кристалланиш

Юқорида таърифланган кристалланиш жараёни гомоген металллар учун бўлиб, уни ўз-ўзидан бирламчи кристалланиш деб ҳам аташади. Лекин бундай кристалланишда она кристалларнинг ҳосил бўлиши фазовий ва энергетик флуктуациялар асосида бўлгани учун нисбатан катта ўта совитишларда содир бўлади. Суюқ металлдаги қаттиқ ҳолда бўлган ўзга жисм заррачалари ҳам қўшимча она кристалл марказлари вазифасини бажариши мумкин. Бундай қўшимчаларга металл оксидлари металлмас материаллар ва бошқа шунга ўхшаш ҳар хил жисмлар бўлиб, амалда улар металлларда бўлади. Агар ўзга қўшимча кристалл жисм бўлиб, унинг элементар кристалл панжараси асосий металлникига ўхшаш бўлса (ёки параметрларидаги фарқ 9% дан ошмаса), унда бундай қўшимчаларнинг қаттиқ заррачалари тайёр марказ вазифасини бажаради.

Структураларнинг бундай ўхшашлиги марказнинг критик ўлчамини кенгайтиради, марказнинг ҳосил бўлиши учун сарфланадиган иш ҳам суюқ металлни қота бошлаши учун ўз-ўзидан кристалланишга қараганда камроқ даражадаги ўта совитишда содир бўлади. Бошқача қилиб айтганда бундай кристалланиш энергетик жиҳатдан қулай.

Суюқ металлда қаттиқ ҳолдаги ўзга қўшимчалар қанча майда ва кўп бўлса, кристалл марказлари ҳам кўп ҳосил бўлади, ҳосил бўлган структура ҳам майда доначали бўлади. Марказларни бундай ҳосил бўлишига кўп жинсли ёки гетероген кристалланиш деб аталади, баъзан ўз-ўзидан бўлмаган тайёр марказлар орқали бирламчи кристалланиш деб ҳам аталади.

Соф кристалланишга қараганда тайёр марказлар орқали кристалланишни бошқариш осон бўлгани учун, материалшунослик амалиётида модификациялаш кенг қўлланилади. Модификациялаш деганда, суюқ металлга атайлаб, кристалланишни бошқариш учун ўзга қўшимчаларни қўшиш тушунилади. Бундай қўшимчалар материалнинг кимёвий хоссаларига сезиларли таъсир кўрсатмаган ҳолда, доначаларни майдалаш орқали механик хоссаларни яхшилайди. Масалан, модификациялаш орқали магний қотишмаларининг доначасини 10 баравар майдалаштириш мум-

кин. Куймакорликда масалан, шаклдор куймалар олиш суюқ металлга қийин эрийдиган металл заррачалари қўшилади (металл карбидлари, нитридлар, оксидлар). Асосий суюқ металлда бу заррачалар қаттиқ ҳолда бўлиб (олдинроқ кристалланади) унинг атрофида марказлар ҳосил бўлади. Бундай қаттиқ юқори ҳароратда эрийдиган заррачаларга I тур модификаторлар деб аталади. Амалиётда кўпинча алюминийни модификациялашда Ti, V, Zn ҳамда пулатларда — Al, V, Ti қўлланилади. Баъзан суюқ металлда эрийдиган II тур модификаторлар ҳам қўлланилади. Бундай модификаторлар кристалл марказида танлаб адсорбцияланиш қобилиятига эга бўлгани учун ажралиш юзасидаги сирт таранглигини камайтиради ва натижада кристаллнинг ўсишига тўсик солади. Масалан, алюминий қотишмаларига II тур модификаторлар сифатида Li, Na, K элементлар қўлланилади, пулатлар учун — B, V, Cr ва ҳ.к.

3. Пулат куймасининг тузилиши

Қотиш натижасида ҳосил бўлган кристаллар шакли совишти тезлиги, ўзга қўшимчалар табиати ва миқдорига қараб ҳар хил бўлиши мумкин. Табиийки, нормал шароитда ҳам куйма кўндаланг кесими бўйича совиш тезлиги бир хил бўлмаганлиги учун, кристалларнинг шакли ҳам ҳар хил бўлибгина қолмай, иссиқликнинг йўналишига ҳам боғлиқ бўлади. Бунинг натижасида куймаларда кўпинча тармоқли кристаллар — дендрит (дарахтсимон)лар ҳосил бўлади (17-а, расм). Унда кристаллар кристаллографик йўналишлар бўйича ўсади. Атом зичлиги катта бўлган юзага перпендикуляр йўналишда ўсадиган кристалларга биринчи тартибли ўқ (I), ён тарафдаги тармоқларга иккинчи тартибли ўқ (II), шу тармоққа перпендикуляр тармоқ йўналиши учинчи тартиб ўқ (III) ва ҳ.к. бўлиб, натижада дарахтсимон шаклдаги кристалл (дендрит) ҳосил бўлади.

Бир пайтни ўзида кўп кристалларнинг ўсиши дендритларнинг тўғри шаклини бузади, шохобчалар эгилади. Дендритлар ўсишдан тўхтаганда уларнинг ўқлари орасидаги бўшлиқ ҳам тўлдирилади ва кристаллит дончаси ҳосил бўлади. Дончалар чегараларида ўзга қўшимчалар, ҳар хил



17-расм. Дендрит кристалл (а) ва унинг ўсишини тушунтирувчи чизма (б).

ифлосликлар, суюқликда эриган газлар тупланиб қолади. Бундай ҳолат кристалл жисмнинг мўртлигини оширади.

Совишнинг кинетик кўрсаткичларига қараб ҳосил бўлаётган кристалларнинг шакли ҳам ҳар хил бўлади. Кўпинча бундай шакл устунсимон ва баъзида илдизсимон шаклда бўлади. Уни қолипда совитилган қуйма намуналарда аниқ кўриш мумкин. Металлнинг кристалланиши қолип деворларига тегиб турган юзалардан бошланади. Бу ерда совиш тезлигининг катталиги майда илдизсимон шаклдаги кристалларнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Четки кристалларнинг қалинлиги ортиб бориши билан суюқликдан иссиқликни чиқариш (иссиқликни ўтиши) қийинлашади, натижада иссиқликнинг йўналиши бўйича устунсимон кристаллитлар ҳосил бўлади. Қуйманинг ўртасида совиш тезлиги кам бўлганлиги учун йирик дендрит кристаллар ҳосил бўлади. Уларнинг йўналиши ҳар хил бўлади (17-б расмга қаранг). Ўрта қисмда кристалланиш тезлиги суюқ қотишманинг ҳароратига, ўзга қўшимчалар табиати ва миқдорига ҳамда модификациялаш мақсадида қўшилган қўшимчаларга боғлиқ бўлади. Қаттиқ (қийин эрийдиган) модификаторлар тўғри ўқли майда кристаллитларнинг кўпайишига олиб келади. Юқори тозалikka эга бўлган металллар ўта қиздирилган бўлса, кристалланишда йирик тўғри ўқли кристаллар ҳосил бўлмайди. Бун-

дай қуймаларда устунсимон кристаллитлар ҳосил бўлиб, уларни транскристаллар деб аталади. Транскристаллит структурага эга бўлган қуймалар юқори зичликка эга бўлади, лекин юқорида қайд қилганимиздек, кристаллар орасига ўзга қўшимчаларнинг йиғилиб қолиши металл мустаҳкамлигини камайтириб, мўртликка олиб келади. Бу эса босим остида ишлаганда дарзларни ҳосил қилади.

Қолипдаги металл кристалланиб бўлгандан кейин қуйманинг устки қисмида чўкма ҳосил бўлади (совуганда ҳажм камайиши ҳисобига). Бу чўкма атрофидаги металл жуда кўп нуқсонларга эга (ғоваклар, тешикчалар, ўзга қўшимчалар ва ҳ.к.). Шунинг учун қуймага механик ишлов беришдан олдин, унинг шу қисмини олиб ташлашади.

Намунавий назорат саволлари

1. Суюқ ҳолат газ ва қаттиқ ҳолатдан қандай фарқ қилади?
2. Ўта совитиш (ўта иситиш)ни таърифланг. Кристалланиш қандай шароитда бошланади?
3. Ўз-ўзидан буладиган бирламчи кристалланишни тушунтириб беринг.
4. Кристалланиш жараёнини қандай бошқариш мумкин?
5. Нима учун суюқ металл модификацияланади?

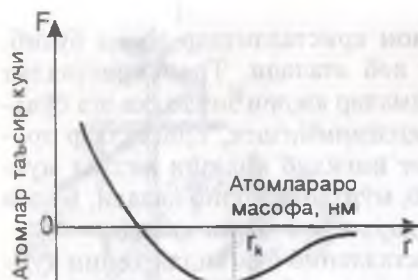
4-б о б.

МАТЕРИАЛЛАРНИНГ ХОССАЛАРИ

Материалларнинг структурасига боғлиқ бўлган хоссаларини, яъни механик, электромагнит ва иссиқ ўтказувчанлик хоссалари ҳамда коррозияга қаршилиқ кўрсатиш хусусиятлари ва технологик хоссалари уларнинг техник тавсифномасини, амалда қўллаш доирасини белгилайди.

1. Материалларнинг механик хоссалари

Материалларнинг механик хоссалари уларнинг ташқи механик куч таъсирига қаршилиқ кўрсатишидир. Механик хоссалар чўзилиш, эгилиш, сиқилиш ва буралишга чидамлилиги, қаттиқлиги ёки ишқаланишдаги ейилишга бардошлилиги каби кўрсаткичлар билан ифодаланади. Бу



18-расм. Атомлар орасидаги ўзаро таъсир кучининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги.

хусусиятлар синаётган намунанинг шаклига, ўлчамларига, намуна юзасининг микрогеометриясига, баъзан эса синаш ҳарорати ҳамда синаш шароитига боғлиқ бўлади.

Материалнинг мустаҳкамлиги деб, унинг ташқи куч таъсирида емирилишга қаршилиқ кўрсатишига айтилади.

Назарий мустаҳкамлик кристалл панжарадаги атомларнинг ўзаро таъсир кучига боғлиқ. Атомларнинг ўзаро таъсир кучи атомлар орасидаги масофага боғлиқ бўлиб, критик масофа (r_0)га тўғри келадиган тортишиш кучи F_m билан ифодаланади (18-расм). Агар ташқи кучнинг жисмга таъсир этувчи қисми F дан ошиб кетса, атомлар бир-биридан ажралиши керак. Назарий мустаҳкамлик F_m кучга мос келадиган σ_m кучланиш билан ифодаланади. Агар ташқи куч таъсиридаги кучланиш σ дан катта бўлса, аввал дарз ҳосил бўлади, сўнгра ташқи таъсир давом эттирилаверса, емирилиш содир бўлади.

Лекин реал материаллар маълум нуқсонли тузилишга эга, шунинг учун реал мустаҳкамлик тузилишнинг мустаҳкамлиги деб аталади. Материалларнинг синаш усули билан аниқланган мустаҳкамлик чегараси назарий мустаҳкамлик қийматидан анча камдир. Бунинг сабаби материалларнинг нуқсонли тузилиши бўлиб, ташқи куч натижасида вужудга келаётган ички кучланиш кўндаланг кесим юзаси бўйлаб нотекис тақсимланади. Шунинг учун реал материалларнинг мустаҳкамлиги техникада қайд қилинган мустаҳкамлик бўлиб, у чўзилиш диаграммасидаги қонуниятга эга (19-расм).

Ташқи куч натижасида материал ўз шаклини ўзгартиради, яъни жисмнинг аввалги ўлчамлари ўзгаради. Бундай ҳолга шакл ўзгариши ёки деформация деб аталади. Деформациянинг хусусияти сифатида нисбий чўзилиш ёки нисбий сиқилиш даражаси қабул қилинган. Нисбий чўзи-

лиш ва сиқилишда жисм ҳажми ўзгармайди, лекин унинг ўлчамлари ўзгаради. Масалан, намуна цилиндр шаклида бўлса, ўрта қисми диаметрининг кичраиши ҳисобига унинг узунлиги ортади. Бундай деформация нисбий узайиш даражаси билан ифодаланади: $\delta = (l - l_0) / l_0$. Бу ерда l_0 ҳамда l намунанинг аввалги ва тажриба вақтида узилишдан олдинги узунлигидир.



19-расм. Металлар учун чўзиш диаграммасининг умумий қўриниши.

Техникада материалларнинг мустақамлигини ифодалаш учун унинг чўзилишдаги хусусиятлари қабул қилинган. Агар ташқи куч таъсиридан сўнг намуна ўз ҳолатига тўла қайтиб келса, яъни $l = l_0$ бўлса, қолдиқ деформация бўлмайди ва кучланишнинг бу чегараси эластиклик деб аталади. Бу чегарада деформация ташқи кучга пропорционал бўлади. Бу пропорционалликнинг бузилиш нуқтаси тажриба орқали аниқланади. Агар бу чегара 0,05% қолдиқ деформация натижасида аниқланса, бу деформацияга тўғри келадиган эластиклик чегарасидаги кучланиш $\sigma_{эл} = \sigma_{0,05}$ бўлади. Демак, пропорционаллик чегараси эластиклик чегарасини ифодаловчи назарий тушунча бўлиб, бу чегарани реал белгилловчи қиймат эса $\sigma_{0,05}$ билан ифодаланади.

Гук қонунига асосан материалларнинг эластиклик хусусияти идеал эластик материал хусусияти билан бир хилдир. Деформация билан ташқи куч таъсири чизиқли боғланишдадир:

$$\sigma = E \delta.$$

Бу ерда E — пропорционаллик коэффициенти ёки бўйлама эластиклик модули (Юнг модули). Ўзаро перпендикуляр юзаларда уринма куч таъсирида соф силжиш рўй беради:

$$\tau = G \gamma$$

Бу ерда τ — уринма кучланиш; G — силжиш модули; γ — силжиш бурчаги.

Агар жисмга ҳамма тарафдан бир хил куч таъсир этса, жисмдаги ҳажм ўзгариши шакл ўзгаришсиз рўй беради, кучланиш эса қуйидагича ифодаланади:

$$\sigma = k\beta.$$

Бу ерда k — ҳажм эластиклиги модули (ташқи куч таъсирида шакл ўзгармасдан ҳажм ўзгаришига қаршилиқни тавсифлайди); β — нисбий ҳажм ўзгариши.

Материалнинг чўзилиш хусусиятини ўрганишда бўйлама нисбий чўзилиш (δ) ҳамда куч йўналишига перпендикуляр йўналишдаги нисбий сиқилиш (ϵ) аниқланади. Нисбий сиқилишнинг нисбий узайишга нисбати Пуассон коэффициентини деб аталади:

$$\mu = |\epsilon| : \delta$$

Юқорида келтирилган коэффициентлар ўртасида қуйидаги боғланиш мавжуддир:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)} \quad \text{ёки} \quad G = \frac{E}{2(1-\mu)}$$

Қўпчилик металллар учун Пуассон коэффициентини 0,3 га тенг. Бошқа материаллар учун 0,5 га тенг, унда $G=E/3$ ҳамда $K=\infty$ бўлади. Анизотроп материаллар учун E ва G ўзгармас бўлиб, Пуассон коэффициентини эса таъсир қилаётган куч йўналишига боғлиқ бўлади.

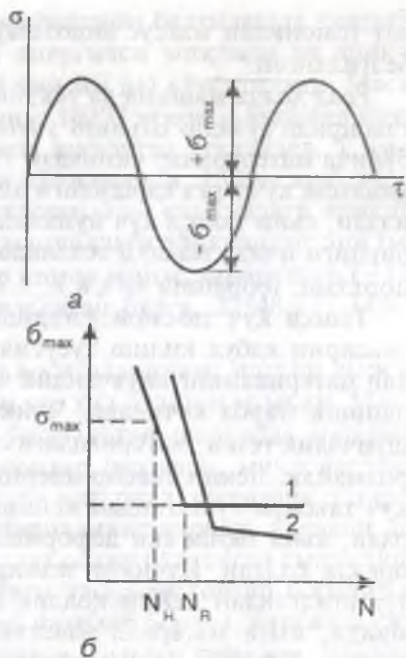
Эмирилишдан олдин пластик деформацияланиш хусусиятига эга бўлган материалларда оқиш рўй беради. Оқувчанлик чегараси пластик материалларнинг асосий хусусиятларидан бири ҳисобланади. Чўзилиш эгри чизигидан кўриниб турибдики (19-расм), кучнинг қиймати маълум чегарада ортиб бориши билан нисбий чўзилиш миқдори ўзгармайди. Бундай шароитда материал оқади, шу оралиқдаги кучланишга оқувчанлик чегараси σ_{∞} деб аталади. Қўпчилик материалларда эса оқувчанлик чегараси катта эмас, нисбий узайишнинг 0,2% ни ташкил қилади ва шартли равишда $\sigma_{0,2}$ деб белгиланади. Агар ташқи куч таъсири

давом эттирилаверса, материал яна деформацияланади. Емирилиш дақиқасида ўлчанган куч қийматига тўғри келадиган кучланишга мустаҳкамлик чегараси деб аталади. Чўзилиш диаграммасидаги энг катта кучнинг намуна (синашдан олдинги) кўндаланг кесимига нисбати материалнинг шартли мустаҳкамлик чегараси деб аталади ва шу кучга тўғри келадиган энг катта кучланишга материалнинг вақтинчалик қаршилик кўрсатиш кучланиши деб аталади (σ_n). Бу кўрсаткич материалнинг мустаҳкамлик қиймати-ни белгилайди. Металл ва бошқа материаллар чўзилганда узилишдан аввал намуна кўндаланг кесимида узилиш бў-

йинчаси ҳосил бўлади, яъни кўндаланг кесим юзаси камаяди. Намунанинг ҳақиқий мустаҳкамлик чегараси синалаётган материалга таъсир этаётган кучнинг ҳосил бўлган бўйиннинг кўндаланг кесимига нисбати билан ўлчанади.

Жуда кичик пластик деформацияга эга бўлган материалларнинг мустаҳкамлик чегараси жисмнинг асосий механик хоссаларини белгилайди. Бундай материалларда узилиш бўйинчаси ҳосил бўлмайди.

Материалларнинг хоссаларини солиштириш мақсадида чўзилиш, сиқилиш ва бураб синаш каби хоссаларга дав-



20-расм. Кучланишнинг даврий ўзгариш графиги (а) ва чарчаш эгри чизиклари (б): 1— пулатдан ясалган намуна; 2— мисдан ясалган намуна; (s_{max} — циклда қайд қилинган энг катта кучланиш; N — куч таъсиридаги даврлар сони).

лат томонидан махсус андозалар (стандарт) — ГОСТ лар белгиланган.*

Реал ҳолда машина ва ускуна воситалари динамик куч таъсирида бўлади. Шунинг учун давлат стандарти (ГОСТ) бўйича материаллар синовдан ўтказилади. Материалнинг динамик кучларга қаршилиги динамик мустаҳкамлик дейилади, яъни ташқи куч йўналиши ва таъсир нуқтаси вақт бирлиги ичида маълум тезликда ўзгаради (зарбий таъсир, портлаш, тебраниш ва ҳ.к.).

Ташқи куч таъсири ўзгариши билан материалнинг у таъсирни қабул қилиш хусусиятлари ҳам ўзгаради. Бундай материалнинг оқувчанлик чегарасидаги деформацияланиши бироз кечикади. Чунки кучнинг таъсир этиши шунчалик тезки, материалдаги силжиш рўй беришга улгуролмайди. Лекин таъсир инерция энергиясига эга бўлиб, куч таъсири тўхтагандан кейингина деформация рўй беради, яъни оқиш ёки деформацияланиш куч таъсиридан орқада қолади. Кучнинг таъсири тез бўлса, куч таъсири тўхтатилгандан кейин қолдиқ деформация қайд қилинмайди, яъни материал эластиклик хусусиятини намоён қилади. Шунинг учун динамик ва статик куч таъсирида ҳам пластик материаллар мўртликдан емирилади.

Материалларнинг динамик таъсирга чидамлилиги улардан конструкциялар ясашда муҳим аҳамиятга эга. Материалларга динамик куч таъсирида деформациянинг кечикиши зарбий қовушоқлик деб аталади ва у миқдор жиҳатдан ҳар бир ўлчов бирлигидаги юзани зарб билан эгиб емириш учун сарф бўлган энергия билан ўлчанади. Маълум намуналарда ташқи таъсирдан ҳосил бўлган кучланишни бир жойга йиғиш учун ҳар хил шаклда ариқчалар қилинади. Намуналар ўлчамлари ва ариқчалар (сунъий дарзлар) шакли махсус давлат стандарти бўйича тайёрланади.

Зарбий қовушоқлик КС (ёки a_n) билан белгиланади. Давлат стандарти (9454—78 ГОСТ ва 4647—80 ГОСТ) га кўра намунадаги ариқчалар шакли уч хил, яъни U, V ва Т шаклда бўлади.

* ГОСТ — Умумиттифоқ давлат андозалари (собиқ Иттифоқда шундай андозалар бўлган).

Зарбий қовушоқлик қийматини белгилашда тажриба ўтказиш ҳарорати, зарб энергияси миқдори ва ариқча ўлчамлари (чуқурлиги ва эни мм да) кўрсатилади. Масалан, КСТ⁺¹⁰⁰ 150/3/7,5. Бунда 100°С тажриба ўтказиш ҳарорати. Агар тажриба нормал шароитда ўтказилса, Т нинг тепасига синаш ҳарорати қўйилмайди, 150 — зарб энергияси, яъни ишнинг миқдори; 3 — намунадаги ариқчанинг чуқурлиги ва 7,5 — намунадаги ариқчанинг эни (мм ларда кўрсатилган). Агар синов минус ҳароратлар (–100 — –269°С) да олиб бориладиган бўлса, 22848—77 ГОСТ дан фойдаланиш керак.

Машина ва ускуналар воситаларининг ишлаш шароитидаги ташқи куч таъсири ҳар хил бўлиши мумкин. Масалан, куч йўналиши тез ўзгарадиган шароитда материал тузилишида маълум нуқсонлар (масалан, микродарзлар) йиғилиб боради. Натижада материал хоссалари ўзгариб боради. Бу жараёни материалнинг чарчаш жараёни деб аталади. Чарчаш натижасида содир бўладиган емирилишда дислокациянинг зичлиги ўзгаради (ортиб боради) ва маълум жойларда вакансия йиғилиб боради, натижада силжиш чизиқлари ҳосил бўлади. Бундан ташқари, намунанинг сирт юзларида микроўзгаришлар рўй бериб, айрим жойларда зичлик ўзгариши мумкин. Нуқсонларнинг ортиб бориши натижасида микродарз ўлчамлари ҳам ортиб боради ва статик емирилишга бўлган қаршилик камаяди. Материалнинг чарчаш натижасида синишга қаршилик кўрсатиш хусусияти чидамлилиқ деб аталади.

Чарчаш жараёнининг миқдор кўрсаткичи сифатида ташқи куч таъсир йўналишининг маълум муддатда ўзгариш сони (цикли) ёки ташқи кучнинг таъсир этиш вақти қабул қилинган. Бу жараён материалда ички нуқсонларнинг бориши билан куч йўналишининг ўзгариш (цикл) сони ўртасидаги боғланишни ифодалайди.

Таъсир этаётган куч йўналишининг ўзгариш даврида (бир циклда) кучланиш мусбат қийматдан аста-секин манфий қийматга ўзгаради (20-а-расм). Энг катта мусбат қиймат ва энг кичик манфий қийматларнинг материалда дарз пайдо бўлгунча қайтарилиш сони синашнинг бирлик ифодаси (N_d) қилиб олинади. Синалаётган материал чидамлилиги 20-б расмда кўрсатилганидек, синаш бирли-

ги сони (N_R) максимал кучланиш σ_A га тўғри келади. Агар материалнинг ишлаш даври синаш бирлиги сони (N_R) дан кичик бўлса ($N_N < N_R$), материалнинг чегараланган чидамлилигини кўрсатувчи максимал кучланишнинг қиймати σ_{RN} эса σ_R дан катта бўлади.

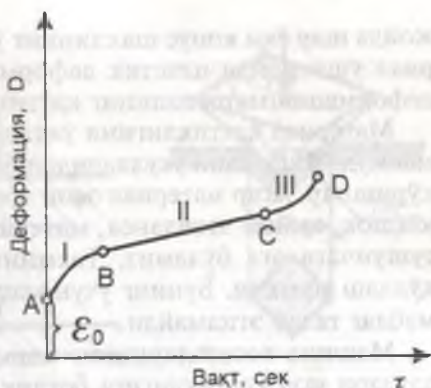
Материалнинг чарчаши максимал кучланишга, куч йўналишининг ўзгариш тезлигига, синалаётган намуна ўлчамлари ва юза микрогеометриясига ҳам боғлиқ. Материалнинг чидамлилигини аниқлаш узоқ вақтни талаб қилади. Шунинг учун давлат стандарти (19533—74 ГОСТ) га биноан чидамликни босқичма-босқич куч таъсир эттириш усулида қисқа вақт ичида аниқлаш таклиф этилади.

Материалнинг маълум ҳароратда узоқ вақт куч таъсирига чидамлилиги унинг узоқ муддатга чидамлилигини билдиради.

Бу хусусиятнинг сон қиймати материалга бериладиган максимал кучланиш (материалнинг емирилмасдан чидайдиган максимал кучланиши)га тенг. Масалан, материалнинг узоқ муддатга чидамлилиги адабиётда $\sigma_{1000}^{700} = 120$ МПа деб берилади. Демак, бу материал 700°C ҳароратда 1000 соат давомида 120 МПа максимал кучланишга емирилмасдан чидай олади. Лекин максимал кучланишнинг қиймати (120 МПа), шу ҳароратда аниқланган вақтинчалик қаршилиқ кўрсатиш кучланиши (σ_0) дан кичикдир. Материалнинг узоқ муддатга чидамлилиги синаш давлат стандарти (10145—81 ГОСТ) билан белгиланади.

Материал ташқи куч таъсирида емирилишдан олдин чўзилиб деформацияланади. Қанча кучланиш катта бўлса, узилиш учун шунча кам вақт кетади. Ўз ўқи бўйича осиб қўйилган тўсин бир қанча вақт ўтгандан кейин бўйига чўзилади. Демак, материалнинг бир хил ўзгармас куч таъсирида деформацияланишига қовушоқ оқувчанлик дейилади. Ҳар қандай қаттиқ жисм қайта ишлаш ёки ишлатилиш жараёнида озми-кўпми салқийди. Бу эса машина ва ускуналарнинг ишлашига салбий таъсир кўрсатади. Айниқса юқори ҳароратда ишлаш катта қийинчиликлар туғдиради. Оқиш жараёни бир хил ҳарорат ва кучланишдаги “деформация — вақт” диаграммасида оқувчанлик эгри чизиги билан ифодаланади. Бунда оқиш жараёни бир хил тезликда бормайди. Биринчи даврда оқиш барқарор му-

возанатда бўлса, иккинчи даврда оқиш тезлиги муқобиллашади. Учинчи даврда эса оқиш кескин тезлашади (21-расм). Кристалл материалларда юз берадиган оқиш натижасида дислокациялар кучади, натижада бутун ҳажм бўйича кучланиш бир хилда тарқалади, яъни дарзлар атрофида тўпланган кучланишлар тарқалади (релаксацияланади). Материал ичидаги кучланишларнинг текисланиши натижасида вужудга келган термодинамик барқарорликка релаксацион жараён деб аталади. Материалнинг оқувчанлиги ҳам синаш усули билан аниқланади.



21-расм. Оқувчанлик эгри чизиги.

Материалнинг оқувчанлиги давлат стандарти билан (1497—84 ГОСТ) белгиланган. Масалан, оқувчанлик кучланиши $\sigma_{0,2/100}^{700}$ деб белгиланган бўлса, демак, синаш ҳарорати 700°C , рухсат этиладиган нисбий чўзилиш $0,2\%$, синаш вақти эса 100 соатга тенг.

Нуқсонлар ва ички кучланишларнинг материал юзасида нотекис тақсимланиши материал мустаҳкамлигини камайтиради. Реал жисмларнинг ҳажми турлича бўлганлиги учун ҳажм бирлигига тўғри келадиган ички структура нуқсонлари ҳам ҳар хил миқдорда бўлади. Шунинг учун конструкциялар (тишли ғилдирак, валлар, дисklar, турбина парраги ва ҳ.к.)нинг мустаҳкамлиги доимо материалнинг техник мустаҳкамлигидан кам бўлади.

Материалларнинг механик хоссаларини белгилайдиган яна бир муҳим хусусият қаттиқликдир. Синалаётган материалга ундан қаттиқроқ бошқа бир жисм ботирилганда синалаётган материалнинг унга кўрсатадиган қаршилиги материал қаттиқлиги дейилади. Демак, қаттиқлик материалнинг пластик деформацияга қаршилик кўрсатишидир. Қаттиқликни ўлчаш учун шар ёки конус шаклидаги жисм синалаётган намуна юзасига ботирилади, натижада ўша

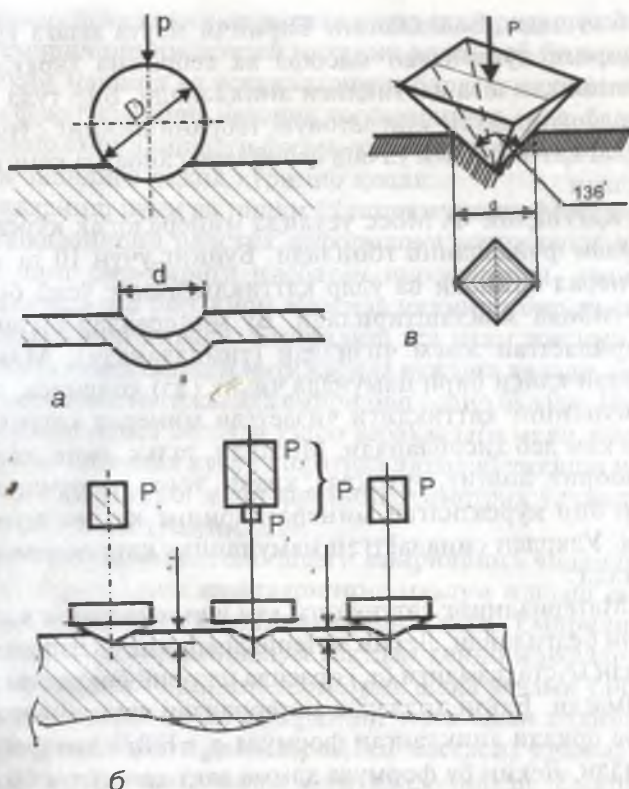
жойда шар ёки конус шаклининг ўрни қолади, яъни материал ўша жойда пластик деформацияланади. Демак, шу деформация материалнинг қаттиқлигини ифодалайди.

Материал қаттиқлигини ўлчашнинг бир неча усуллари мавжуд. Энг оддий усулларида бири материални эговлаб қўришдир. Агар материал осон эговланса, демак материал юмшоқ, қийин эговланса, материал қаттиқ деган нисбий тушунчага эга бўламиз. Тахминий ишларда бу усулни қўллаш мумкин. Бунинг учун махсус ускуна, асбоб, вақт, маблағ талаб этилмайди.

Машина воситаларининг ишлаши ҳамда ишлаш муддатлари юза қаттиқлигига боғлиқдир. Техникада қаттиқлик Бринелл, Роквелл, Виккерс усуллари орқали аниқланади. Бу усулларнинг ҳар бири давлат томонидан стандартлаштирилган.

Қаттиқликни аниқлашнинг Бринелл усули (9012—59 ГОСТ) да намунанинг юзасига пулатдан тайёрланган шар ботирилади. Шарнинг диаметри, таъсир кучи ҳамда кучнинг таъсир этиш вақти стандарт бўйича белгиланган. Қаттиқлик (НВ) таъсир этаётган куч (Р) нинг шар намуна юзасида қолдирган юза ўлчами (S) га нисбати билан ўлчанади (22-расм). Демак, шар изини тўғри ўлчаш қаттиқликни аниқлашда асосий технологик жараён ҳисобланади. Қаттиқлиги катта ёки нисбатан катта бўлмаган материалларнинг қаттиқлиги Бринелл усулида аниқланади. Ўртача қаттиқликка эга бўлган материаллар учун Роквелл усули (9013—59 ГОСТ) кўпроқ қўлланилади. Виккерс (2999—75 ГОСТ) ва Шор (263—75 ГОСТ) усуллари нисбатан қаттиқ материалларнинг қаттиқлигини ўлчашда қўлланилади. Бу усуллар ёрдамида аниқланган қаттиқлик миқдорлари бир-бирлари билан аниқ боғланмайди. Бринелл ва Роквелл усуллари ёрдамида аниқланган қаттиқлик миқдори тахминан қуйидагича боғланган: $HV \approx (9,5 - 10) HRC$. Қаттиқликнинг қиймати Н билан белгиланади, В ёки R ҳарфлар усулнинг бош ҳарфи (Бринелл, Роквелл). Қўйилаётган кучга биноан Роквелл усулидаги кўрсаткичлар А, В, С деб белгиланган.

Техникада юпқа металл қоғозлар (фольга) ёки юпқа қопламалар қаттиқлигини ҳам ўлчашга тўғри келади. Бунда материалнинг қаттиқлиги ўлчанаётганда ботирилаётган



22-расм. Қаттиқликни ўлчашнинг Бринелл (а), Роквелл (б) ва Виккерс (в) усуллари.

жисмнинг шакли жуда кичик бўлиши керак. Куп фазали жисмларда фазалар қаттиқлигини ўлчашда ҳам шундай талаблар қўйилади. Микроқаттиқликни ўлчаш учун (9450—76 ГОСТ; 18835—73 ГОСТ) махсус давлат стандартлари мавжуд.

Лекин юқорида келтирилган усуллар билан машина воситаларининг ишчи юзаларини ўлчаб бўлмайди, чунки юзада нуқсон қолади. Қаттиқликни ўлчашнинг динамик усуллари юзада нуқсон қолдирмайди. Масалан, қаттиқ материалдан тайёрланган болғачани маълум масофа юқорига кўтариб, намуна юзасига ташланса, болғача намуна юзасига урилиб, яна юқорига бир неча марта кўтари-

либ тушади. Болғачанинг биринчи марта юзага урилиб, юқорига кутарилган масофа ва тебранма ҳаракатнинг сүнишидан юза қаттиқлиги аниқланади. Бир тўда қилиб бирлаштирилган ультратовуш тебранишининг сүнишига қараб қаттиқликни ўлчаш асбоблари саноатда кенг қўлланилади.

Қаттиқлик Ф. Мосс усулида минералогик кўрсаткичлардан фойдаланиб топилади. Бунинг учун 10 та эталон минерал олинади ва улар қаттиқлигининг ўсиб бориши тартибида жойлаштирилади. Бу минераллар билан текшириладиган жисм чизилади (тимдаланади). Минераллардан қайси бири намунада чизик (из) қолдирса, демак, намунанинг қаттиқлиги чизаётган минерал қаттиқлигидан кам деб ҳисобланади. Масалан, тальк, гипс, кальцит, флюорит, апатит, ортоклаз, кварц, топаз, корунд, олмос. Ҳар бир кўрсатилган минералларнинг қаттиқлиги маълум. Улардан синалаётган намунанинг қаттиқлиги аниқланади.

Материалнинг қаттиқлиги ҳам унинг механик хоссаларини белгилайди. Лекин материалларнинг қаттиқлиги (H) билан мустақамлиги (σ_b) орасида назарий боғланиш аниқланмаган. Баъзи ҳолларда материаллар учун амалда тажриба орқали аниқланган формула $\sigma_b \approx HB/3$ дан фойдаланилади. Лекин бу формула ҳамма вақт ҳам тўғри бўлавермайди.

Материалнинг триботехник (ишқаланиш ва ишқаланувчи жуфтлар ҳақидаги фан) хусусиятларига қараб, ишқаланиш жуфтларига ишлатиладиган материаллар танланади. Материалнинг триботехник хусусиятлари деганда фақат ишқаланиш кучи, ишқаланиш коэффициентини ёки ишқаланиш емирилиш тезлигигина эмас, балки юзанинг ишқаланишидан содир бўладиган физик-кимёвий жараёнлар тўплами ҳам тушунилади. Масалан, ишқаланиш жуфтлари юзаларининг мослашиши, ишқаланиш емирилиш тезлиги, ишқаланиш шароитлари, мойланиш даражаси, мой ва бошқа совитиш муҳити хусусиятлари, ҳарорат, ташқи куч таъсири, ишқаланиш жуфтларининг бир-бирига нисбатан ҳаркат турлари ва ҳ.к. Булардан кўриниб турибдики, ишқаланиш емирилиш жуда мураккаб жараёндир.

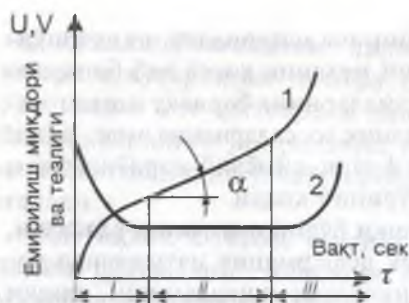
Мутахассислар яқин-яқингача материалларнинг ишқаланиб емирилишини асосий механик хосса деб билардилар. Лекин машина ва ускуналарнинг барвақт ишдан чиқишига фақат уларнинг механик хоссаларигина эмас, балки ишқаланиб емирилишдаги физик-кимёвий жараёнлар ҳам сабабчи эканлиги яққол кўриниб қолди.

Ишқаланиш ички ва ташқи бўлиши мумкин. Масалан, ички ишқаланишга пластик деформация натижасида доначаларнинг бир-бирига нисбатан ишқаланиши, ташқи ишқаланишга эса бир жисм юзасида иккинчи бир жисмнинг сирпаниши киради. Емирилиш эса икки жисмнинг бир-бирига ишқаланиши натижасида вужудга келади. Демак, ишқаланиш натижасида емирилиш содир бўлади. Ишқаланиб емирилиш деганда ўзаро ҳаракатдаги икки жисм юзаларидан материал кукун сифатида ажралиб чиқиши натижасида ишқаланиш жуфтларининг геометрик ўлчамларининг ўзгариши тушунилади.

Материалнинг ишқаланишдаги емирилишга чидамлилиги деб ишқаланиш жуфтларининг маълум ишлаш шароитида емирилишга қаршилигига айтилади. Емирилиш икки усулда ўлчанади. Маълум вақтдан кейин ишқаланаётган жуфтлардан бирининг геометрик шакл ўлчами ўлчанади ёки ишқаланиш жуфтларининг ишлашдан олдинги ва ишлашдан кейинги ҳажмлари (ёки массаси) ўлчанади. Ҳар иккала усул ҳам амалда кенг қўлланилади. Емирилиш қиймати (U) нинг емирилиш учун кетган вақт (τ) га ёки босиб ўтган масофа (h) га нисбати емирилиш тезлиги дейилади:

$$V = U/\tau \quad \text{ёки} \quad \tau = U/h.$$

Триботехник хусусиятларнинг ўзгариш қонуни 23-расмда келтирилган. Ишлаш шаронитига қараб ишқаланиш жуфтларининг емирилиш турлари ҳар хил бўлади: абразив (қаттиқ, кукун ёки чанг) материаллар таъсиридаги емирилиш, адгезион емирилиш, эрозион емирилиш, чарчаш натижасида емирилиш ва ҳ.к. Ишқаланиб емирилиш ҳам давлат стандартига эга (23002—78 ГОСТ). Емирилиш турлича бўлгани билан ҳамма ҳолатда ҳам у ишқаланиш кучининг бажарган ишидир. Бунда юзанинг деформацияланиши натижасида ҳарорат ҳамда структура ўзгаришля-



23-расм. Вақт бирлиги ичида емирилиши (U) миқдори (V) ва тезлиги (V) нинг (U) ўзгариш графиги:

ри рўй беради. Емирилишга юза хусусиятлари ва унинг ўзгаришлари асосий сабаб бўлади, ҳажмий мустақамликнинг таъсири эса озроқдир. Шунинг учун материалнинг асосий механик хоссалари маълум бўлгани билан ҳамма вақт ҳам унинг триботехник хусусиятларини олдин-

дан айтиб бўлмайди. Материалнинг триботехник хусусиятларини экспериментал аниқлаш усули маълум методологик кетма-кетликка эга. Тажриба олдин маълум намуналарда, сўнгра стендларда, лабораторияларда ўтказилади, энг охирида эса ишлаб чиқариш шароитларида ўтказилади.

2. Материалларнинг зангбардошлиги (коррозияга чидамлилиги)

Материал кўпинча кимёвий муҳитда ишлатилади. Кимёвий муҳит металл юзаси билан ўзаро таъсирлашиб, кўпинча материалга зарар етказди. Ташқи муҳитдан иборат бўлган кимёвий модда таъсирида емирилишга занглаш (коррозия) деб аталади. Коррозион емирилиш металл юзасидагина эмас, балки кристаллитлар орасида ҳам содир бўлиши мумкин. Металларда механик куч таъсирида ҳосил бўлган нуқсонлар коррозияни тезлаштириши ёки коррозия механик емирилишни тезлаштириши мумкин. Бундай емирилишга аралаш, яъни механик-коррозион емирилиш дейилади. Ҳозир жадаллаштирилган ишлаб чиқариш шароити, атроф-муҳитнинг ифлосланиши ҳамда кимёвий технологиянинг тараққиёти коррозион емирилишни кучайтирмоқда. Натижада уни бартараф этиш учун ортиқча харажатлар қилинмоқда. Шунинг учун коррозия

турларини урганиш, уларни синфларга бўлиш, коррозиянинг олдини олиш каби ишлар ривожлантиришда.

Кимёвий коррозияга ҳарорат таъсирида металлларнинг оксидланиши, буг шароитидаги газ коррозияси ёки ёқилғининг ёниши натижасида чиқадиган газларнинг металл юзасига таъсири натижасида содир бўладиган оксидланиш-қайтарилиш жараёнлари, электр токини ўтказмайдиган суяқ жисмлар (органик суяқликлар, спиртлар)нинг коррозия таъсири ва ҳ.к. киради.

Электролит хоссасига эга бўлган газ ёки суяқ муҳит таъсиридаги емирилиш электрокимёвий коррозия дейилади. Масалан, нам ҳаво, нам тупроқ ёки денгиз суви, кислота, ишқор ва туз эритмалари ва ҳ.к. таъсиридаги емирилиш бунга мисол бўлади.

Металларга коррозиянинг таъсири турлича бўлиши туфайли емирилиш ҳам турлича бўлади. Коррозия металл юзасига барабар таъсир этса, бутун юза бўйича бир текисда емирилиш содир бўлади. Бундай емирилиш коррозия бир текис тарқалган емирилиш ёки умумий коррозия емирилиш деб аталади. Коррозия юза бўйича бир текисда содир бўлмаслиги мумкин. Бу ҳолда юзанинг маълум қисмларидагина емирилиш содир бўлади, яъни юзанинг маълум нуқталарида “яра”лар ҳосил бўлади. Кристаллитлар орасида (доначаларнинг ажралиш юзаларида) ҳам коррозия содир бўлади. Бундай коррозия локал (бир жойга йиғилган) коррозия дейилади. Бир текис тарқалмаган коррозия емирилишлар текис коррозия емирилишга қараганда бирмунча хавфли ҳисобланади, чунки у материалнинг тезроқ емирилишига олиб келади.

Коррозия емирилиш маълум муддат давомида содир бўлади. Коррозия емирилиш тезлиги, яъни коррозия тезлиги коррозия миқдори (мм)нинг вақтга нисбати билан ўлчанади. Коррозия тезлиги, биринчидан, машина воситаларининг ишлаш шароитининг аниқлигига боғлиқ бўлса, иккинчидан, коррозия натижасида ҳосил бўлган масса (металл устидаги юпқа парда)нинг асос билан қандай мустаҳкам боғланганлигига боғлиқ. Лекин металл юзасида ҳосил бўлган парда эриб ҳам кетиши мумкин. Бунда коррозия емирилиш натижасида машина воситаларининг ўлчамлари ўзгариши мумкин.

Кўпинча материалларнинг коррозия эмирилишга мустаҳкамлиги балл кўрсаткичлари билан ифодаланади (3-жадвал).

3-жадвал.

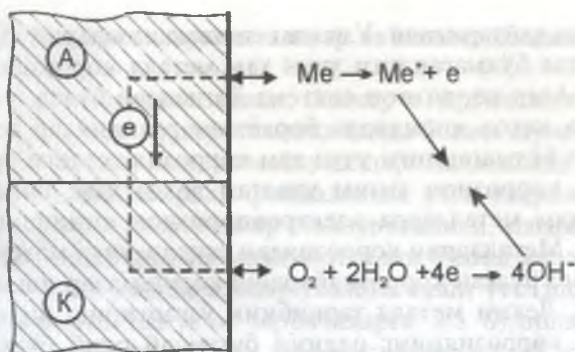
Пулат ва қотишмаларнинг коррозия мустаҳкамлик турлари

Материалларнинг коррозия эмирилишга мустаҳкамлиги турлари	Балл	Эмирилиш тезлиги, мм/мин.
Тақомиллашган мустаҳкамлик (ТМ)	1	$ТМ \leq 0,001$
Юқори мустаҳкамлик (ЮМ)	2	$0,005 > ЮМ > 0,001$
	3	$0,01 > ЮМ > 0,005$
Ўрта мустаҳкамлик (ЎМ)	4	$0,05 > ЎМ > 0,01$
	5	$0,01 > ЎМ > 0,05$
Қуйи мустаҳкамлик (ҚМ)	6	$0,5 > ҚМ > 0,1$
	7	$1,0 > ҚМ > 0,5$
Жуда қуйи мустаҳкамлик (ЖҚМ)	8	$5,0 > ЖҚМ > 1,0$
	9	$10,0 > ЖҚМ > 5,0$
Мустаҳкамлиги йўқ даражада (МЙ)	0	$МЙ > 10,0$

Кристаллар орасидаги коррозия тезлигини материалнинг электр ўтказувчанлигининг ўзгариши ёки механик хоссаларининг ўзгаришига қараб ҳам аниқласа бўлади.

Баъзи металллар юзасида оддий шароитда ҳам юпқа металл оксид пардаси ҳосил бўлиб, уни коррозия эмирилишдан сақлайди. Оксид қатламининг ҳосил бўлиш шароитига қараб, унинг қалинлиги ҳар хил, яъни $30 \div 40$ нм дан $0,5 \div 1$ мм гача бўлади. Оксид қатламининг қалинлиги қанча юпқа бўлса, у шунча асос билан мустаҳкам боғланган бўлади.

Оксид қатламининг тузилиши ҳам ҳар хил бўлади. Баъзи оксид қатламлар ғовак бўлиб, ўзидан кислород ёки бошқа агрессив муҳитни осон ўтказиб юборади. Натижада оксид қатламнинг остидаги асос борган сари коррозиядан эмирилиб боради. Агар оксид қатлами ғовак тузилишга эга бўлса, унинг қалинлиги борган сари ортиб бораверади ва маълум қалинликка етганда кўчиб тушади, яъни асосдан ажралади. Агар металл юзасида ҳосил бўлаётган қатлам



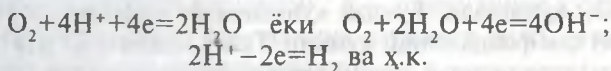
24-расм. Коррозион тизимнинг ҳосил бўлиш схемаси.

тузилиши ғовак бўлмай зич бўлса, унинг кейинги оксидланишдан муҳофаза қилиш хусусияти яхши бўлади. Бундай қатламнинг қалинлиги ўсмайди. Натижада материални узок вақт коррозион емирилишдан сақлаб туради.

Техника амалиётида кўпроқ электрокимёвий коррозион емирилиш содир бўлади. Бундай коррозия мураккаб жараён бўлиб, гальваник элементларда содир бўладиган жараён билан тушунтирилади (24-расм).

Электр ўтказувчанлиги ва кимёвий активлиги кучли бўлган металлларда электрокимёвий коррозион емирилиш содир бўлади. Электролит деб ҳисобланган муҳит (газ ёки суюқлик) да металл юзаси электроманфий ва электромусбат потенциалга эга бўлади, яъни электрокимёвий ноте-кисликка эга бўлади.

Металл юзасининг электроманфий потенциалга эга бўлган анод қисмида оксидланиш рўй бериб, металл эриши мумкин, масалан, $F = F^{2+} + 2e$ ёки қаттиқ ҳолатдаги коррозион маҳсулот ҳосил бўлади, масалан, $Cd + 2H_2O = Cd(OH)_2 + 2H^+ + 2e$. Металл юзасининг электромусбат потенциалга эга бўлган қисми (катод) да эса муҳит компонентларидан бир нечтаси қайтарилади, масалан, сув буғи ёки водород қайтарилади:



Электролиз системаси узилиб қолса, анод ва катод вазифаларини бажараётган қисмлардаги реакция бир хил

тезликда қайтарилади. Узилган система аъзолари ўзаро мувозанатда бўлмаганлиги учун ҳам металл коррозияга учрайди. Агар коррозион система боғланган бўлса, у ҳолда анод ва катод қисмларда бораётган реакциялар тезлиги бир хил бўлмаганлиги учун ҳам коррозия тезлиги ортади. Демак, коррозион тизим узилган ҳолда ҳам, боғланган ҳолда ҳам металлларда электрокоррозион емирилиш рўй беради. Металлларни коррозиядан сақлаш учун махсус таркибга эга бўлган коррозиябардош қотишмалар ишлаб чиқилган. Лекин металл таркибини ўзгартириш билан ҳар қандай коррозиянинг олдини бутунлай олиб бўлмайди, албатта. Шунинг учун коррозиянинг олдини оладиган махсус усуллар ишлаб чиқилган. Масалан, коррозиябардош махсус металл ва металл бўлмаган қопламалар ишлатилади ёки машина воситалари ишлайдиган муҳитнинг коррозион таъсири йўқотилади.

Металл сиртини антикоррозион қопламалар билан қоплаш энг кўп тарқалган усуллардан биридир. Металл ёки металл бўлмаган қопламаларни термик, кимёвий ёки электрокимёвий усуллар билан олиш мумкин. Қопламанинг вазифаси металл юзасини ташқи муҳит таъсиридан сақлашдан иборат. Масалан, оддий шароит учун баъзан машина воситаларини оддий (органик) бўёқ билан бўяб қўйиш кифоя бўлса, анча агрессив (кислота, ишқор) муҳитлар учун албатта маълум қалинликдаги металллар ва металл бўлмаган қопламалар керак бўлади. Техникада машина воситаларини коррозион емирилишдан сақлаш учун металл юзаси хром, алюминий, кумуш ва шунга ўхшаш элементлар билан қопланади. Ҳозирги пайтда металл юзаси полимер асосида олинган композицион материаллар билан қоплаш кўп қўлланилмоқда.

Агрессив суюқ муҳитда ишлайдиган машина воситаларини коррозиядан сақлаш учун муҳитга махсус кимёвий моддалар (ингибиторлар)ни қўшиш мумкин. Масалан, пўлатларнинг сувда зангламаслиги учун сувга махсус моддалар сифатида натрий нитрат (NaNO_3), хромат ва бихроматлар (2KCrO_4 ; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) қўшилади. Бундай қўшимчалар сифатида этаноламиндан ҳам фойдаланиш мумкин. Тайёр машина восита (эҳтиёт қисм)лари шундай эритмаларга шимдирилган қоғозга ўралади. Бу қоғоз ичида машина воситалари ишлатилгунга қадар коррозияга учрамасдан яхши сақланади.

3. Материалларнинг электр ва магнит хоссалари

Электр машинасозлиги, электр энергиясини ишлаб чиқиш радио ва электротехника ҳамда бошқа шунга ўхшаш саноатда кўпилаб махсус материаллар ишлатилади. Бу материаллардан самарали фойдаланиш учун уларнинг махсус хоссалари, яъни электр ўтказувчанлиги, магнит ва бошқа хоссалари ҳақида маълумотга эга бўлиш керак.

Материал ўзидан электр токини яхши ўтказиши учун ток зарядини ташувчи заррачаларга эга бўлиши керак. Материаллардаги электр заррачасининг кўчиб юришига кўрсатиладиган қаршилик материалнинг электр қаршилиги дейилади. Материалларнинг электр ўтказиш хусусияти махсус назария орқали тушунтирилади.

Қаттиқ jismlarнинг мувозанат ҳолатида электронлар аниқ бир энергияга эга бўлади. Металлларнинг электр ўтказувчанлиги атомлардаги эркин электронларнинг ҳаракатига боғлиқ. Демакки, электр қаршилик ҳароратга боғлиқ бўлиб қолади. Фақат $T \rightarrow 0$ дагина, яъни ҳарорат электрон булутга таъсир этмаганда электр ўтказувчанлик фақат материалнинг кристалл тузилишига боғлиқ бўлади. Масалан, баъзи материаллар ўзи учун хос бўлган критик ҳароратгача совитилганда ўта ўтказувчанликни намоён қилади.

Ўзгарувчан токка кўрсатилаётган қаршилик тўла қаршилик деб аталади, чунки ҳар қандай ўтказгич бунда актив қаршиликдан ташқари индукцион ва ҳажмий қаршиликка эга бўлиб, улар ўз навбатида электр ва магнит майдонларини ҳосил қилади. Ток йўналишининг ўзгариш тезлиги ортиб бориши билан қаршилик ҳам ортиб боради, чунки ток ўтказгичнинг юза қисмида тўпланган бўлади.

Материалларнинг электр қаршилиги солиштирма электр қаршилик билан ифодаланади:

$$\rho = \kappa \cdot S/L,$$

бу ерда κ — электр қаршилик; S — намунанинг кўндаланг кесим юзаси (мм^2); L — намуна узунлиги (мм). Металлар учун бу формула қуйидагичадир:

$$\rho_m = \rho_0 \cdot (1 - \alpha_p T)$$

Бу ерда ρ_m ва ρ_0 — материалнинг маълум ҳарорат (T) ва абсолют ҳароратдаги солиштирма электр қаршилиги; $\alpha_p [(\Delta\rho/\Delta T) \cdot (1/\rho_0)]$ — электр қаршилиқнинг ҳарорат коэффиценти; $\Delta\rho$ — солиштирма электр қаршилиқнинг T ҳарорат ўзгаргандаги қиймати.

Диэлектриклардаги ток ҳажм ёки юза бўйлаб оқади. Шунинг учун ҳажм бўйлаб оқувчи токнинг солиштирма қаршилиги ρ_p (ом $\cdot$ м), юза бўйлаб оқувчи токнинг солиштирма қаршилиги (ом) билан ифодаланади.

Солиштирма қаршилиқка тескари бўлган катталиқка солиштирма электр ўтказувчанлик деб аталади. Ўтказгичлар учун солиштирма электр ўтказувчанлик $\sigma = 10^{-8} \dots 10^8$ (ом $\cdot$ м) $^{-1}$ га, ярим ўтказгичлар учун $\sigma = 10^{-8} \dots 10^5$ (ом $\cdot$ м) $^{-1}$ га ва диэлектриклар учун $\sigma = 10^{-16} \dots 10^5$ (ом $\cdot$ м) $^{-1}$ га тенг.

Солиштирма электр қаршилиқ ва солиштирма ўтказувчанликларни хусусиятларини ўлчаш давлат стандартлари билан белгиланади. Масалан, қаттиқ диэлектрик материаллар ўлчами 6433.2 — 71 ГОСТ, суюқ диэлектриклар ўлчами эса 6581—75 ГОСТ давлат стандартлари билан белгиланади.

Ташқи электр майдон таъсирида диэлектриклардаги электр зарядининг силжишига диэлектрикнинг қутбланиши (поляризация) деб аталади. Силжиган зарядлар ташқи электр майдонига қарши майдонни ҳосил қилади. Диэлектрикларнинг қутбланиши диэлектрикдаги кимёвий боғланишларнинг хусусиятига боғлиқдир. Электронларнинг силжиши натижасида атом ва ионлар бир-бирларидан маълум масофада турган 2 хил ишорали икки заряднинг тўпламига айланиб, диполларни ҳосил қилади.

Электр диполларининг асосий хусусияти сифатида диполь моменти қабул қилинган:

$$p = q \cdot L$$

Бу ерда q — диполь заряди; L — зарядлар орасидаги масофа, яъни диполь елкаси.

Диполь моменти диполь ўқи бўйлаб, манфий заряддан мусбат зарядга томон йўналади. Материалнинг ҳажм бирлигига эга бўлган диполь моменти ёки қутбланиш вектори диэлектрикларнинг қутбланиш хоссасидир:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^N \bar{P}_i$$

Бу ерда $\bar{P}$ — заррача (атом, ион, молекула)нинг диполь моменти; N — материалнинг ҳажм бирлигидаги заррачалар сони. Бир хил таркибли (изотроп) диэлектрик қутбланиш векторининг йўналиши ташқи электр майдонининг кучланиш йўналишига тўғри пропорционалдир:

$$\bar{P} = \chi \cdot \epsilon_0 \cdot E = (\epsilon - 1) \epsilon_0 E.$$

Бу ерда χ — диэлектрикнинг электр майдонида қутбланиши; ϵ_0 — электр констант; ϵ — диэлектрикларнинг ўтказувчанлиги. Анизотроп хусусиятига эга бўлган кристалл диэлектриклар диполь моменти ($\bar{P}$) нинг йўналиши билангина боғланиб қолмай, балки кристалл симметрия ўқига ҳам боғлиқ бўлади.

Кристалл диэлектриклар (масалан, сегнетоэлектриклар) маълум ҳарорат оралигида ўз-ўзидан қутбланади, ташқи таъсирга ҳам берилувчан бўлади. Бундай диэлектриклар П. Кюри ҳароратгача қиздирилса, қутбланиш йўқолади ва қутбсиз ҳолатни акс эттирувчи фаза ўзгариши рўй беради.

Диэлектриклардаги ўзгарувчан электр майдон энергиясининг бир қисмини иссиқлик энергиясига айланишига диэлектрик йўқотиш дейилади.

Диэлектрик йўқотиш миқдори диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги ($\text{tg} \delta$) билан ифодаланади. Диэлектрикларнинг ҳажм бирлигига тўғри келадиган диэлектрик йўқотиш қиймати қуйидагича аниқланади (В/м^2); $P' = \kappa E^2 f \epsilon \text{tg} \sigma$. Тенгламадаги κ — коэффициент; E — кучланиш (В/м^2); f — электр майдонининг ўзгариш тезлиги (герцларда ўлчанади); ϵ — диэлектрикларнинг ўтказувчанлиги; $\epsilon \text{tg} \delta$ қўпайтма диэлектрик йўқотиш коэффициенти дейилади. Материалларнинг диэлектрик ўтказувчанлиги 6433.4—71 ГОСТ, диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги коэффициенти 22372—77 ГОСТ давлат стандартига эга.

Диэлектрикларда тўсатдан кучланиш ортиб кетганда (маълум миқдоргача) электр ўтказувчанлик ҳам ортади. Бу ҳодисага диэлектрикнинг тешилиши (пробой) дейилади.

Бу ҳолда ток маълум кенгликда диэлектрик буйлаб оқади. Диэлектрикларнинг тешилишига сабаб бўлган электр майдоннинг кучланиши диэлектрикларнинг электрга мустақамлигини ифодалайди. Бундай кучланиш диэлектрикдаги тешикни ҳосил қиладиган кучланиш E деб белгиланади.

Ташқи магнит майдонига жойлаштирилган жисм магнитланиб қолади. Жисмнинг магнитланишига сабаб, жисмнинг магнит моменти эгалигидир. Магнит моменти вектор катталика эга. Бу катталик жисмнинг магнит майдони манбасидир. Биргина атом учун магнит орбитал вектор ва электронлар моменти (спинлари) йиғиндисига тенг. Ядронинг магнит моменти эса электронларнинг магнит моментида анча кам.

Материалларнинг магнитланиш миқдори ҳажм бирлигидаги атомларнинг магнит моментлари йиғиндисига тенг. Уни материалнинг магнитланиш даражаси деб аталади. Бир хил магнитланган материалнинг магнитланиш даражаси қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{I} = \bar{M} / V.$$

Бу ерда M — магнит моменти; V — намунанинг ҳажми.

Материалнинг магнитланиш даражаси билан магнит майдони орасидаги боғланиш материалнинг магнитни қабул қилиш қобилиятини кўрсатади:

$$R_m = I/H.$$

бу ерда H — магнит майдони кучланиши.

Материалларнинг магнитни қабул қилиш қобилиятига қараб, уларни уч синфга бўлиш мумкин: диамагнетиклар, парамагнетиклар ва ферромагнетиклар.

Диамагнетизм материалларнинг ташқи магнит майдони таъсирида қарама-қарши йўналишда магнитланиш хусусиятини англатади. Бу хусусият ҳамма жисмларда бўлиб, атомларнинг ҳамма электрон моментлари ўзаро ейишиб кетгандагина намоён бўлади. Диамагнетик хосса материални магнит қабул қилиш қобилиятига тескари кўрсаткичга эга ($R_m = -10^{-6} \dots 10^{-5}$).

Парамагнетиклар мусбат магнитланиш қобилиятига эга ($R_m = -10^{-6} \dots 10^{-3}$). Парамагнит хусусиятига эга бўлган жисмларда атомларнинг иссиқлик ҳаракати натижасида ўзгармас магнит моментлари тартибсиз йўналишларда бўлади. Улар ташқи магнит майдони таъсирида маълум йўналишга эга бўлади ва натижада материал магнитланиб қолади. Агар материалнинг магнитланиши кучли бўлса ($R_m \gg 1$), ферромагнитлар деб аталади ва магнитланиш хусусияти, майдон кучланиши ҳамда ҳарорат билан чизиқли боғланишда бўлмайди.

Демак, ферромагнетизм материаллардаги микроҳажмда магнит моментларининг тартибли ҳолати ўрнатилишини англатади. Магнит моментларининг бундай тартибли ҳолатида атом (ион) магнит моментлари параллел ва бир хил йўналишда бўлади. Бундай ҳажмларга доменлар деб аталади ва улар магнит майдони бўлмаган ҳолда ҳам магнит моментларига эга, яъни ўз-ўзидан магнитланиши мумкин.

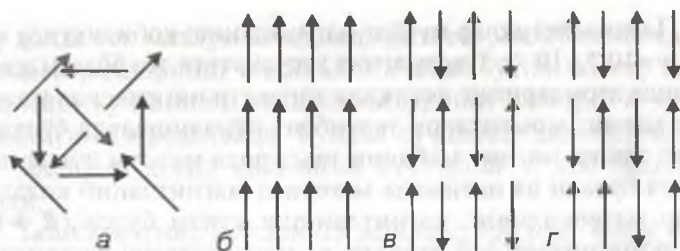
Антиферромагнетикларда магнетизм хоссасини ҳосил қилувчи қўшни заррачаларнинг магнит моментлари ўзаро қарама-қарши йўналган бўлиб, магнит майдони бўлмаганда материалнинг магнитланиши нолга тенг бўлади.

Материаллардаги магнит моментларининг тартиби схема тарзида 25-расмда берилган.

Материалларнинг магнитланиши (R_m) асосан ҳароратга боғлиқдир. Ҳароратнинг кўтарилиши парамагнетикларнинг магнитланишини камайтирса, ферромагнетикларникини кескин кўтаради. Кюри нуқтасига яқинлашганда энг катта қийматга эга бўлади. Кюри нуқтасида ферро ҳамда ферримангнетик материаллардаги ўз-ўзидан магнитланиш хоссаси йўқолиб, материаллар оддий парамагнетик хусусиятларга эга бўлиб қолади.

Жисмдаги магнит майдонининг ўртача йиғиндиси магнит майдони хусусияти бўлиб, магнит қўзғатувчи деб аталади. Магнит қўзғатувчи $\vec{B}$, магнит кучланиши $\vec{H}$ ҳамда магнитланиш I қуйидагича боғлангандир: $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + I)$, бу ерда $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ Гн/м — магнит доимийси. Агар $R_m = I/H$ эканлигини ҳисобга олсак, $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$ дир. Бу ерда $\mu = 1 + R_m$.

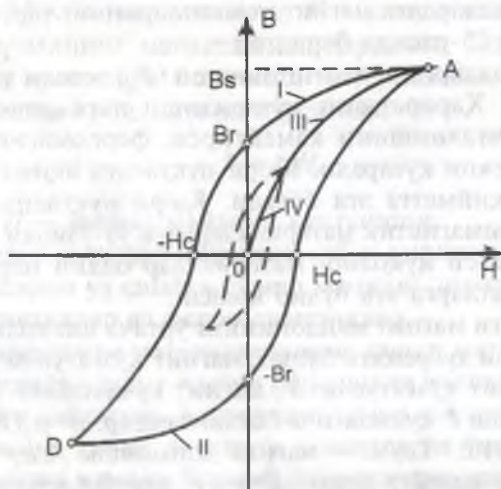
Ферромагнетикларнинг ўзгарувчан магнит майдонида магнитланишида гистерезис ҳодисаси рўй беради, яъни



25-расм. Атомларнинг магнит моментлари бўйича тартибланишини кўрсатувчи чизма: а — парамагнетиклардаги, б — ферромагнетиклардаги, в — антиферромагнетиклардаги, г — ферромагнетиклардаги тартибланиш.

магнит майдони кучланиши ўзгариши билан жисмнинг магнитланиши бир хил миқдорда рўй бермайди (26-расм).

Кучли магнит майдонида намуна тўла магнитланиши мумкин (А нуқта). Ташқи майдон кучланиши камайиб бориши билан магнит қўзғатувчанлик 1 эгри чизиқ бўйлаб камаяди ($+B_r - H_c$), чунки ўсаётган доменларнинг магнит моментлари вектори майдон векторига қарама-қаршидир. Майдон кучланиши нолга тенг бўлиб қолганда ҳам намуна ҳали магнитланган бўлади (қолдиқ магнит). Бу қолдиқ



26-расм. Магнит гистерезисига эга бўлган ферромагнетикларда магнитлантириш ва магнитсизлантириш эгри чизиқлари.

магнит индукция (B_r) га тенг бўлади. Кучли магнит майдонида тула магнитланган ферромагнит намуна майдон кучланиши ўзгариши билан магнитсизланади. Ана шу магнитсизланишга олиб келган майдон кучланишига коэрцатив майдон ёки коэрцатив куч дейилади. Магнитсизлантирган майдон кучланиши янада ошганда магнитланиш рўй беради (D нуқта). Намунанинг қайта магнитланишини II эгри чизиқ ифодалайди.

Магнит майдони ўзгариш амплитудасини нолгача камайтириб, қайта магнитланиш даврини қайтара бориб, намунани тула магнитсизлантириш мумкин.

Магнит хусусиятларини аниқлашда бажариладиган ишлар ва ўлчаш воситалари ГОСТ 8.268—77, ГОСТ 17809—72, ГОСТ 20906—75, ГОСТ 12635—67, ГОСТ 12636—67, ГОСТ 12637—67, ГОСТ 12119—80 давлат стандартлари билан белгиланган.

4. Материалларнинг технологик хоссалари

Машина воситаларини тайёрлашда мавжуд материалларнинг қайта ишлаш имкониятлари қандай даражада эканлиги материалнинг технологик хоссалари дейилади. Материалнинг бундай хусусиятларини билган ҳолда машина воситаларини яшашнинг технологик жараёнларининг лойиҳаларини тузиш усулларини танлаш мумкин. Асосий технологик хоссаларга кесиб ишлаш, босим остида ишлаш, материалнинг суяқ ҳолдаги хусусиятларидан фойдаланиш, пайванд чок олиш имкониятлари, деформацияланиши ҳамда иссиқлик таъсирида шаклнинг ўз геометрик ўқини сақлай олиш хусусиятлари ва шунга ўхшаш бошқа хусусиятлар киради.

Кесиб ишлашда материални кесиб ишлангандаги маҳсулотнинг сифатигина эмас, балки кесиб ишлаш жараёнининг самарадорлиги, ишланган юзанинг микрогеометрияси, маҳсулот геометрик ўлчамларининг аниқлик даражаси, кесувчи асбобнинг турғунлик даражаси, кесиш тезлиги, кесиш кучлари, қиринди турлари ҳисобга олинади. Материалнинг кесиб ишлашга яроқлилигини аниқлаш

учун юқорида айтилган курсаткичларни эталон (бирлик ёки намуна) қилиб олиш керак.

Босим остида ишлашда намунанинг пластик деформацияланиш хоссаларидан фойдаланилади. Материалларни босим остида ишлаш материалнинг турига ҳамда уларни қайта ишлаш усулига боғлиқ. Масалан, материалларнинг эгилиш хусусияти 14019—80 ГОСТ стандартига биноан аниқланади. Металлларнинг эгилиши натижасида ҳосил бўлган биринчи нуқсонлар — дарз кетиш, эгилиш бурчаклари шу стандартга биноан аниқланади. Агар маълум кучланиш таъсирида бундай емирилиш, қатлам кўчишлар содир бўлмаса, намуна синовдан ўтган ҳисобланади. Юпқа қатлам (лист ёки лента) материални сиқиб чиқариш усули билан синаш 10510—80 ГОСТ давлат стандартига тўғри келиши керак. Синашдаги деформация жараёнида оқиш бошланмасдан намунада маълум ўйма (лунка) ҳосил бўлади. Материалнинг емирилмасдан ҳосил бўлган ўйма ўлчамига қараб материалнинг синалганлиги ҳақида хулоса чиқарилади. Махсус ўлчамларда жўваланган материалларнинг чўкиш хусусиятларини синаш учун 8817—80 ГОСТ давлат стандарти белгиланган. Маълум ўлчамдаги намунага сиқадиган куч таъсир эттирилса, намунанинг бўйи қисқаради. Бунда намунада дарз ҳосил бўлмаса, емирилиш ёки қисмларнинг кўчиши содир бўлмаса, материал синовдан ўтади.

Машинасозликда воситалар (эҳтиёт қисмлар) борган сари кўпроқ кукун ҳолатдаги материаллардан тайёрланмоқда. Шунинг учун ҳам кукун материалларнинг хусусиятларини ҳам аниқлаш керак. Масалан, бундай материалларнинг кукун ҳолдаги оқувчанлиги, зичлана олиши ҳамда шакл қабул қилиш хусусиятлари аниқланади. Материалнинг кукун ҳолдаги оқувчанлиги 20899—75 ГОСТ давлат стандартига жавоб бериши керак. Оқувчанлик деб маълум ўлчамга эга бўлган тешикдан вақт бирлиги ичида ўтишга улгурган масса (кукун) миқдорига айтилади. Бу хосса кукундан маҳсулот ясалаётганда жуда муҳимдир, яъни қанча вақт ичида қолип тўла бўлиши аниқланади. Қолиплардаги кукунга босим берилганда кукун қалинлигининг камайишига қараб зичланиш хусусияти аниқланади. Босим остида ишланган кукун материалларнинг қолип

шаклини тўлдириб олишига қараб, шаклланиш хоссаси аниқланади. Кукун материалнинг бу хоссалари 25280—82 ГОСТ давлат стандарти билан белгиланади.

Суюқ материалнинг оқувчанлиги деганда суюқ металл ни маълум шаклдаги қолипга қуйилганда намоён бўладиган хусусиятлари тушунилади. Суюқ ҳолдаги оқувчанлик материалнинг кимёвий тузилишига, ҳароратга ҳамда қовушоқликка ва қолип материалнинг хусусиятларига боғлиқ бўлади. Бундай хусусиятлар тажриба асосида аниқланади. Суюқ металл қолипларга қуйилгандан кейин қотиш (кристалланиш) натижасида чуқади. Бу хусусият суюқ металл ҳажми билан қотган металл ҳажми орасидаги фарқ билан ўлчанади. Худди шу усул билан металлларнинг чуқиш коэффициентлари аниқланади.

Материалларнинг пайванд чок ҳосил қилиш хусусияти деганда, чокнинг ишлай олиш хусусияти тушунилади. Бундай пайвандланган материалнинг сифати асосий материал сифатига ўхшаш бўлиши керак. Пайванд чокнинг хусусиятларини асосий материал хусусиятларига солиштириш билан синаб кўрилади. Пайвандланган маҳсулотларнинг механик хоссалари 6996—66 ГОСТ билан, пайвандлаш ёйи ҳамда кавшарлаш тартиби 13585—68 ГОСТ билан белгиланади. Пайванд чокнинг турлари (чокнинг шакли) ҳам 7512—82 ГОСТ давлат стандартига эга. Пайванд чокнинг узоқ муддатга чидай олиши (ишлай олиши) 10145—81 ГОСТ давлат стандарти билан белгиланади.

Намунавий назорат саволлари

1. Материалнинг реал мустаҳкамлиги унинг назарий мустаҳкамлигидан фарқ қиладими? 2. Материалнинг пластик ва эластик деформацияга бўлган қобилятлари қандай тушунтирилади? 3. Материалнинг динамик таъсирга чидамлилиги нималарга боғлиқ? 4. Чарчани натижасида емирилишда дислокациянинг ўрни қандай? 5. Материалнинг қаттиқлиги қандай тушунилади ва уни аниқлаш усуллари кўрсатинг. 6. Материалнинг триботехник хусусиятларини таърифланг. 7. Коррозион емирилиш деганда нимани тушунасиз ва ундан сақлаш усуллари кўрсатинг. 8. Материалнинг электр ҳамда магнит хосса-

ларини ҳарорат ва структурага боғлиқлигини кўрсатинг. 9. Материалнинг асосий технологик хоссаларини таърифланг. 10. Материалнинг технологик қобилиятларини аниқлашга мисоллар келтиринг.

5-б о б.

МЕТАЛЛ АСОСИДАГИ ҚОТИШМАЛАРДА ФАЗА ЎЗГАРИШЛАРИ

Тоза металлларнинг механик хоссалари улар асосидаги мураккаб бирикмаларнинг хоссаларига қараганда анча паст бўлади. Шунинг учун ҳам техникада тоза металлларга қараганда уларнинг қотишмалари кўпроқ қўлланилади. Иқтисодий жиҳатдан ҳам тоза металлларга қараганда қотишмаларни қўллаш фойдалироқдир, чунки тоза металлни олиш қийин, таннархи юқори, хомашё захираси ҳам чегараланган.

Металл қотишма деганда бир элемент асосида бир неча элементларнинг ўзаро аралашмасидан ҳосил бўлган жисм тушунилади. Шу жисмни ташкил қилувчи кимёвий элементларга унинг ташкил қилувчилари (компонентлари) деб аталади. Қотишма бир жинсли (бир фазали) ёки кўп жинсли (кўп фазали) бўлиши мумкин. Фаза деб жисмнинг бир жинсли (таркибли) қисмига айтилиб, у ўз чегарасига эга, қачонки юза чегарасидан ўтилганда хоссалар кескин ўзгаради. Мураккаб жисмдаги фазалар йиғиндиси материал тузилишини (структурасини) ҳосил қилади.

Фаза ва тузилишларнинг мувозанати ташқи муҳит таъсирига боғлиқ бўлади ҳамда “ҳарорат — компонентлар миқдори (концентрацияси)” диаграммаси билан ифодаланadi.

Қотишмаларни ташкил қилган компонентларнинг сонига қараб, бир компонентли ёки кўп компонентли қотишмалар бўлади. Фазаларнинг сонига қараб эса бир фазали ёки кўп фазали қотишмалар бўлиши мумкин.

1. Металл қотишмаларидаги фазалар

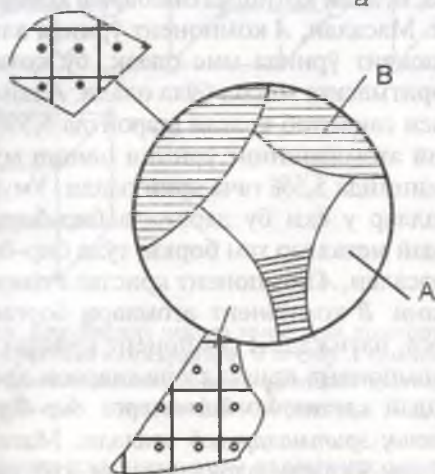
Қотишма таркибидаги компонентлар умумий ҳолда ўзаро ҳар хил таъсирлашувда бўлиши мумкин: суюқ ҳолда бир-бирида чексиз эриши мумкин (суюқ эритма фазаси),

қаттиқ ҳолда ҳам бир-бирида эриши мумкин (қаттиқ эритма фазаси) ёки ўзаро кимёвий таъсирлашиб, кимёвий бирикмалар (оралиқ фаза)ни ҳосил қилиши мумкин.

Мураккаб жисм *A* ва *B* икки компонентдан иборат деб олайлик, бунда



a



б

27-расм. Механик аралашма микрогузилишининг кўриниши (*a*) ҳамда *A* ва *B* элементларнинг алоҳида кристалланиши

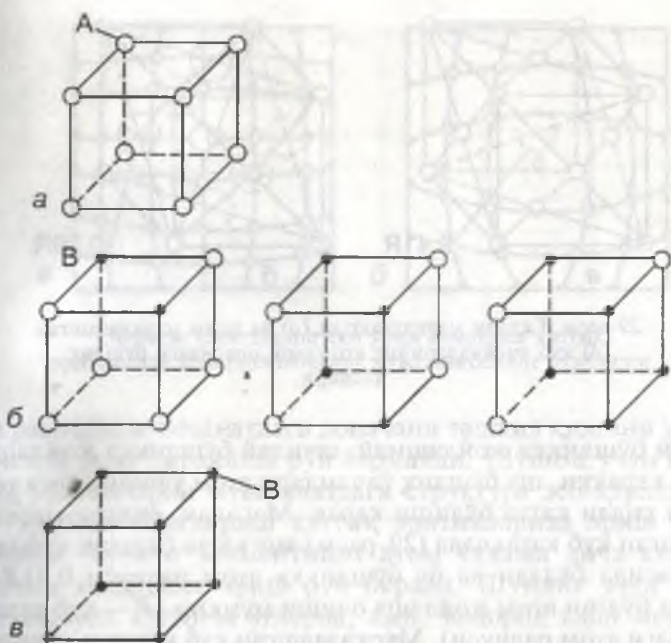
икки ҳолни кўриш мумкин: биринчи ҳолда компонент суяқ ҳолатда бир-бирида чексиз эриса ҳам, кристалланаётганда ҳар бири алоҳида кристалланади. Шунинг учун бундай мураккаб структура механик аралашма деб аталади. Бу аралашма икки компонентли ёки икки фазадан иборат бўлади, яъни ҳар бир компонент ўзи алоҳида кристаллангани учун алоҳида фазани ҳосил қилади (27-расм). Иккинчи ҳолда эса *A* ва *B* компонентлар ўзаро таъсирлашиб, бир хил таркибли қаттиқ эритмалар ёки кимёвий бирикмалар (оралиқ фазалар)ни ҳосил қилиши мумкин.

Қаттиқ эритмалар деб, *A* компонентнинг элементар кристалл панжарасида иккинчи *B* компонент атомлари жойлашишига айтылади. Кристалл панжарани ҳосил қилган *A* компонент эритувчи вазифасини ўтайди. Кристалл панжарада *B* компонентнинг фақат айрим атомлари қатнашаётгани учун эрувчи модда деб аталади. Лекин кристалл панжарада эрувчи *B* модданинг атомлари ўрнини эритувчи *A* модда атомлари олиши мумкин, у ҳолда ўрин олиш ёки ўрин алмаштириш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлади. Агар эрувчи *B* модда *A* эритувчи компонент кристалл панжарасидаги атомлар орасига жойлашса, бундай қотишма *сингдириш қаттиқ эритмаси* деб аталади. Масалан, *A* компонент ўрнида алюминийни олсак, *B* компонент ўрнида мис олсак, бу қотишма ўрин олиш қаттиқ эритмасига мисол бўла олади. Алюминий кристалл панжараси сақланиб қолган шароитда 5,5% мис атомлари алюминий атомларининг ўрнини олиши мумкин. Демак, мис алюминийда 5,5% гача эрий олади. Умуман олганда ҳамма металллар у ёки бу даражада бир-бирида эриши мумкин. Шундай металллар ҳам борки, тўла бир-бирида эриши мумкин, масалан, *A* компонент кристалл панжарасидаги атом ўринларини *B* компонент атомлари борган сари алмаштириб борса, натижада *A* компонент кристалл панжараси ўрнига *B* компонент кристалл панжараси ҳосил бўлади (28-расм). Бундай қаттиқ қотишмаларга *бир-бирида чексиз эрийдиган қаттиқ эритмалар* деб аталади. Масалан, кристалл панжаралари ёқлари марказлашган куб шаклига эга бўлган моддалар; кумуш ва олтин, никель ва мис, молибден ва вольфрам, ванадий, титан ва ҳ.к. бир-бирларида чексиз эриши мумкин.

Бир-бирида чексиз эрийдиган қаттиқ эритмаларни ҳосил қилиш учун қуйидаги шартлар бажарилиши керак:

1. Қаттиқ эритмани ташкил қилган компонентларнинг элементар кристалл панжаралари турлари бир хил бўлиши керак. Фақат шундагина қаттиқ эритмадаги компонентларнинг миқдор ўзгариши натижасида бир элементнинг элементар кристалл катакчасига иккинчи элементнинг атомлари аста-секин ўтиши мумкин.

2. Компонентлар атомларининг ўлчамлари бир-бирига яқин бўлиши керак, аниқроғи уларнинг фарқи 9—15% дан ошмаслиги шарт.



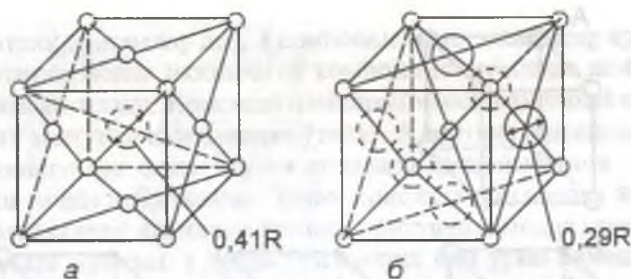
28-расм. Бир-бирида чексиз эрийдиган компонентларнинг кристалл панжаралари: *a* — соф *A* компонент; *б* — *B* компонентнинг *A* компонентдаги қаттиқ эритмаси, *в* — соф *B* компонент.

3. Компонентларнинг атом валентлик электронлари бир-бирига яқин бўлиши керак, яъни Менделеев даврий системасида компонентлар бир-бирига яқин туриши керак.

Ана шу шартлар бажарилгандагина металллар бир-бирида чексиз эриши мумкин. Агар бу шартлар маълум даражада бажарилса, бажарилиш даражасига қараб элементларнинг эриш чегараси белгиланади.

Қаттиқ эритмаларнинг ҳосил бўлиш назарияси мукамал ўрганилмаган. Масалан, юқорида айтиб ўтилган ҳамма шартлар бажарилган ҳолда ҳам мис ва темир бир-бирида чексиз эримайди ва ҳ.к.

Сингдириш қаттиқ эритмасини ҳосил қилиш учун *A* эритувчи элементнинг атомлари орасидаги масофа *B* эрувчи элементнинг атоми жойлашиши учун етарли бўлиши керак. Демак, эрувчининг атоми ҳар қандай атом ораси-

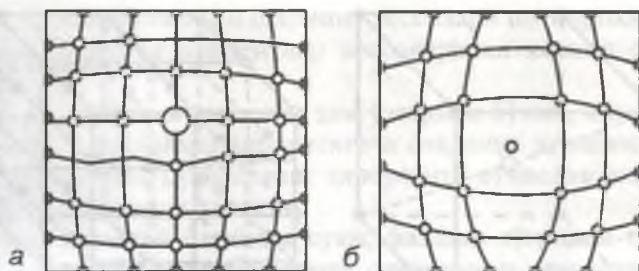


29-расм. Ёқлари марказлашган (а) ва ҳажм марказлашган (б) куб ячейкаларнинг атомлари орасидаги бўшлиқ тасвири.

даги бўшлиққа жойлашмай, шундай бўшлиққа жойлашиши керакки, шу бўшлиқ ўлчамлари атом ўлчамларига тенг ёки ундан катта бўлиши керак. Масалан, ёқлари марказлашган куб катакчада (29-расм) энг катта бўшлиқ кубнинг ўртасида бўлади ва бу бўшлиққа атом радиуси $0,41R$ га тенг бўлган атом жойлаша олиши мумкин (R — куб катакчадаги атом радиуси). Марказлашган куб катакча учун энг катта бўшлиқ ён томонларини марказида бўлиб, унинг ўлчами $0,29R$ га тенгдир. Шунинг учун ёқлари марказлашган куб катакчада атомлар зич жойлашишига қарамасдан марказлашган куб катакчага қараганда бўшлиқ ўлчами каттароқ бўлади.

Сингдириш қаттиқ эритмасини ҳосил қилишда атомлар орасидаги бўшлиқ билан сингдириладиган атом ўлчами орасидаги фарқ 9—15% ни ташкил қилиши ҳам мумкин. Шунини ҳам айтиш керакки, қаттиқ эритма ҳосил бўлишида дислокациянинг ўрни ҳам катта бўлади. Масалан, дислокация чегарасига сингдириладиган ўзга атомларнинг жойлашиши такомиллашган, яъни бузилмаган катакча оралиғида жойлашишдан кўра осонроқдир. Сингдирилган атомлар ўрин алмашган атомларга қараганда дислокацияга кўпроқ боғланган бўлади, яъни Котрелла муҳитини ҳосил қилади.

Демак, ўрин алмашган қаттиқ эритма ҳам, сингдириш қаттиқ эритмаси ҳам кристалл панжаранинг маълум бир чегарада қийшайишига (деформацияланишига) олиб келади (30-расм). Қаттиқ эритма микроструктураси шарт-



30-расм. Сингдириш ёки ўрин алмашиш қаттиқ эритмасида кристалл панжара мувозанатининг бузилиши.

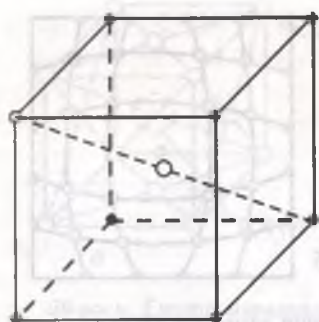
ли равишда мувозанатдаги доначани ташкил қилгани учун жисмда фаза ажралиши рўй бермайди. Шунинг учун қаттиқ эритмаларни мувозанатдаги структура деб қаралади.

Умуман сингдириш қаттиқ эритмаларида эриш кам бўлади. Эрувчи элементнинг атом ўлчами анча кичик бўлган ҳолдагина эриш рўй беради. Шунинг учун ҳам металлларда кўпинча углерод, азот, водород каби металл бўлмаган элементлар эрийди. Бу элементларнинг атом ўлчамлари 0,046...0,07 нм ни ташкил қилади. Пулат ва чуёнларда бундай қаттиқ эритмалар муҳим ўрин тутати.

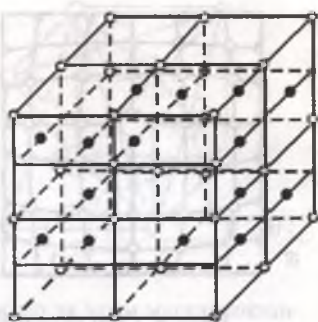
Сингдирилган атом эритувчининг кристалл панжарасида тартибли жойлашиши ҳам мумкин. Бундай эритмалар тартибли сингдириш қаттиқ эритмаси деб аталади. Масалан, Cu—Au , Fe—Al , Fe—Si ва бошқа шунга ўхшаш қотишмаларда юқори ҳароратда атомлар тартибсиз сингдирилган бўлса, ҳарорат пасайиши билан сингдирилган атомлар маълум тартибда жойлашиб қолади (31-расм). Кристалл панжаранинг бундай тузилиши металл хоссаларини ҳам ўзгартиради. Масалан, 21,5% Fe ва 78,5% Ni дан иборат қотишма (пермаллой)нинг магнитланиши кескин ўзгаради, электр қаршилиқ ортади, қаттиқлиги ҳам ортиб, пластиклиги камаёди.

Металл қотишмаларда кимёвий бирикмалар ва табиати жиҳатидан унга яқин бўлган фазалар жуда кўп учрайди.

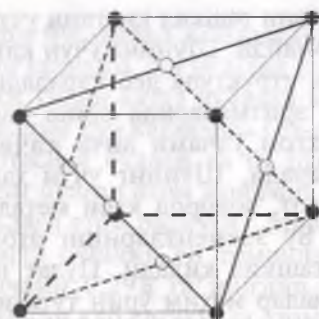
Кимёвий бирикмаларнинг ҳосил бўлишида кристалл панжара билан боглиқ бўлган махсус хусусиятлар вужудга келади. Уларни қаттиқ эритмадан кескин ажратиб турадиган хусусиятлар қуйидагилардир:



а ● Zn, ○ Cu



б ● Au, ○ Cu



в ● Au, ○ Cu

31-расм. Сингдириш қаттиқ эритмасы кристалл панжараларида атомларнинг тартибли жойлашиши.

1. Кимёвий бирикма ўзига хос кристалл панжара турини ҳосил қилиш хусусиятига эга. Янги типдаги кристалл панжара шу кимёвий бирикмани ташкил қилувчи компонентларнинг кристалл панжара турларидан тубдан фарқ қилади. Кимёвий бирикмаларда компонентларнинг атомлари тартибли жойлашган бўлиб, маълум жойлашиш қонуниятларига эга. Кўпчилик кимёвий бирикмаларнинг элементар кристалл панжараларининг турлари мураккаб бўлади.

2. Бирикмада элементлар массасининг нисбати доимо сақланади. Шунинг учун кимёвий бирикмалар содда қилиб $A_m B_n$ ифода билан белгиланади. Бу ерда m ва n бутун сонлар бўлиб, элементларнинг атом нисбатларини ифодалайди.

3. Кимёвий бирикмаларнинг хоссалари шу бирикмани ташкил қилувчи элементлар хоссаларидан кескин фарқ қилади.

4. Суюқланиш ҳарорати ҳам ўзгармас бўлиб, кимёвий бирикма суюқланиш ҳароратигача сақланиб қолиши ҳам мумкин, лекин суюқланиш ҳароратига етмасдан парчаланиб ҳам кетиши мумкин.

Агар кимёвий бирикма суюқ фазадан тўғридан-тўғри кристалланса ёки қиздирганда суюқланиш ҳароратигача сақланиб қолса, бундай бирикма барқарор кимёвий бирикма деб аталади. Агар кимёвий бирикма қаттиқ фазаларни мувозанати ўзгариши натижасида вужудга келса ёки қиздириш натижасида қаттиқ ҳолда диффузион парчаланиб кетса, бундай кимёвий бирикмалар беқарор кимёвий бирикмалар деб аталади.

5. Кимёвий бирикмаларнинг ҳосил бўлишида ҳарорат ўз-ўзидан ўзгариши мумкин.

Кимёвий бирикмаларнинг ҳосил бўлишида атом электрон тузилишлари бир-биридан кескин фарқ қиладиган компонентлар қатнашади.

Кимёвий бирикмаларга мисол сифатида магний элементининг даврий жадвалдаги бошқа элементлар билан ҳосил қилган бирикмаларини кўрсатиш мумкин. Масалан $MgSn$, Mg_2Pb , Mg_3B_2 ва ҳ.к. Металлар билан металллар бирикканда кимёвий боғланишнинг металл боғланиш тури сақланиб қолади. Қотишмалардаги бундай боғланишлар интерметаллид боғланишлар, ҳосил бўлган фазалар эса интерметаллидлар деб аталади.

Ўзгарувчан валентликларга эга бўлган Fe , Mn , Cr , Mo ва бошқа шунга ўхшаш элементларнинг кристалл панжараларида атом ўлчами кичик бўлган углерод, азот, бор ва водород атомлари сингиши мумкин. Бундай боғланишларнинг тузилиши ва хоссалари бир-бирига жуда ўхшайди ва сингиш фазалари деб аталади. Масалан, металл нитридлари (TiN , FeN , VN ва ҳ.к.) ва айниқса пўлатлар таркибидаги карбидлар (Fe_3C , W_2C , VC , TiC ва ҳ.к.) бунга мисол бўлади.

Сингиш фазасининг ҳосил бўлиши элементар кристалл панжаранинг тури ҳамда ташкил қилувчи элементларнинг атом ўлчаларига боғлиқ бўлади. Агар металлмас элемен-

тнинг атом ўлчамини R_x , металнинг атом ўлчамини эса R_m десак, у ҳолда $R_x/R_m < 0,59$ бўлса, металл кристалл панжаранинг тури оддий куб катакча (К8, К12) бўлиши мумкин. Лекин бу куб катакчаларнинг геометрик ўлчамлари металллардаги куб ячейка ўлчамларидан албатта фарқ қилади. Агар $R_x/R_m < 0,59$ шарти бажарилмаса (масалан, темир, марганец ва хром карбидлари), сингиш фазасининг кристалл панжарасининг тузилиши мураккаб бўлади.

Металларнинг электрон таркиби нисбатига биноан ҳам боғланиш ҳосил бўлиши мумкин. Бундай боғланишларга электрон боғланишлар дейилади. Уларнинг асосий хусусиятларидан бири умумий валент электронларнинг ҳар бир элементар кристалл ячейкага туғри келадиган сони деб қаралади. Масалан, $3/2$ (1,48), $21/13$ (1,62), $7/4$ (1,73) нисбатларга тенг боғланишларни учратиш мумкин. Ҳар бир кўрсатилган нисбатга туғри келадиган маълум элементар кристалл панжара тури мавжуддир. Мис, қумуш ва олтин бирикмалари кўпинча электрон боғланиш орқали бирикади. Механик аралашма ва қаттиқ эритмадан ташқари ҳар қандай боғланишли бирикмалар оралиқ фазалар деб аталади. Жумладан, кимёвий бирикмалар ҳам оралиқ фазалар дейилади.

2. Мувозанат ҳолатидаги фазалар

Металл қотишмалари таркибидаги компонентлар суюқ ҳолда бир-бирида чексиз эрийди. Қаттиқ ҳолда эса уларнинг бир-бирида эриши чегараланган бўлиши мумкин. Қотишмалар таркибидаги компонентлар миқдор ўзгаришларининг ҳароратга боғлиқлиги графиги фаза ва структуранинг мувозанат ҳолатини белгилайди. Бундай график фазаларнинг мувозанат ҳолат диаграммаси деб аталади.

Тизимнинг мувозанат ҳолати жисмнинг маълум шароитдаги энг кичик ички энергияга эга бўлган ҳолатидир. Жисмлар ҳамма вақт ички энергиясини камайтиришга интилади, жисм суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтаётганда, яъни кристалланаётганда мувозанат фазаларни ҳосил қилади. Бунинг учун мумкин қадар секин совитиш, қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўгишда эса жуда секин иситиш ке-

рак. Шундагина фаза ўзгаришда содир бўладиган жараёнларни таҳлил қилиш мумкин. Лекин амалда ҳақиқий (идеал) мувозанатга эришиш қийин. Қотишмалар кўпинча қандайдир нисбатан мувозанатда бўлмаган (метастабил) фазаларга эга бўлади. Материалшунослик амалиётида қотишмаларнинг мувозанатда бўлмаган ҳолатини ўрганишдан мақсад материалларнинг ишлатилиш соҳасини кенгайтиришдир.

Гиббс қондасидан фойдаланиб ҳолат диаграммаларини тузиш учун икки тушунчада чекиниш бўлиши мумкин:

1. Фазалар егарли даражада катта ўлчамга эга, шунинг учун уларнинг юзасида содир бўладиган жараёнлар ҳисобга олинмайди.

2. Қотишмани ташкил қилувчи ҳар бир компонент фазаларнинг ажралиш юзаларидан ўта олиши мумкин. Агар шундай фазалар уринли бўлса, бундай ҳолда ҳолат диаграммасининг математик ифодасини аниқлаш мумкин. Тизимнинг эркинлик даражасини белгиловчи кўрсаткичлар — компонент сони, фазалар сони, ҳарорат ва босимдир:

$$C = K + 2 - \Phi$$

бу ерда K — компонентлар сони; 2 — ташқи таъсир (ҳарорат ва вақт); Φ — фазалар сони.

Тизимнинг эркинлик даражаси деганда миқдор ўзгаришлари содир бўлганда, яъни ҳарорат ва босим маълум даражада ўзгарса, мувозанатдаги фазалар сонининг ўзгармаслиги тушунилади. Ўзгармас аниқ таркибли қотишма учун ташқи ўзгарувчан факторлар ҳарорат ва босимдир. Металларга фазалар қондаси қўлланилганда ҳарорат ташқи ўзгарувчан омил сифатида, босим эса ўзгармас деб қабул қилинади. Фақат жуда юқори босимда фаза ўзгаришлари рўй беради (масалан, сунъий олмос олишда). Оддий шароит учун тизимнинг эркинлик даражаси қуйидаги кўринишда бўлади: $C = K + 1 - \Phi$. Лекин эркинлик даражаси фақат бутун ва мусбат сон бўлиши мумкин. Шунинг учун $C = K + 1 - \Phi \geq 0$ ёки $\Phi \leq K + 1$. Демак, мувозанат ҳолатдаги қотишмаларда фазаларнинг сони энг кўпи билан компо-

нентларнинг сонидан битта кўп бўлиши мумкин. Тизим кўп, масалан, учта компонентли бўлса, фазалар сони кўпи билан 4 та бўлади.

Мувозанат ҳолатдаги бир неча компонентлардан иборат бўлган тизим максимал фазалар сонига эга бўлса, у ҳолда эркинлик даражаси нолга тенг бўлади ($C=0$). Бундай мувозанат ҳолат нонвариант ҳолат деб аталади. Икки компонентли тизимда эркинлик даражаси $C=1$ бўлса, тизим бир вариантли ёки моновариантли, агар $C=2$ бўлса, тизим икки вариантли бўлади.

Материалшунослик назарияси ва амалиётида икки компонентли ҳолат диаграммаси муҳим аҳамиятга эга.

Юқорида айтганимиздек, мувозанат ҳолатнинг асосий шарти жисмнинг энг кам ички эркин энергияга, яъни энг кичик термодинамик потенциалга эга бўлишидир. Жисм бир (суюқ ёки қаттиқ) фазадан иборат бўлса, фазанинг эркинлик даражаси (Гиббс энергияси F) унинг таркиби ва табиатига боғлиқ бўлади. Агар суюқ ва қаттиқ фазалар эркинлик даражасининг таркибга нисбатан ўзгаришини (32-а расм) солиштирсак, қаттиқ фазанинг эркинлик даражаси (F_α) кам бўлади. Шунинг учун ҳам қаттиқ фаза барқарор бўлади. Агар тизим икки ёки уч фазадан иборат бўлса, ўзгармас ҳарорат ва босимда эркинлик даражасининг ўзгариши силжиш қоида­сига бўйсунди (32-б расм) ва тўғри чизиқли функционал боғланишда бўлади, яъни C_α таркибдаги қотишманинг эркинлик энергиясини белгиловчи F_α нукта α - ва β - фазаларнинг эркинлик энер-



32-расм. Жисм эркин энергиясининг (F) қотишма таркибига боғлиқлиги диаграммалари.

гиясини белгиловчи F_α ва F_β нуқталарни бирлаштирувчи тўғри чизикда ётади ва уни α - ва β - фазаларнинг масса миқдорига тескари пропорционал бўлган икки кесимга ажратади. Лекин тизимни ташкил қилган α - ва β - фазалар ўзгарувчан таркибга эга бўлса, ҳар бир фазанинг эркин энергияси маълум қонуният асосида ўзгариши мумкин (32-в расм), яъни маълум ҳароратда фазалар таркиби C_α ва C_β билан белгиланади ва икки қотишма аралашмаси $(\alpha+\beta)$ нинг эркинлик даражаси $\alpha \cdot \beta$ тўғри чизик билан белгиланади. Бунда C_α концентрациядан кам бўлган таркиб эса фақат α фазадан ва C_β концентрациядан кўп бўлган таркиб эса фақат β фазадан иборат бўлади.

Икки компонентли тизимга баъзи бир ҳолларда учта фаза мувозанатда бўлиши мумкин (суюқ ва иккита қаттиқ фаза). Барқарор фазалар таркиби F_α , F_γ ва F_β эгри чизикларга уринма бўлган тўғри чизикдаги а, б, в нуқталарнинг концентрация ўқиға проекцияси (C_α , C_γ , C_β) билан белгиланади (32 г-расм). Бунда C_α концентрацияга фақат α фаза барқарор бўлиши мумкин. C_α - C_β концентрация оралиғида эса учта фаза — α , γ ва β фазалар барқарор бўлади. C_γ концентрациядан юқори концентрацияда фақат β фаза барқарор бўлади.

3. Ҳарорат таъсиридаги структура ўзгаришлари

Қотишмалардаги фаза ўзгаришларида ҳосил бўлган янги фазанинг эркинлик даражаси бирданига пасайиб кетмайди, балки жараён давомида аста-секин камайиб боради. Ана шу жараённи билган ҳолда ҳолат диаграммаларини математик усулда электрон ҳисоблаш машиналари ёрдамида тузиш мумкин. Ҳозирги қўлланилаётган ҳолат диаграммалари тадқиқот усулларида олинган натижалар асосида тузилган.

Ҳолат диаграммалари Н. С. Курнаков усулида тузилади. Бунинг учун тажриба асосида қотишмаларнинг қизиш ва совиш эгри чизиклари чизилади. Бу эгри чизиклардаги критик ҳарорат нуқталари аниқланади. Қаттиқ ҳолатдаги фаза ўзгаришларини аниқлаш учун эса қўшимча равишда физик-кимёвий, микроскопия, рентгенография.

дилатометрия усуллари ҳамда магнит хоссаларини аниқлаш усулларида кенг фойдаланилади.

Қотишма структурасида рўй бераётган ўзгаришлар ва уларнинг хоссалари ҳақида ҳақиқий маълумотга эга бўлиш учун ҳолат диаграммасидан ташқари фаза ўзгариши жараёнининг механизми ва кинетикасини билиш керак.

Зичликлари бир-биридан кескин фарқ қиладиган элементлардан ҳосил бўлган қотишмалар (масалан, темир билан қўрғошин ёки мис билан қўрғошин)ни ҳисобга олмаганда кўпчилик металллар суюқ ҳолатда бир-бирида чексиз эрийди.

Тоза металллардаги каби қотишмаларда ҳам ўта совиш натижасида кристалланиш содир бўлади. Кристалланиш натижасида ҳосил бўлаётган фазаларнинг таркиби албатта суюқ фаза таркибидан фарқ қилади. Суюқ жисмнинг кристалланиш олдидаги таркибида флуктация жараёни мавжуд бўлганда кристалланиш турғун маркази ҳосил бўлади. Суюқликнинг айрим жойларидаги таркибнинг жисм ўртача зичлигидан фарқ қилиши миқдорий флуктация дейилади.

Суюқ металллардаги эркин атомларнинг сони жуда катта бўлгани учун миқдорий флуктация ҳам ҳарорат таъсирида етарли даражада катта бўлади.

Флуктация натижасида эски фазанинг айрим жойларида янги фаза марказлари ҳосил бўлади. Янги фаза маркази маълум ўлчам R_x га эга бўлади. У ўсиш қобилиятига эга. Агар бу ўлчам ортиб бормаса, янги марказ эски фазада эриб кетиши мумкин. Суюқ металл кристалланишида миқдорий флуктация қанча кўп бўлса, шунча кўп янги фаза марказлари ҳосил бўлади.

Суюқ қотишмаларнинг кристалланишида ҳосил бўлаётган янги фазаларнинг ўсиш тезлиги тоза металллардагига қараганда камроқ бўлади. Чунки суюқланма элементларнинг диффузион кўчиши рўй беради. Суюқланма таркиби билан қаттиқ фаза таркиби орасидаги фарқ қанча катта бўлса, янги марказларнинг ўсиш тезлиги ҳам шунча кичик бўлади.

Ҳолат диаграммалари ва уларни анализ қилиш назарий материалшуносликнинг бир бутун катта бўлими ҳисобланади.

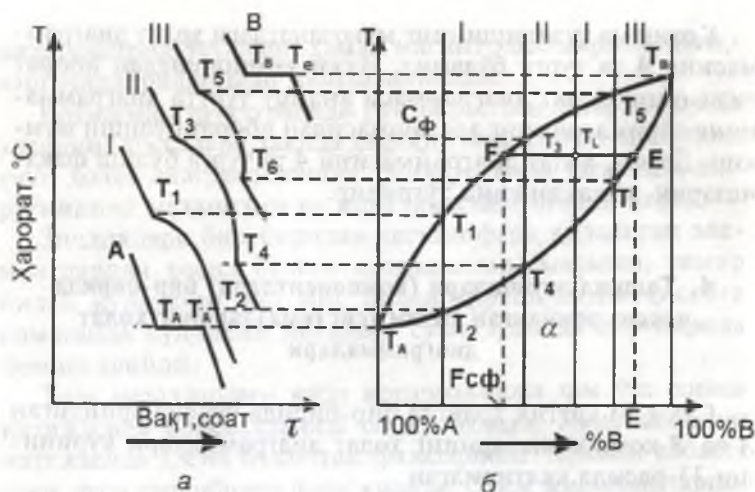
Қотишма тузилишининг мувозанатдаги ҳолат диаграммасини 4 та турга бўламиз. Икки компонентдан иборат тизимнинг ҳолат диаграммаси ана шу тўртта диаграмманинг айримларининг аралашмасидан иборат бўлиши мумкин. Демак, ҳолат диаграммасини 4 та турга бўлиш фақат назарий жиҳатдангина туғридир.

4. Ташкил этувчилари (компонентлари) бир-бирида чексиз эрийдиган тизим (система)ларнинг ҳолат диаграммалари

Суюқ ва қаттиқ ҳолатда бир-бирида чексиз эрийдиган A ва B компонентларнинг ҳолат диаграммалари кўриниши 33-расмда келтирилган.

Бундай диаграммани тузиш учун тоза A ва B компонентлар ҳамда уларнинг турли таркибли қотишмаларининг исиш ва совиш эгри чизиқлари чизилади. Совиш эгри чизиқларидаги критик нуқталар аниқланади. Тоза металлларнинг кристалланишида маълум вақт оралиғида совиш тезлиги ўзгармайди, яъни τ га параллел бўлган ҳарорат чизиғи мавжуд. Демак, кристалланиш бошланишидан тамом бўлгунга қадар ўзгармас ҳароратда содир бўлиб, бунга маълум ($\Delta t_1 = \tau - \tau_2$) вақт талаб этилади (33 а-расм). Демак, металлнинг кристалланишида ажралиб чиққан иссиқлик унинг совиётганда олган иссиқлиги билан ўзаро ейишиб кетади. Натижада кристалланиш тамом бўлгунга қадар совиш эгри чизиғида горизонтал қисм ҳосил бўлади. Иситиш жараёнида кристаллларнинг суюқланиши натижасида иссиқлик ютилади, яъни эндотермик жараён содир бўлади. Агар тоза металлларнинг совиш эгри чизиғидаги T_a ва T_b нуқталарни “ҳарорат-таркиб” диаграммасига кўчирсак, диаграммада T_a ва T_b нуқталар ҳосил бўлади (33-б расм).

Худди шу йўсинда $m\%A - n\%B$ оралиқдаги таркибга эга бўлган 1, 2, 3 ва ҳ.к. қотишмаларни олиб, ҳар бирининг совиш эгри чизиқлари тажриба асосида аниқланади ва шу эгри чизиқлардаги критик нуқта ҳолат диаграммасига кўчирилади. Кристалланишнинг бошланиш нуқталари (T_a, T_p, T_3, T_5, T_b) диаграммадаги ўз ўрни билан ўзаро бирлашти-



33-расм. Суюқ ва қаттиқ ҳолда бир-бирида чексиз эрийдиган A ва B компонентлардан иборат бўлган тизимнинг совиш эгри чизиқлари (a) ва ҳолат диаграммаси (б).

рилса, маълум ҳароратда ва маълум таркибли қотишма кристалланишини ифодаловчи эгри чизиқ — ликвидус чизиғи ҳосил бўлади. Ликвидус чизиғидан юқорида гомоген суюқ эритма, пастиди эса икки фазали гетероген тизим — суюқ ва қаттиқ фазалар мавжуд.

Совиш эгри чизиқларидаги кристалланишнинг тамом бўлиш нуқталари (T_1, T_2, T_4, T_6, T_b) диаграммадаги ўз ўрни билан ўзаро бирлаштирилса, кристалланишнинг бутунлай тамом бўлганлигини ифодаловчи эгри чизиқ — солидус чизиғи ҳосил бўлади (33-б расм). Шу чизиқдан юқорида суюқ ва қаттиқ фаза ($C_\phi + \alpha$), чизиқнинг пастиди эса фақат битта гомоген α фаза — A элементнинг B элемент билан ҳосил қилган қаттиқ эритмаси мавжуд. Қаттиқ эритма (α) қуйидагича ифодаланади: A(B), яъни B элементнинг A элементдаги қаттиқ эритмаси ёки B(A), яъни A элементнинг B элементдаги қаттиқ эритмаси.

Ҳолат диаграммасида маълум ҳароратга мос келадиган FE горизонтал чизиқ (конода) ўтказилса, бу чизиқнинг ликвидус ва солидус билан кесишган нуқталари қотишманинг таркибий қисмларини кўрсатади. Масалан, I қотишманинг T_1 ҳароратдаги фаза миқдорини аниқлаш

учун ликвидусда ётган F нуқтанинг таркиб чизигига проекцияси туширилади, бу нуқта (F_{ϕ}) қотишма суюқ фазасидаги A ва B элементларнинг T_1 ҳароратдаги миқдорини кўрсатади. Салидус чизигида ётган E нуқтанинг таркиб чизигидаги E_{α} проекцияси қотишма α қаттиқ фазасидаги A ва B элементларнинг T_1 ҳароратдаги миқдорини кўрсатади. Конода чизигидан ($F-E$) фойдаланиб (33-б расм), суюқ ва қаттиқ фаза миқдорлари аниқланади. Бунинг учун кесимлар қондасидан фойдаланилади. Масалан, γ -қаттиқ фаза ва суюқ фаза миқдорлари, яъни қаралаётган нуқтада қанча суюқ ва қанча қаттиқ фаза борлиги қуйидагича аниқланади:

$$\alpha = (F T_1) / (F E) \cdot 100\%$$

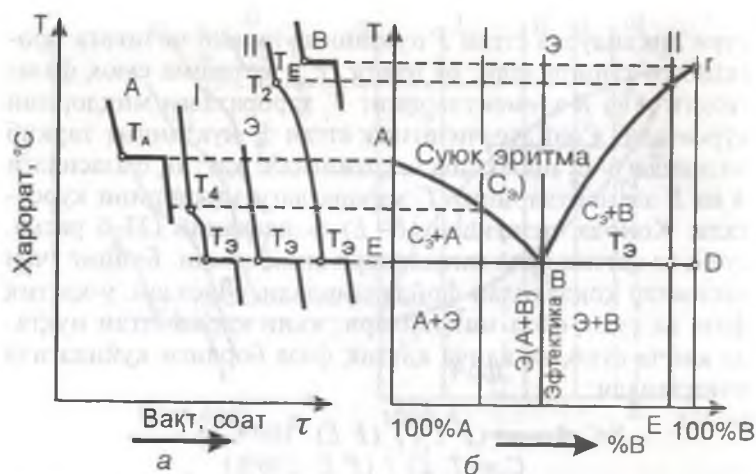
$$C_{\phi} = (T_1 E) / (F E \cdot 100\%)$$

Шундан қилиб, ҳолат диаграммаларида кесимлар қондаси ёрдамида фазалар миқдорини аниқлаш мумкин экан.

Ҳолат диаграммасидаги фаза ўзгаришлар, жумладан кристалланиш ҳам жуда секин совишиш натижасида содир бўладиган диффузион жараёндр. Реал шароитда ҳосил бўлаётган кристаллар таркиби бир хил бўлмаслиги мумкин, чунки совиш тезлиги анча фарқ қилади. Ҳолат диаграммасидаги солидус чизиги, совиш тезлиги катта бўлганда, анча пастроқдан ўтади. Ҳолат диаграммаларидаги фаза ўзгариш чизиқлари фақат мумкин қадар секин совишишдагина ўз кучига эга, совиш тезлиги ўзгарса, фаза ўзгариш чизиқлари ҳам ўзгаради.

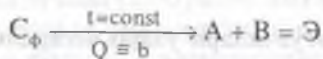
5. Ташкил этувчилари ўзаро чегарали эрийдиган тизимларнинг ҳолат диаграммалари

Металлар кўпинча бир-бирида чегарали эриб, ўзгарувчан ёки ўзгармас таркибли фазаларни ҳосил қилади. Ташкил этувчилар бир-бирида жуда кам эриган ҳолларни амалда улар бир-бирида эримайди деб қараш мумкин. Чунки бунда ҳосил бўлаётган фазалар реал шароитда фақат механик аралашмадан иборат бўлади (34-б расм). Бунда AB эгри чизиги бўйича суюқ эритмадан фақат A элементнинг кристаллари ажралиб чиқади, BC эгри чизиги



34-расм. Компонентлари бир-бирида эримайдиган тизимнинг ҳолат диаграммаси (б) ва совитиш эгри чизиқлари (а).

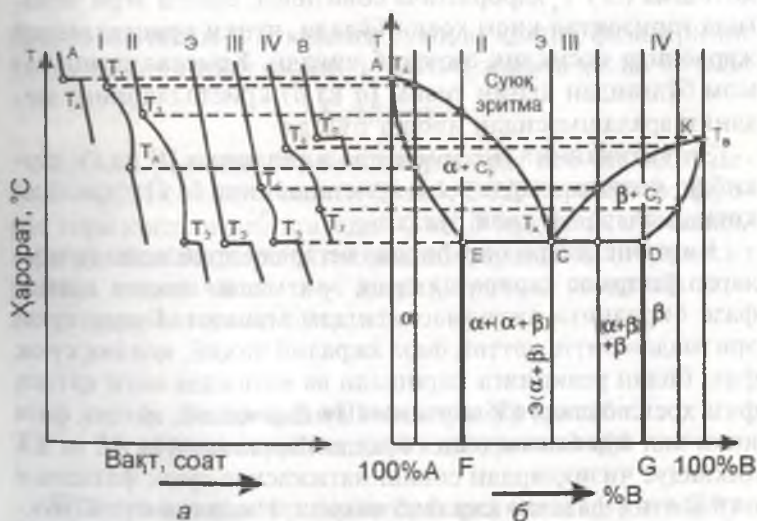
бўйича эса B элементнинг кристаллари ажралиб чиқади (ABC — ликвидус чизиги). Кристалланишнинг тамом бўлиши EBD солидус чизиги билан чегараланган. Ликвидус ва солидус чизиқларининг ораси иккита фазадан — суюқ ва қаттиқ фазалардан иборат. Суюқ фазанинг таркиби B нуқтага мос келганда ($Q = m\%A + n\%B = b$) суюқ фазадан бир пайтда ўзгармас ҳарорат (T) да иккита қаттиқ фаза A ва B кристаллар ажралиб чиқади. Бундай изотермик реакция эвтектик реакция деб аталади ва қуйидагича ифодаланadi:



Эвтектик реакция натижасида ҳосил бўлган қотишма эса эвтектик механик аралашма деб аталади.

Суюқ жисм солидус чизигидаги B нуқтадан чап ва ўнгга ётган нуқталаргача тўла парчаланмайди, бунда шу қолдиқ суюқлик таркиби B нуқтадаги суюқ қотишма таркибига тўғри келади. Шунинг учун қолдиқ суюқ фаза B нуқтанинг чап ва ўнг томонида эвтектик реакция бўйича парчаланadi. Демак, солидус чизигининг пастиди ҳосил бўлаётган қаттиқ қотишмалар чапда ($A + \text{Э}$) дан ва ўнгда

Агар элементлар бир-бирида яхшигина эриб, узгармас таркибли фазаларни ҳосил қилса, ҳолат диаграммасининг кўриниши 35-б расмда кўрсатилгандай бўлади. Бунда B элементнинг A элементдаги қаттиқ эритмаси α ҳосил бўлиб, E нуқта B элементнинг энг кўп эриган қийматини кўрсатади. Иккинчи қаттиқ эритма β эса A элементнинг B элементдаги қаттиқ эритмаси бўлиб, энг кўп эриш қиймати эса D нуқтага туғри келади. Суюқ эритманинг таркиби C нуқтанинг таркибига туғри келганда ($Q=m\%A+n\%B=b$) узгармас ҳарорат (T) да суюқликдан бир пайтда α ва β қаттиқ эритмалар ажралиб чиқиб, эвтектик-механик аралашма ҳосил бўлади:



93

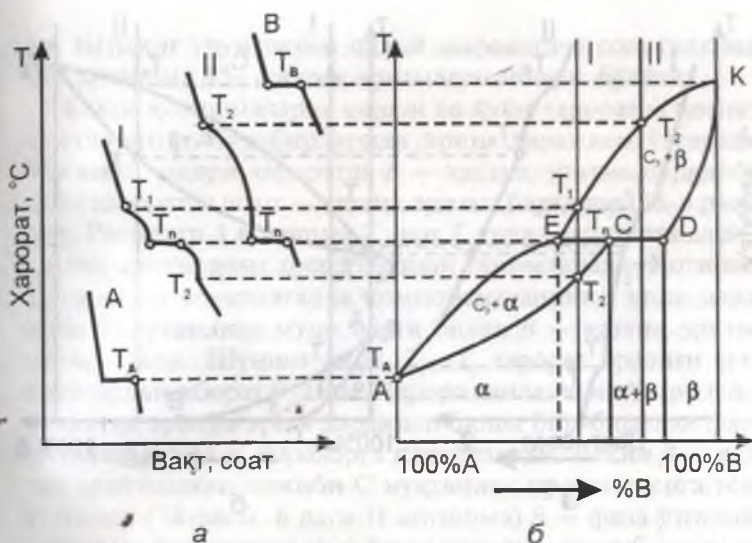
$$C_{\phi} \xrightarrow[Q \equiv b]{t = \text{const}} \alpha + \beta = \mathcal{E}$$

Ликвидус (АСК) чизигидан юқорида суюқ эритма (суюқ фаза) барқарор бўлиб, солидус чизиги (АЕСДК)дан пастда эса қаттиқ фаза мавжуд бўлади. *A* ва *B* компонент оралиғидаги исталган таркибдаги қотишмалар (I, II, Э, III, IV) нинг совиш эгри чизиклари 35-а расмда келтирилган.

Кристалланиш натижасида соф α фаза ҳосил бўладиган таркибдаги I қотишмани T_1 ҳароратгача совитганимизда кристалланиш бошланади, чунки T_1 дан юқорида тизим моновариантдир. Кристалланиш тугаганда (T_2) тизим бир фазали ҳолатга ўтади, яъни фақат α — қаттиқ эритма ҳосил бўлади. Шунингдек II таркибли қотишманинг кристалланишида T_3 — T_4 оралиғида суюқ фаза совитилганда фақат α кристаллар ажралиб чиқади. Тизим ҳарорати T_5 га тенг бўлганда қолдиқ суюқ фазадан бир вақтда α ва β фазалар ажралиб чиқади. Кристалланиш тамом бўлгандан кейин II қотишманинг қаттиқ ҳолдаги таркиби $\alpha + (\alpha + \beta)$ дан иборат бўлади. Эвтектик таркибли қотишма ($\mathcal{E}$) T_6 ҳароратгача совитилса, совиш эгри чизигида горизонтал қисм ҳосил бўлади, чунки кристалланиш жараёнида иссиқлик ажралиб чиқади. Кристалланиш тамом бўлгандан кейин тизим (α ва β) кристалларнинг механик аралашмасидан иборат бўлади.

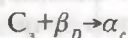
Эвтектиканинг ўнг томонида жойлашган III ва IV таркибли қотишмаларда ҳам кристалланиш I, II таркибли қотишмалардаги каби бўлади.

Компонентлари бир-бирида чегарали эрийдиган тизимларда ўзгармас ҳароратда суюқ эритмадан иккита қаттиқ фаза бирданига ажралмаслиги ҳам мумкин. Бунда суюқ эритмадан битта қаттиқ фаза ажралиб чиқиб, қолдиқ суюқ фаза билан реакцияга киришадиган натижада янги қаттиқ фаза ҳосил бўлади (36-б расм). Шундай қилиб, қаттиқ фаза икки хил йўл билан ҳосил бўлади. Биринчи йўл *AE* ва *EK* ликвидус чизиклардан совиш натижасида суюқ фазадан α ва β қаттиқ фазалар ажралиб чиқади. Иккинчи йўл *C* нуқтадаги суюқ фазанинг таркиби *E* нуқтанинг таркиб чизигидаги проекциясига ва β — қаттиқ фазанинг таркиби *D* нуқтанинг таркиб чизигидаги проекциясига тенг бўлганда



36-расм. Компонентлари бир-бирида чегарали эриб, перетектик ўзгариш ҳосил қиладиган тизимнинг ҳолат диаграммаси (б) ва совиш эгри чизиги (а).

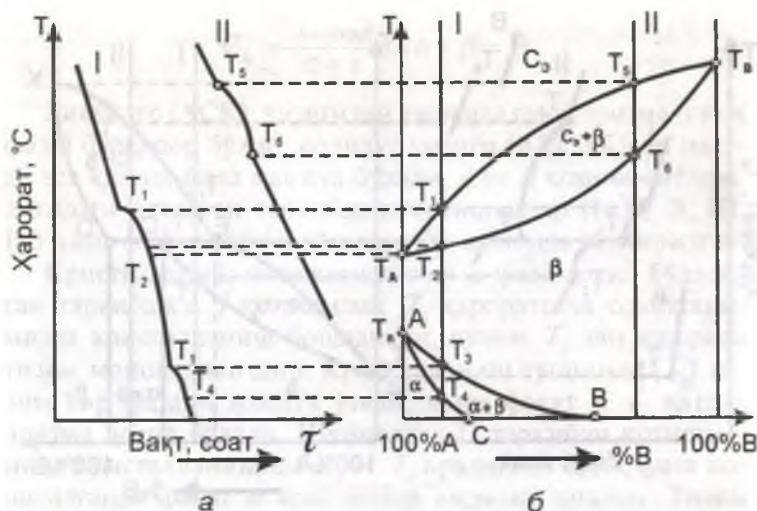
кристалланишда C нуктадаги суюқ ва қаттиқ фазаларнинг ўзаро таъсири натижасида α_c қаттиқ эритма ҳосил бўлади:



Бундай реакция перетектик реакция деб аталади. Демак, АСДК солидус чизиги бўлиб, ЕСД перетектик ҳарорат горизонтали деб аталади. C ва D нукталар проекциялари орасида эса перетектик механик аралашма ($\alpha + \beta$) ҳосил бўлади, ундан чапда α — қаттиқ эритма, ўнгда эса β — қаттиқ эритма ҳосил бўлади.

6. Полиморф ва эвтектоид ўзгаришли қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари

Кўпчилик металллар полиморф хусусиятларга эга бўлиши мумкин. Металлардаги полиморфизм қаттиқ ҳолатда қайта кристалланишга олиб келади, натижада элементар кристалл панжара турининг ўзгариши элементларнинг бир-

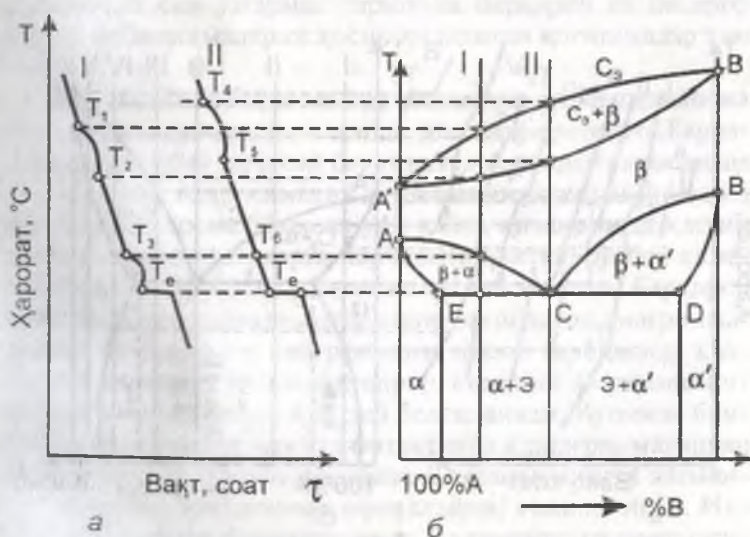


37-расм. Компонентларнинг бирида полиморф ўзгариш содир бўладиган тизимнинг совийш эгри чизиқлари (а) ва ҳолат диаграммаси (б).

бирида эриш даражасига таъсир қилади. Масалан, А ва В элементлар бир-бирларида қаттиқ ҳолатда чексиз эриса, элементлардан бирининг полиморф ўзгариш ҳароратида элементларнинг бир-бирида эриш даражаси ўзгаради (37-б расм). Диаграммадаги T_A ҳарорат А элементнинг полиморф ўзгариш ҳарорати, яъни А элемент α - ва β -модификацияларга эга. 37-а расмдаги I қотишманинг суяқ эритмасидан T_1 ҳароратда β — қаттиқ эритма ажралиб чиқа бошлайди, яъни $C_3 \rightarrow (C_3)_{\text{қол}} + \beta$, T_2 ҳароратда эса кристалланиш тугалланиб β — қотишма ҳосил бўлади. T_3 — T_4 ҳарорат оралиғида А элементнинг кристалл панжара тури ўзгариши муносабати билан α қаттиқ эритма ҳосил бўлади, T_4 ҳароратдан пастда қотишма фақат α қаттиқ эритмадан иборат бўлади. Маълумки, фақат соф А элементда полиморф ўзгариш изотермик жараён бўлади, қотишмада эса полиморф ўзгариш T_3 — T_4 ҳарорат оралиғида содир бўлади. Диаграммада В нуқтадан ўнг томонда β — қаттиқ эритма бўлади, у В элементнинг элементар кристалл панжараси асосида бўлганлиги учун полиморф ўзгариш рўй бермай-

ди. Шунинг учун тизим оддий шароитгача совитилганда ҳам қотишма β — қаттиқ эритмадан иборат бўлади.

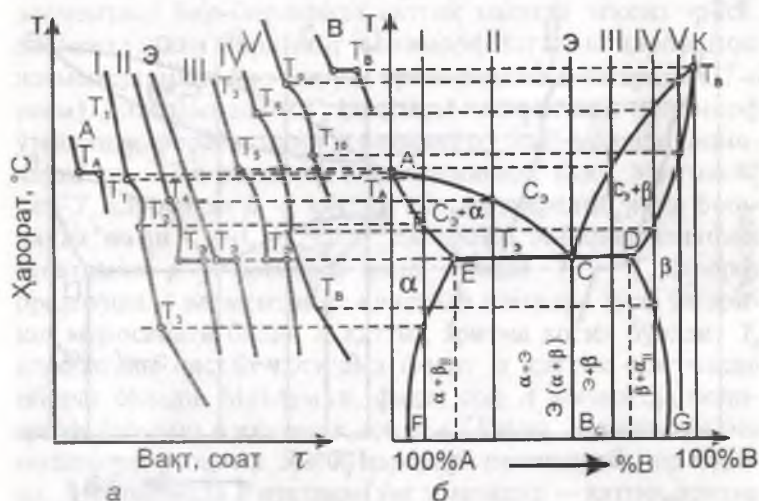
Баъзи қотишмаларда юқори ва қуйи ҳароратда компонентларнинг бир-бирларида эриш даражаси ўзгаради. Масалан, юқори ҳароратда β — қаттиқ эритма барқарор, қуйи ҳароратда эса α — қаттиқ эритма барқарор (38-а расм) дир. Расмдаги I қотишма T_1 дан T_2 гача совитилганда β — қаттиқ эритманинг ҳосил бўлиши тамомланади. Қотишма T_3 га қадар совитилганда компонентларнинг эриш даражаси ўзгарганлиги муносабати билан β — қаттиқ эритма парчаланadi. Шунинг учун T_3 — T_5 ҳарорат оралиғи $\alpha+\beta$ фазалардан иборат бўлади. Ҳарорат янада пасайтирилса, β — қаттиқ эритма эриш даражаси билан бир-биридан фарқ қиладиган α ва α' фазаларга парчаланadi. Лекин β — қаттиқ эритманинг таркиби C нуқтанинг проекциясига тенг бўлганда (38-расм, б даги II қотишма) β — фаза ўзгармас ҳароратда бирданига $\alpha+\alpha'$ фазаларга парчаланиб, механик аралашмани ҳосил қилади. Бундай реакция эвтектик реакцияга ўхшаганлиги учун эвтектоид реакция деб аталади. Умумий ҳолда бундай реакция $\beta \rightarrow \alpha + \alpha'$ деб ёзилади.



38-расм. Эвтектоид ўзгаришга эга бўлган тизимнинг совиш эгри чизиқлари (а) ва ҳолат диаграммаси (б).

Бундай реакция натижасида ҳосил бўлган $\alpha + \alpha'$ таркибли аралашма эвтектоид механик аралашма деб аталади. Эвтектоиднинг чап тарафидаги таркиб ($\alpha + \Theta$) га эга бўлган қотишма эвтектоидгача бўлган, эвтектоиднинг ўнг тарафидаги таркиб ($\Theta + \alpha'$) га эга бўлган қотишма эса эвтектоиддан кейинги қотишма деб аталади.

Қўпинча қотишмаларнинг кристалланиш жараёнида компонентларнинг бир-бирида эриш даражаси ўзгариши мумкин, яъни ўзгарувчан таркибдаги қаттиқ эритмаларни ҳосил қилиши мумкин (39-расм). Диаграммада АСК ликвидус, АЕДК солидус ҳамда ЕСД тўғри чизик эвтектоид реакция борадиган чизиклардир, EF ҳамда DG эгри чизиклар эса A ва B элементларнинг ўзаро бир-бирида эриш даражасини кўрсатувчи чизиклар (39-расм, $a, б$) дир. I таркибли қотишма T_1 ҳароратдан пастда совитилса, α — қаттиқ эритмадан ортиқча B компонент асосидаги β_{II} — қаттиқ эритма ажралиб чиқади. Иккинчи марта β — фаза ҳосил бўлаётгани учун у β_{II} фаза деб белгиланади. Худди шунингдек II ва III таркибли қотишмаларнинг кристалланиши ҳам ўзига хос хусусиятларга эга. I ва IV қотишмалардаги α



39-расм. Компонентлари ўзгарувчан таркибдаги фазаларни ҳосил қилувчи тизимнинг совинг эгри чизиклари (a) ва ҳолат диаграммаси ($б$).

ва β — қаттиқ эритмалар совиши натижасида α_{II} ва β_{II} — қаттиқ эритмаларни ҳосил қилади. Иккиламчи β_{II} қаттиқ эритманинг таркиби G нуқтага, α_{II} қаттиқ эритманинг таркиби эса F нуқтага мос келади.

Эвтектик таркиб (b_c) га эга бўлган суюқ қотишманинг ўзгармас ҳарорати (T_s) да C нуқтада эвтектик реакция содир бўлади:

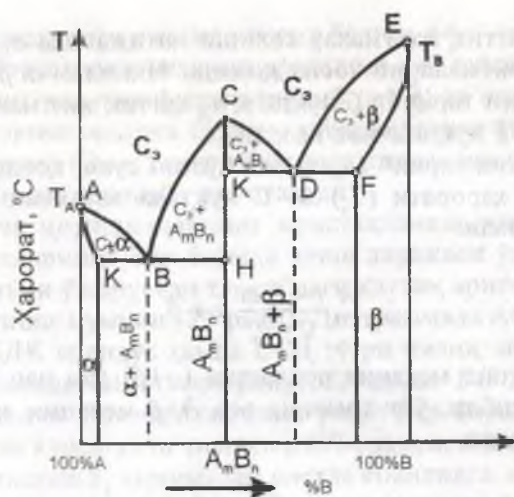
$$C, \frac{t = \text{const}}{Q = b_c} \alpha + \beta$$

Эвтектоид механик аралашма ($\alpha + \beta$) дан чап томонда $\alpha + \text{Э}$ таркибли, ўнг томонда эса $\text{Э} + \beta$ механик аралашма ҳосил бўлади.

7. Кимёвий бирикма ҳосил қиладиган қотишмаларнинг ҳолат диаграммалари

Компонентларнинг ўзаро таъсирлашуви натижасида ўзгарувчан ёки ўзгармас таркибли барқарор ва беқарор кимёвий бирикмаларни ҳосил қиладиган қотишмалар ҳам мавжуд.

Агар кимёвий бирикма кристалланиш жараёнида ҳосил бўлса ва у қайта қиздирилганда эриш ҳароратигача парчаланмаса, *бундай кимёвий бирикмалар барқарор бирикмалар* деб аталади. Агар кимёвий бирикма перетектик реакция натижасида ҳосил бўлса ва уни қайта қиздиришда қаттиқ ҳолатда бошқа фазаларга парчаланиб кетса, *бундай кимёвий бирикмалар беқарор бирикмалар* деб аталади. Барқарор кимёвий бирикмаларнинг ҳосил бўлиш ҳолат диаграммаларига 40-расмдаги диаграммани мисол тариқасида келтириш мумкин. Бунда барқарор кимёвий бирикманинг фазаси умумий ҳолда $A_n B_n$ деб белгиланади. Кўпинча бундай диаграммалар иккита эвтектикали диаграммалардан иборат бўлади. Биринчи α фаза B элементнинг A элементдаги қаттиқ эритмасини ифодалайди, яъни $\alpha = A(B)$. Иккинчи β — фаза A элементнинг B элементдаги эритмасини ифодатайди, яъни $B(A)$. Суюқ эритманинг C нуқтадаги таркиби кимёвий бирикманинг кристалланиш

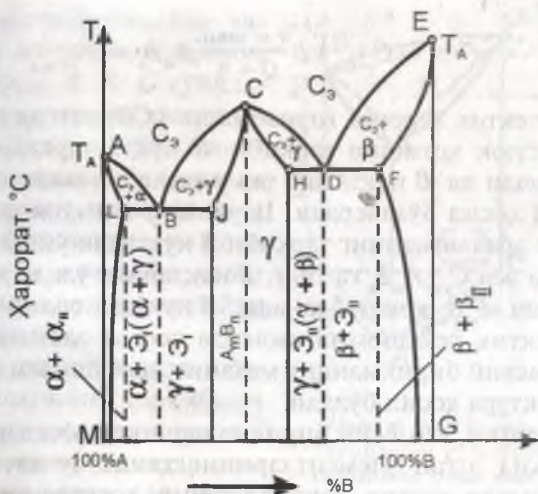


40-расм. Компонентлари ўзгармас таркибдаги кимёвий бирикмалар ҳосил қиладиган тизимнинг ҳолат диаграммаси.

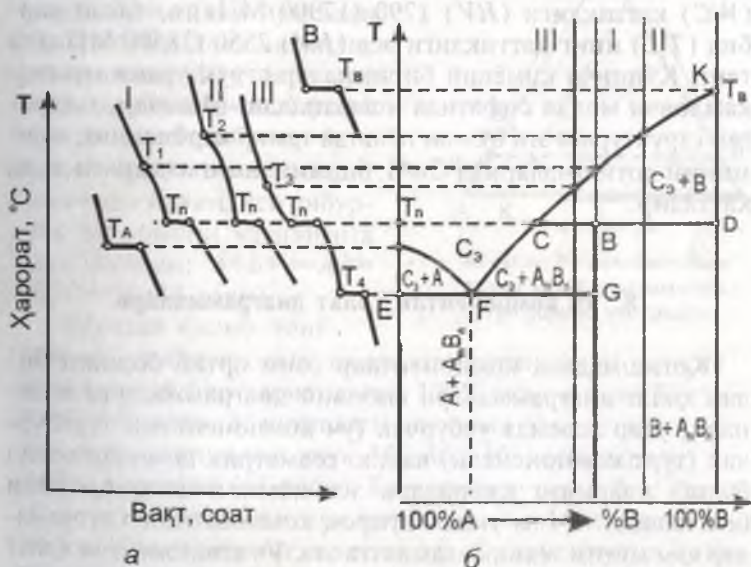
жараёнида ҳосил бўлишини белгилайди, яъни суяқ қотиш-манинг кристалланишидан $A_m B_n$ кимёвий бирикма ҳосил бўлади. Биринчи эвтектик реакция натижасида B нуқта таркибидаги қотишмада $\alpha + A_m B_n$ иккинчисида, яъни D нуқта таркибидаги қотишмада $A_m B_n + \beta$ эвтектик механик аралаш-малар ҳосил бўлади.

Кимёвий бирикма ҳосил қиладиган қотишма диаграм-маларида шу кимёвий бирикмаларни ташкил қилган эле-ментлар ўзаро чегарали эриб, ўзгарувчан таркибли фаза-ларни ҳам ҳосил қилиши мумкин (41-расм). Бунда эле-ментларнинг эриш даражасининг ҳароратга боғлиқлиги LM ва FG эгри чизиқлар билан ифодаланади.

Перетектик реакция натижасида, яъни суяқ жисмдан битта қаттиқ фаза ажралиб чиқиши натижасида қолдиқ суяқ фазанинг таркиби бойиши муносабати билан кри-сталланиш жараёнида ҳам кимёвий бирикма ҳосил бўлиши мумкин (42-расм). Бундай кимёвий бирикма беқарор ки-мёвий бирикма бўлади. B нуқтадаги қолдиқ суяқ фаза-нинг таркиби C нуқта таркибига тенг бўлганда кимёвий реакция рўй беради:



41-рasm. Компонентлари ўзгармас таркибдаги барқарор кимёвий бирикма ҳосил қиладиган тизимнинг ҳолат диаграммаси.



42-рasm. Компонентлари беқарор кимёвий бирикма ҳосил қиладиган тизимнинг совиш эгри чизиғи (а) ва ҳолат диаграммаси (б).

$$(C_3)_{\text{қол}} + B \frac{l = \text{const}}{Q = b_c} A_m B_n$$

Перетектик ҳарорат горизонтали (CD)даги ҳар қандай қолдиқ суюқ қотишма таркиби C нуқта таркиби билан белгиланади ва B нуқтадан ҳар иккала томонда кимёвий бирикма ҳосил бўлаверади. Шунинг учун кристалланган механик аралашманинг таркиби B нуқтадан ўнгда $A_m B_n + B$ га, чапда эса $C_3 + A_m B_n$ га тенг. B нуқтанинг ўзида эса суюқ эритмадан $A_m B_n$ кристалланади. F нуқтада содир бўладиган эвтектик реакция натижасида соф A элемент билан $A_m B_n$ кимёвий бирикманинг механик аралашмасидан иборат структура ҳосил бўлади.

Маълумки, кимёвий бирикмаларнинг хоссалари уларни ташкил этган элементларнинг ҳамда бу элементлар ҳосил қилган қаттиқ эритмаларнинг хоссаларидан кескин фарқ қилади. Масалан, темир карбид (Fe_3C), темир нитрид (FeN) темир ва унинг қотишмаларига қараганда катта қаттиқликка эга. Масалан, вольфрам карбиднинг (WC) қаттиқлиги (HV) 1790 (17900 МПа)га, титан карбид (TiC) нинг қаттиқлиги эса (HV) 2850 (28500 МПа) га тенг. Кўпинча кимёвий бирикмалар структурани мустаҳкамловчи модда сифатида ишлатилади. Масалан, гетероген структурага эга бўлган пулатда темир карбиднинг, алюминий қотишмаларида $CuAl_2$ бирикманинг аҳамияти жуда каттадир.

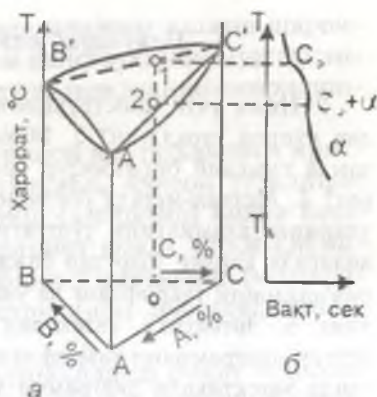
8. Уч компонентли ҳолат диаграммалари

Қотишмадаги компонентлар сони ортиб бориши билан ҳолат диаграммалари фазовий диаграммаларга айланади, улар асосида учбурчак (уч компонентли), тўртбурчак (тўрт компонентли) ва ҳ.к. геометрик шакллар ҳосил бўлиб, уларнинг қирралари эса компонент миқдорини белгилайди. Уч ва ундан кўпроқ компонентли қотишмалар ҳам муҳим техник аҳамиятга эга. Уч компонентли ҳолат диаграммаси мураккаб фазовий геометрик шакл бўлиб, асоси тенг томонли учбурчакни ташкил этади. Учбурчакнинг қирралари эса ҳар бир элементнинг миқдор ўзга-

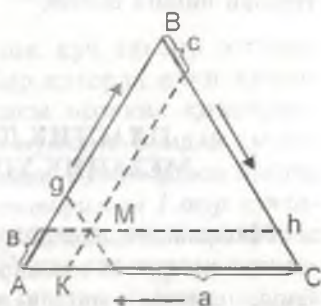
ришларини белгилайди, учларига эса элементларнинг белгилари A, B, C қўйилди ва улар шу элементларнинг миқдори 100% эканини билдиради. Уч қиррали призманинг учала томони билан биргаликда уч компонентли қотишма ҳолат диаграммасини ифодалайди (43-расм).

Уч компонентли қотишмаларнинг таркибини аниқлаш учун тенг томонли учбурчак хоссаларидан фойдаланилади (44-расм). Агар шу учбурчак ичидаги ҳар бир нуқтадаги қотишманинг таркибини аниқлаш керак бўлса, шу нуқтадан ёқларга параллел чизиқлар ўтказилади. Шу параллел чизиқлар учбурчак ёқлари билан кесилиб, a, b, c кесмаларни ҳосил қилади, уларнинг йиғиндиси учбурчак ён томони узунлигига тенг бўлади: $a+b+c=AB=BC=CA$ (44-расм).

Шундай қилиб, тенг томонли учбурчакнинг томонлари қотишмани ташкил қилувчи ҳар бир элементнинг 100% эканлигини билдиради. Масалан, M нуқтадаги қотишма элементлари миқдорини аниқлаш учун Mh, Mk, Mg кесмалардан фойдаланилади (44-расм). Бу кесмалар эса a, b, c кесмаларга тенг бўлиб, a кесма қотишмадаги A элементнинг, b кесма B элементнинг, c кесма эса C элементнинг миқдори белгилайди. Шунингдек, тенг томонли учбурчак хусусиятларидан фойдаланиб уч компонентли қотишмалар учун кўпгина қонуниятлар аниқланган.



43-расм. Бир-бирида чексиз эрийдиган уч компонентли тизимнинг ҳолат диаграммаси (a) ҳамда совиш эгри чизиғи (b).



44-расм. Уч компонентли тизим ҳолат диаграммаси учун таркиб учбурчаги.

1. Нима учун конструкцион материал сифатида қотишмалар купроқ тарқалган? 2. Механик аралашма, қаттиқ эритма ҳамда кимёвий бирикмалар орасидаги фарқ нималардан иборат? 3. Металл-металл боғланишларга мисоллар келтиринг ва уларнинг аҳамиятини тушунтиринг. 4. Жисмнинг мувозанат ҳолатида қандай шартлар бажарилиши керак? 5. Ҳолат диаграммаларини таърифланг ва унинг тузилиш усуллари кўрсатинг. 6. Эвтектика, эвтектоид ҳамда перетектик узгаришлар бўлган диаграммани таърифланг. 7. Қандай шартлар бажарилганда эвтектикали диаграмма ҳосил бўлади? 8. Қандай шартлар бажарилганда эвтектоидли ва перетектикали диаграммалар ҳосил бўлади? 9. Эвтектик парчаланишда гомоген, нисбатан бир хил доначали аралашмани ҳосил бўлишига асосий сабаб нимадан иборат? 10. Кимёвий бирикма ҳосил қилувчи диаграмма турлари нимага боғлиқ?

6-боб.

ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯНИНГ МЕХАНИК ХОССАЛАРГА ТАЪСИРИ

Машина воситалари (деталлари)нинг мустаҳкамлиги, махсус хоссаларга эга бўлиши, ишқаланиб емирилишига бардошлилиги, ишлаш муддати материалга боғлиқ бўлади. Машина воситаларини тайёрлаш учун ишлатиладиган материал яхши технологик хоссаларга эга бўлиши керак.

Материаллар мустаҳкамлиги ташқи куч таъсири остидаги материалнинг ҳолати (кучланиш табиати, деформацияланиш) билан белгиланади. Структурадаги нуқсонлар, силжиш механизми ва қотишманинг таркиби деформация қонуниятларини белгилайди.

Ташқи куч таъсирида материалда рўй бераётган структура узгаришлари механик хоссаларни синашда намоён бўлади. Механик синашда материалларнинг силжиш ва чўзилишдаги эластиклик модуллари (G , E), мустаҳкамлик чегараси (σ), нисбий узайиш (σ , %), сиқилиш (ϵ , %), зарбий қовушоқлик (a_n ёки KCU) каби муҳим хусусиятла-

ри аниқланади. Машина воситаларининг ишлаш шароитидаги мустаҳкамлигини, яъни конструкцион мустаҳкамлигини аниқлаш учун чарчашга ва ишқаланиб емирилишга қаршилиги аниқланади.

Материалларнинг конструкцион мустаҳкамлиги кристалл тузилишдаги фазалар, таркиби, нуқсон тузилиши, қотишма таркибини ўзгартириш (легирлаш) билан бошқарилади. Машина воситаларининг фақат устки қисмини мустаҳкамлаш ёки таркибини ўзгартириш (модификациялаш) орқали ҳам конструкцион мустаҳкамликни ошириш мумкин.

Материални пластик деформациялаш фақат технологик усул бўлмай, балки конструкцион мустаҳкамликни оширишнинг энг муҳим самарали йулидир.

1. Металл қотишмалари деформацияси

Қаттиқ жисмга ташқи механик куч таъсир этганда қотишмада деформация билан бир қаторда ички кучланиш пайдо бўлади. Масалан, жисм нотекис қиздирилганда ҳам шу ҳодиса рўй бериши мумкин. Бундай кучланишлар металлда турлича тарқалади. *Бутун ҳажм бўйича тарқалган кучланиш мувозанатлаштирилган I тур кучланишлар дейилади. Алоҳида доначалар (кристаллитлар) бўйича тарқалгани эса, мувозанатлаштирилган II тур кучланишлар ва ниҳоят, элементар кристалл катак ҳажми бўйича тарқалган мувозанатлаштирилган III тур кучланишлар дейилади.*

Ички куч (масалан, фаза ўзгариши) таъсирида ҳам кучланишлар вужудга келади. Бунда материал деформацияланиши, атомларнинг жойлашиш тартиби ўзгариши мумкин. Кўпинча, карбид ва нитридларнинг ҳосил бўлишида ёки ҳажми кичикроқ бўлган фаза ўрнининг ҳажми катта бўлган фаза эгаллашида ички кучланишлар пайдо бўлади.

Демак, ташқи ҳамда ички кучланишлар таъсирида жисм ўз ўлчамларини ўзгартиради, яъни деформацияланади. Жисмдан ташқи куч таъсири (кучланиш) олинса, жисм ўзининг аввалги ўлчамларига қайтиши (эластик деформация) ёки қайтмаслиги (пластик деформация) мумкин.

Эластик деформацияда кучланиш таъсирида атомлар орасидаги масофа бироз ўзгаради, лекин силжиш ёки атомларнинг кучиши рўй бермайди. Шунинг учун кучланиш йўқолиши билан жисм ўз ҳолига тез қайтади.

Монокристаллардаги деформация кристалл панжаранинг кристаллографик йўналишига боғлиқ, яъни монокристалл эластик анизотропия хусусиятига эга.

Поликристаллар учун деформация Гук қонунига бўйсунди, яъни амалда деформация кучланишга пропорционал бўлади:

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

Бу ерда E — эластиклик модули (коэффициент), δ — нисбий деформация, яъни кучланиш таъсирида намунанинг нисбий ўзгариши.

Жисмнинг муҳим хусусиятлари унинг эластиклик модулига боғлиқдир (4-жадвал).

4-жадвал

Баъзи поликристалл ҳолатдаги металлларнинг
Юнг коэффициенти

Металл	<i>Al</i>	<i>Au</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>
$E \cdot 10^{-11} \text{ МПа}$	7,19	8,02	12,3	20,5	21,7	24,0	39,6

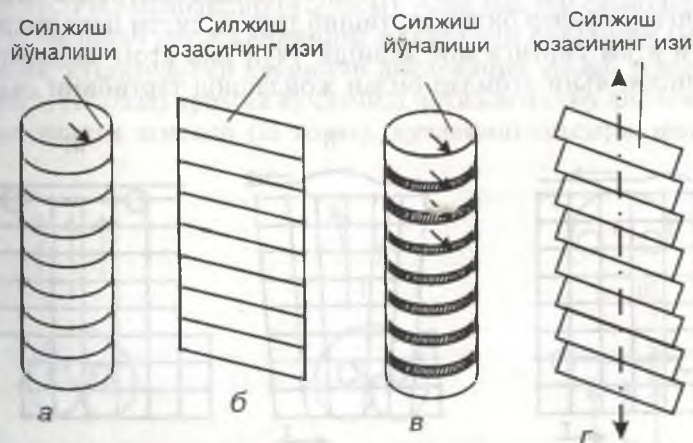
Металлардаги эластиклик чегараси кўп ҳолларда 0,01—0,1% деформация атрофида бўлади, баъзан у 10% ни ташкил қилади. Масалан, махсус хоссаларга эга бўлган қотишмаларда фаза ўзгариши рўй берганда металл эластиклиги катта бўлади.

Купчилик ҳолларда деформация пластик деформация бўлиб, жисм ўзининг аввалги ҳолатига қайтиб келмайди. Монокристалларда пластик деформация натижасида кристалл панжарадаги атомлар маълум бир сирпаниш текислиги бўйлаб силжийди. Бунда кристалл панжаранинг силжиган қисми силжимаган қисмига нисбатан аниқланади. Бу силжиш натижасида жуфтланиш ҳосил бўлади. Бу силжиш бирданига рўй бермайди, балки кучланиш маълум критик қийматга етганда бу ҳодиса содир бўлади.

Маълумки, намунага бўйлама куч таъсир этаётганда бу куч икки ташкил этувчига ажралади. Қотишманинг ташқи куч таъсирида деформацияланишида фақат уринма (тангенциал) куч иштирок этади, силжиш юзасидаги перпендикуляр йўналган нормал кучнинг аҳамияти йўқ.

Қайси бир юзага тўғри келадиган атомлар сони кўп бўлса, уша юза бўйлаб силжиш эҳтимоли кўп бўлади. Силжиш юзаси билан кристалл юзасини кесишиш чизигига силжиш чизиги деб аталади. Силжиш юзаси ва унга тегишли бўлган силжиш йўналиши биргаликда силжиш тизимини ташкил қилади. Кристалл жисмда силжиш тизимлари сони қанча кўп бўлса, металл шунча катта пластичликка эга бўлади. Масалан, ёқлари марказлашган куб ячейка (катакча) учун бу сон 12 га тенг, марказлашган куб катакча 48 га тенг, шунинг учун унинг пластичлиги катта. Мисол тариқасида 45-расмда ҳар хил сирпаниш юзаларида содир бўладиган силжишлар тушунтирилган.

Агар силжиш тизимлари сони кам бўлса (масалан, гексагонал зич жойлашган кристалл ячейкада 3 га тенг), у ҳолда деформацияланиш аксланиш (жуфтланиш) механизми бўйича содир бўлади. Демак, металлларнинг деформацияси икки йўл билан содир бўлар экан.



45-расм. Ҳар хил сирпаниш юзалари бўйича силжиш схемаси:
а, б — деформациядан олдинги ва в, г — деформациядан кейинги ҳолатлар.

2. Пластик деформация

Нуқсонсиз (идеал) кристалларда бир атом масофага силжиш рўй бериши учун жуда катта уринма куч таъсир этиши керак, чунки силжиш юзасида ётган атомлар бир пайтнинг ўзида бирданига бир атом масофага силжиши керак бўлади. Ана шу силжиш учун керак бўладиган кучланишни назарий жиҳатдан аниқлаш мумкин:

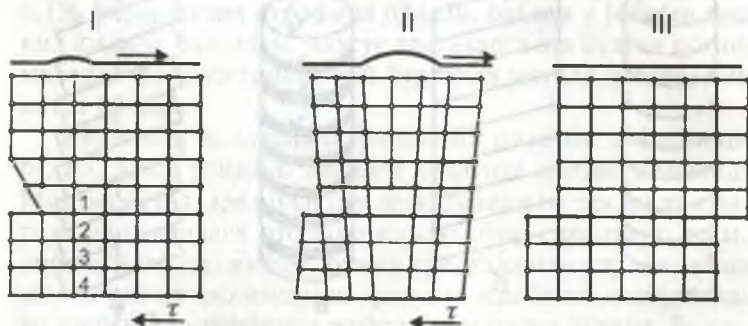
$$\tau = G / 2\pi = 0,16G$$

Бу ерда G — силжишдаги эластиклик модули.

Лекин амалиётда поликристалл материаллардаги бир атом масофага силжиш учун ҳатто 1000 марта кам кучланиш етарли бўлади, чунки реал металллар нуқсонли тузилишга эга. Нуқсонлар ичидаги энг муҳими дислокациядир.

Модомики, реал металлларда жуда кўп дислокациялар мавжуд экан, силжиш юзасидаги атомлар гуруҳини бир атом масофага силжишидан кўра, уни яқинроқ масофада турган дислокация орқали силжиши энергетик жиҳатдан қулайдир, бунда кристалл панжарадаги дислокация яқинидаги атомлар қайта жойлашади (46-расм).

Расмдаги тугалланмаган I-атом ўзидан пастроқда жойлашган атомлар билан тортишиб туриш, сирти паст қисмдаги атом сиртига мос келиши учун бир атом масофага қўчиши, яъни атомлар билан жойлашиш тартибини сақ-

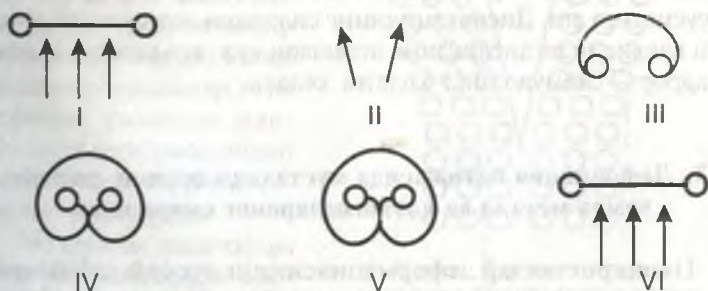


46-расм. Сирпанишдаги четки дислокация схемаси (I, II III — сирпаниш даврлари; юқоридаги эгри чизик дислокациянинг кўчишини кўрсатади).

лаш учун 2, 3-, 4-атомлар бир атом масофадан камроқ масофага силжийди. Дислокация кейинги қаторда поғона ҳосил қилмагунча бу жараён (II ҳолат) давом этади. Ниҳоят, шундай вазият вужудга келадики, (III ҳолат) тугалланмаган ярим текислик (дислокация) ажралиш юзасига чиқиб кетади, натижада атомлар бир атом масофага тула силжийди. Реал кристалларда дислокация зичлиги катта бўлганлиги сабабли ($10^7 \dots 10^8 \text{ см}^{-2}$) ҳар бир силжиш юзала-рида бир эмас, балки бир неча унлаб дислокациялар бўлгани ва улар кучланиш таъсирида ҳаракатда бўлганлиги учун металл пластик деформацияланади (чўзилади). Чўзилиш (оқиш) натижасида дислокациялар доначалар (блоklar) орасидаги юзага чиқиши сабабли поғона ҳосил бўлади. Бундай поғона, яъни силжиш чизигининг баландлиги дислокация зичлигига боғлиқ бўлади. Дислокациянинг силжиши диффузион жараёнларга боғлиқ эмас, шунинг учун амалда у ҳароратга боғлиқ бўлмайди.

Пластик деформацияда дислокация кўчиши билан унинг зичлиги ортиб, $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$ га етиши мумкин. Бунга асосий сабаб дислокация манбасининг мавжудлигидир.

Дислокациянинг кўпайиш манбаларидан энг муҳими Франк-Рид манбаидир (47-расм). Агар маълум сабабларга кўра чизиқли дислокациянинг иккала учи боғланган (масалан, қўшимча ёки кесишган дислокация ушлаб турган) бўлса, (I ҳолат) уринма кучланиш натижасида бу дислокация чизиги эгилади (II ҳолат), кучланиш таъсири давом



47-расм. Силжиш жараёнида дислокацияларнинг кўпайишини тушунтирувчи чизмалар.

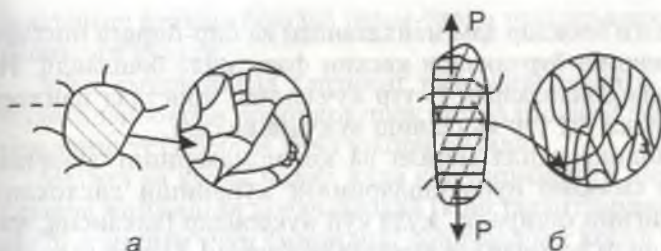
этаверса, учлари боғланганлиги учун дислокация ҳалқа шаклига келади (III ҳолат). Жараённинг кейинги тараққиётида ҳалқа бекилиб (IV ҳолат), янги (иккита) дислокация чизиги ҳосил бўлади (V ҳолат), ҳосил бўлган ҳар бир дислокация (VI ҳолат) худди I ҳолатдаги каби икки учи боғланган деб қаралади.

Биринчи босқичда пластик деформация бир тизим силжишида дислокациянинг кўчиши орқали содир бўлади, натижада кучланишнинг миқдори ортиб боради. Шундан кейин кучланиш ошмаса ҳам силжиш рўй бераверади (енгил силжиш даври), ундан кейинги даврда силжиш тизимда давом этади, дислокацион структура жуда мураккаблашади, дислокациялар бир-бири билан кесишиб, тўсиқларни ҳосил қилади (тўдали силжиш даври). Энди дислокациялар кўпайиши тўхтайди, чунки ўсиш учун бир-бирига тўсқинлик қилади; натижада механик хосса ортади, чунки материалларнинг янада деформацияланиши учун кўпроқ кучланиш талаб этилади (деформацион мустаҳкамлик пайдо бўлади). Шундай ҳолатда кучланишнинг ортиши натижасида дислокация бир силжиш юзасидан иккинчи силжиш юзасига ўтади. Лекин бунда турли ишорага эга бўлган дислокациялар ўзаро ейишиб кетиши мумкин.

Маълум ҳароратда ($\sim 0,3 T_0$) дислокация диффузия ҳисобига ҳам кўчиши мумкин. Бунда йиғилган вакансия атомлар ҳисобига бир ёки бир неча атом масофага кўчиши мумкин. Дислокациянинг бундай кўчиши “эмакляб” ўтиш деб аталади, чунки у йўлда учраган тўсиқларни ҳам айланиб ўтиши мумкин, тўсиқдан ўтгандан кейин яна бошқатдан қўшилиш хусусиятига эга. Дислокациянинг силжиши натижасида жуда кўп вакансия ва дислокация атомлари вужудга келади. Жисм беқарор — номувозанат ҳолатга келади.

3. Деформация натижасида мустаҳкамликнинг ошиши ҳамда металл ва қотишмаларнинг емирилиши

Поликристаллар деформациясининг асосий сабаблари доначаларнинг (кристалларнинг) бир-бирига нисбатан турли тартибда жойлашиши ва ажралиш юзасига эга бўлишидир. Донача чегаралари дислокация йўлидаги тўсиқ ва-

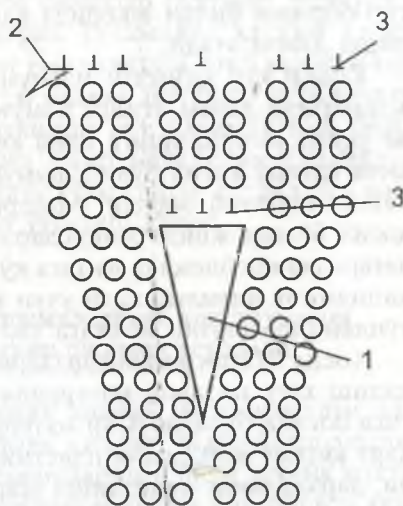


48-расм. Силжини натижасида кристалл доначанинг шакл ўзгариши: а — деформациядан аввалги; б — деформациядан кейинги донача ва структура.

зифасини бажаради, натижада чегара яқинида дислокация зичлиги ортади. Доначаларнинг бир-бирига нисбатан турлича жойлашиши уларнинг бир хил деформацияланмаслигига сабаб бўлади.

Деформация ортиб борган сари доначаларнинг деформацияланиш қиймати орасидаги фарқ камайиб боради, доначалар эса куч йуналишига перпендикуляр йуналишда тартиблана боради, яъни деформациялангандан кейин текстура ҳосил бўлади (48-расм). Деформациядан кейинги структурага деформация шароити, кристалл тузилиш ҳамда металлдаги қўшимчалар таъсир кўрсатади. Икки фазали қотишмалар учун иккинчи фазанинг мавжудлиги деформациядан кейинги структурани мураккаблаштиради.

Маълумки, доначаларнинг ўзи блоклардан иборат бўлади (49-расм). Деформацияланган структурада фаза ёки донача



49-расм. Дарзнинг вужудга келишини тўшинтирувчи чизма.
1 — дарз кетиш; 2 — донача (кристаллит) чегараси;
3 — дислокация йўналиши.

ичидаги блоклар ҳам майдаланади ва бир-бирига нисбатан жойлашиш бурчаклари кескин фарқ қила бошлайди. Натижада доначаларда II тур кучланиш, кристалл панжараларда эса III тур кучланиш вужудга келади.

Поликристалл металл ва қотишмаларнинг доначаларида силжиш йўналишларининг кўпайиши дислокация зичлигини оширади, жуда кўп нуқсонлар (вакансия, дислокацион атомлар)ни вужудга келтиради. Оддий ҳароратда рўй бераётган бундай жараён металл мустаҳкамлигини оширади. Металл ва қотишманинг бундай ҳолатини пачоқланган ёки яссиланган (наклёп) ҳолат деб аталади. Пачоқланиш даражаси кристалл панжара тузилиши ва унда ҳосил бўладиган силжиш йўналишларининг кўпчилигига боғлиқ бўлади. Пачоқланиш учун кетган механик энергиянинг қарийб 10% и жисмда ички кучланиш (потенциал энергия) тариқасида қолади. Пачоқланиш металл ва қотишмаларда анизотропик хоссаларни ҳосил қилади ҳамда уларнинг пластиклиги камайиб, оқувчанлик чегараси ортади. Пластик деформация қиймати ортиб бориши билан юқорида қайд этилган хоссалар ўзгариши давом этади.

Ташқи куч қиймати маълум даражага етганда деформациянинг давом этиши намунада дарз ҳосил бўлишига ва унинг емирилишига олиб келади. Дарз емирилишдан анча илгари ҳосил бўлиб, намуна узилгунча (емирилгунча) катталашиб боради. Материалда дислокация девори ҳосил бўлган жойда микродарз ҳосил бўлади. Доначалар чегараларида блоклар ва ўзга қўшимчалар сабабли дислокациянинг йиғилганлиги учун ўша жойда кучланишнинг тўпланиши дарзни вужудга келтиради.

Ҳосил бўлган микродарзларнинг тури ва уларнинг тарқалиш хусусиятлари материалнинг пластик ёки мўртлигига боғлиқ бўлади. Агар материал мўрт емирилса, фақат дарз кетган жойдагина пластик деформация содир бўлади, дарзларнинг кенгайиши (тарқалиши) бўлмайди. Емирилиш юзалари текис бўлмай, доначалар чегаралари яққол кўринади.

Агар микродарз ҳосил бўлган жойнинг юқорисида жуда катта деформация излари кўришиб, дарзнинг тарқалиш йўналиши билиниб турса, бундай емирилиш бошланган

бошлангич дарздан бошлаб тарам-тарам толалар аниқ йуналишга эга бўлади.

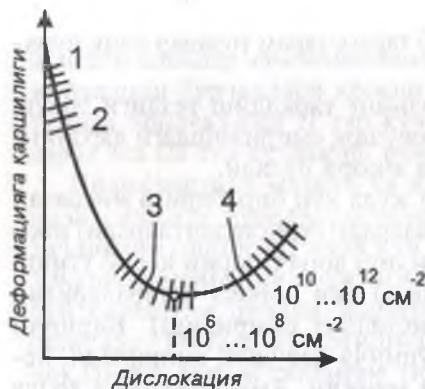
Мўрт емирилишда дарзнинг тарқалиш тезлиги товуш тезлигидан юқори, яъни қовушоқ емирилишдаги дарзнинг тарқалиш тезлигидан анча юқори бўлади.

Металл ва қотишмалар жуда кўп бир-бирига нисбатан турлича жойлашган доначалардан (кристаллитлардан) иборат бўлганлиги учун емирилиш доначаларни кесиб ўтиши (транскристаллит емирилиш) ёки донача чегараларидан ўтиши мумкин (интеркристаллит емирилиш). Биринчи ҳолда емирилиш юзаси кўпинча қовушоқ емирилади, лекин мўрт емирилиши ҳам мумкин. Аммо иккинчи ҳолда емирилиш фақат мўрт бўлади.

Емирилиш жараёнига ҳарорат, деформация тезлиги, қучланишлар таъсир этади. Кўпчилик ҳолларда, масалан, *Fe*, *Mo* *W* каби тоза металллар ҳарорат таъсирида мўрт ёки қовушоқ емирилиши мумкин. Ҳарорат пасайиши натижасида қовушоқ емирилиш мўрт емирилишга ўтиши материалнинг мўрт емирилиш чегарасини белгилайди. Қучланишларни тупловчи сабаблар (дарзлар, радиусланмаган бурчаклар, геометрик улчамнинг кескин ўзгариши) ҳам материални мўрт емирилишга олиб келиши мумкин. Шунинг учун маълум ишлаш шароити учун машина воситаларининг конструкцион мустаҳкамлигини белгилашда мўрт емирилишга олиб келадиган сабабларни ҳисобга олиш керак. Бунинг учун етарли даражадаги аниқликда механик синовлар ўтказиш керак.

4. Металл ва қотишмаларнинг конструкцион мустаҳкамлигини ошириш усуллари

Материалларнинг техник амалий мустаҳкамлиги назарий мустаҳкамлигидан фарқ қилади. Материалшуносликнинг ҳал қилинмаган муаммоларидан бири техник мустаҳкамлик билан назарий мустаҳкамликни бир-бирига яқинлаштиришдан иборатдир. Назарий мустаҳкамлик атомлар орасидаги тортишиш кучи хусусиятлари билан белгиланади ва ҳисоблаб аниқланади. Бундай мустаҳкамлик техник мустаҳкамликдан юз, ҳатто минг баробар каттадир. Реал



50-расм. Металлларнинг деформацияга қаршилигини тузилишдаги нуқсон зичлигига боғлиқлиги графиги.

металллардаги техник мустаҳкамликни назарий мустаҳкамликдан бундай фарқ қилиши металл кристалл панжаранинг нуқсонли тузилишларидандир.

Кристалл тузилишдаги дислокация сонини бошқаришнинг металл мустаҳкамлигига таъсири 50-расмда келтирилган. Мустаҳкамликнинг дислокация сонига боғлиқлиги қонуни тўғри чизиқли функция бўлмай, дислокация сони

бирор-бир критик қийматга эга бўлганда энг кам мустаҳкамликка эга бўладиган, яъни минимум мустаҳкамликка эга бўлган чизиқли функциядир. Дислокация сони ҳар бир см^2 юзада $10^6 \dots 10^8$ га етганда кристалл жисм минимал мустаҳкамликка эга бўлади (50-расм, критик нуқта). Бу нуқтанинг чап томонидаги эгри чизиқ қисмида дислокация сони камайиши билан мустаҳкамлик кескин кўпаяди, ўнг томонида эса дислокация сони ортиши билан мустаҳкамлик ортиб боради. Демак, амалда мустаҳкамликни бошқариш учун дислокациянинг сонини камайтириш ёки кўпайтириш усулларини қўллаш мумкин. Биринчи усул фақат яхлит кристалл доначадан иборат бўлган материаллар, яъни якка доначали нозик толалар олишда қўлланилади. Бундай толаларда дислокация сони жуда кам бўлиб, мустаҳкамлиги эса назарий мустаҳкамликка яқинлашиб боради. Лекин амалда бундай толаларни олиш анча қийин ва иқтисодий ноқулай бўлганлиги учун бундай толалар фақат илмий текшириш ишларида қўлланилади. Шундай бўлса ҳам баъзи пайтда композицион материалларни зўриқишга мустаҳкамлигини ошириш учун қўшимча сифатида бундай толалар қўлланилиши мумкин.

Иккинчи усул, яъни дислокация зичлигини оширишга асосланган мустаҳкамликни ошириш усули амалиётда кенг

қўлланилади. Бундай мустаҳкамликни ошириш усуллари дислокациянинг силжиш тўсиқларини ҳосил қилишга асосланган. Масалан, бунга деформацион мустаҳкамлаш (наклёп), легирлаш, термик ишлаш, кимёвий-термик ишлаш ҳамда термомеханик ишловларни кўрсатиш мумкин. Бу усуллар ёрдамида бир гуруҳ дислокацияни иккинчи гуруҳ дислокациялари тўхтатиб қолиши мумкин ёки кучаётган дислокацияни легирловчи элементлар атрофида ҳосил бўлаётган кучланиш майдони ҳам тўхтата олади. Кучаётган дислокацияларни тўхтатишда доначалар ва блокларнинг чегаралари, иккинчи фазани ташкил қиладиган узга қўшимчаларнинг ҳиссалари ҳам катта бўлади.

Шундай қилиб, 50-расмда келтирилган критик нуқтадан ўнг томонда мустаҳкамликнинг ошиши дислокация зичлигининг ошиши ҳисобига бўлади. Лекин дислокация зичлигини тўхтовсиз ошириб бўлмайди. Металларда дислокация зичлигини энг катта қиймати дарз ҳосил бўлиши билан чегараланади. Дислокациянинг критик зичлигидан ($10^6 \dots 10^8 \text{ см}^{-2}$) дарз ҳосил бўлгунча ($10^{12} \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$) зичликни ошишида материалга қўйилаётган кучланиш билан дислокация зичлиги орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$\sigma = \sigma_0 + ab \cdot G \sqrt{\rho}$$

Бу ерда σ_0 — дислокация зичлиги ошмасдан аввалги, яъни металлнинг юмшатиш ҳолатидаги силжишга бўлган, мустаҳкамлиги; a — материалнинг хусусиятлари (кристалл панжара тузилиши, донадорлиги ва ҳ.к.)га боғлиқ бўлган коэффициент; b — Бюргерс векторининг қиймати; G — силжиш модули ($G_{Fe} = 8400 \text{ МПа}$) ρ — дислокация зичлигининг ошиш даражаси. Ҳисоблар шуни кўрсатдики, дислокация зичлиги $10^{12} \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$ га етганда оқувчанлик чегарасидаги мустаҳкамлик ($\sigma_{ок}$) $10^{-2} \dots 10^{-3} G$ га етиши мумкин.

Легирлаш усули билан мустаҳкамликни оширишда, яъни дислокация кўчишини тўхтатишда легирловчи элементлар маълум миқдорда қўшилгандагина яхши натижа бериши мумкин. Дислокациянинг кўчиши легирловчи элементларнинг атом ўлчамларига, аниқроғи легирловчи элемент билан асосий элемент атомлари ўлчамлари ора-

сидаги фарққа боғлиқ бўлади. Бу боғланиш Мотта ва Набарро формулалари орқали қуйидагича ифодаланади:

$$\sigma_{ок} = G\varepsilon^2 C$$

Бу ерда ε атом ўлчамлари коэффиценти бўлиб, $(r-r_0)/r_0$ га тенг (r ва r_0 — легирловчи ва эритувчи элементларнинг атом ўлчамлари), G — эритувчи элементнинг силжиш модули, C — легирловчи элементнинг қотишма таркибидаги атом миқдори.

Легирловчи элементлар сифатида қўшиладиган қўшимчалар қотишмада сингдириш ёки ўрин алмашиш қаттиқ эритмасини ҳосил қилиши мумкин. Мустаҳкамликнинг ошиши эса қандай турдаги эритма ҳосил бўлишига боғлиқ. Масалан, сингдириш қаттиқ эритмаси ўрин алмашиш қаттиқ эритмасига қараганда мустаҳкамликни кўпроқ оширади. Сингдириш қаттиқ эритмаларида оқувчанлик чегарасидаги мустаҳкамликни ($\sigma_{ок} \approx 10^{-3}G$) — га етказиш мумкин.

Баъзи металл қотишмаларини тоблашда ёки эскиртиришда иккиламчи фазалар (оралиқ фазалар) ажралиб чиқиши мумкин. Қотишмада ана шу фазаларнинг жойлашиши дислокация кўчишига тўсиқ бўлади. Агар бундай қўшимчалар юмшоқ асосда текис тақсимланган бўлса, яхши натижа беради. Дислокация ана шу тўсиққа учраганда бўлиниши ёки тўсиқни четлаб ўтиши мумкин. Иккала ҳолда ҳам металлнинг пластик деформацияланиши қийинлашади. Иккиламчи фазалар таъсирини қуйидаги формула бўйича ҳисобга олиш мумкин:

$$\sigma_{ок} = G \cdot b/k$$

Бу ерда k — қўшни иккиламчи фазалар орасидаги масофа. Бу усул билан мустаҳкамликни ошириш жараёнида оқувчанлик чегарасидаги кучланиш қиймати $10^{-2}G$ га етиши мумкин. Бунда кўпинча карбид ва нитридлар иккиламчи фаза сифатида учрайди. Дислокациянинг кўчишига донача чегаралари тўсқинлик қилади, қўшни доначаларда силжиш юзалари бир-бирига тўғри тушмайди, чунки доначалар ёки ундаги майда блоклар ҳам бир-бирига нисбатан ҳар хил бурчакда жойлашган. Шунинг учун улар дефор-

мацияланишга қаршилиқ кўрсатади. Мустаҳкамликнинг бундай ошишини Холла-Петча ифодаси орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\sigma_{ок} = \sigma_0 + \beta d^{-1/2}$$

Бу ерда σ_0 ва β — ўзгармас қийматлар, d эса доначанинг ўртача ўлчами.

Мустаҳкамликни шу йўл билан $10^{-4}G$ га етказиш мумкин. Шундай қилиб, дислокациянинг кўчишини тўхтатишга имкон берадиган структура тузилишига эга бўлиш мумкин. Бу структура маълум ҳажмда ички кучланишларнинг тупланишига йўл қўймаган ҳолда мустаҳкамликни ўнлаб марта оширишга имкон беради. Бунинг учун қотишмани легирлаш, қотишма элементларини ўзга қўшимчалардан тозалаш, қотишма доначаларини майдалаш каби ишлар бажарилади.

Ишлатилаётган материалларнинг ҳажмий мустаҳкамлигидан ташқари шу материаллардан тайёрланган машина воситаларининг ишчи юзалари хусусиятлари ҳам катта аҳамиятга эга. Ишчи юзаларнинг юза қаттиқлиги, ишқаланишда емирилишга қаршилиги катта бўлиши керак. Бундай хусусиятларга юзани модификациялаш орқали эришилади. Масалан, юзани пластик деформациялаш орқали пухталиқни ошириш мумкин, юзани тоблаш орқали юзадан маълум чуқурликдаги структурани майдалаш, юза қатламини бошқа элементлар билан диффузион бойитиш мумкин. Ҳозирги вақтда амалиётда қўлланилаётган бундай усуллар 5-жадвалда келтирилган.

Машина воситалари ишчи юзаларини узоқ муддат ишлашига эришиш керак. Бунинг учун конструкцияларни тўғри танлаш ҳамда юза микронотекислигини, давлат андозалари (ГОСТ) га биноан белгилаш лозим.

Машинасозликда материал мустаҳкамлигига бўлган талаблар ортиб бормоқда. Шунинг учун жуда кўп навли пўлатлар ва рангли металллар саноат миқёсида ишлаб чиқарилмоқда. Масалан, ҳозирги пайтда турли пўлатларнинг мустаҳкамлиги 1600—2200 МПа ни ташкил қилса, титан қотишмаларининг мустаҳкамлиги 1000—1250 МПа, алюминий қотишмалариники эса 550—600 МПа га етади. Лекин машина конструкцияларининг мустаҳкамлигини

**Металл ва қотишмаларнинг юза қисмини
пухталаш усуллари**

Усулнинг номи	Усулларни қўллаш воситаси	Усулни қўллашдаги технологик жараён
Ишчи юзани пухта қоплам билан қоплаш	1. Кимёвий чуқтириш усули билан қоплама олиш 2. Юзани кавшарлаш	Оксидлаш, сульфидлаш фосфатлаш, электролиз усули билан металлни юзага чуқтириш ва ҳ.к. Газ алангаси, электролит, плазма ёки лазер ёрдамида кавшарлаш ва ҳ.к.
Юзадаги миқдор ўзгаришларга эришиш (модификациялаш)	Юзани диффузион бойитиш	Кимёвий-термик ишлаш
Юзадаги структура ўзгаришларга эришиш	1. Юзани термик ишлаш 2. Юзани юқори энергия ёрдамида ишлаш 3. Юзани механик ишлаш	Юқори тебранишдаги электр токи ёрдамида ёки аланга ёрдамида тоблаш ва ҳ.к. Лазер ёки плазма ёрдамида тоблаш, электроимпульс, электроэрозия ҳамда ультратовуш ёрдамида ишлаш ва ҳ.к. Юзага шар ёки ғалтак билан тебранма ҳаракатдаги (вибрация) ишловни бериш
Юза микротопографиясини модификациялаш	Юзага электрокимёвий механик ишлов бериш	Юзани электр ёрдамида ялтилатиш, юзаларни жуда нозик жилвирлаш, юза тошсиз фрикцион усулда жилвирланади.

янада ошириш масаласи янги тараққиёт талабидир. Шунинг учун юмшоқ асос ёрдамида юқори пухталиikka эга бўлган композицион материалларни лойиҳалаш усуллари яратилмоқда.

Намунавий назорат саволлари

1. Ташқи механик куч таъсири натижасида материалда деформация қандай тарқалади? 2. Металларда эластик деформацияда нима рўй беради? 3. Ташқи куч таъсирида кристаллографик юзалар бўйича силжиш эҳтимолияти нимага боғлиқ? 4. Пластик деформация қандай рўй беради ва у қандай босқичлардан иборат? 5. Поликристаллларнинг деформацияси монокристаллларнинг деформациясидан қандай фарқ қилади? 6. Пластик деформация натижасида материалнинг мустаҳкамлигини ошишига сабаб нималардан иборат? 7. Пластик деформация натижасида материалда қачон дарзлар ҳосил бўлади ва емирилишнинг сабаблари нималардан иборат? 8. Нима учун реал металллардаги техник мустаҳкамлик назарий мустаҳкамликдан кескин фарқ қилади? 9. Реал металлларнинг мустаҳкамлигини ошириш усули нималардан иборат? 10. Техник мустаҳкамликка машина воситаларининг геометрик ўлчам омилларининг таъсири борми?

7-б о б.

ДЕФОРМАЦИЯЛАНГАН МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ ҚАЙТА КРИСТАЛЛАНИШИ

Пластик деформацияланишга сарф бўлган механик энергиянинг бир қисми металлда (қотишмада) ички потенциал энергия сифатида сақланиб қолади. Бунда нуқсонлар кўпайиб, кристалл панжаранинг тузилиши тартиби бузилиши мумкин, натижада механик хусусиятлар ўзгаради, яъни пачоқланган ҳолат вужудга келади. Кристалл панжара тузилишининг бузилиши, ички кучланишларнинг вужудга келиши металлни номувозанат ҳолатга олиб келади. Шу номувозанат ҳолатни маълум кичик ҳарорат ($T < 0,1 T_c$) да термодинамик жиҳатдан мувозанатда деб ҳам қараш мумкин. Бошқача қилиб айтганда диффузион жа-

раёнлар содир бўлмайдиган шароитда пластик деформацияланган металлни термодинамик мувозанатда деб қараш мумкин.

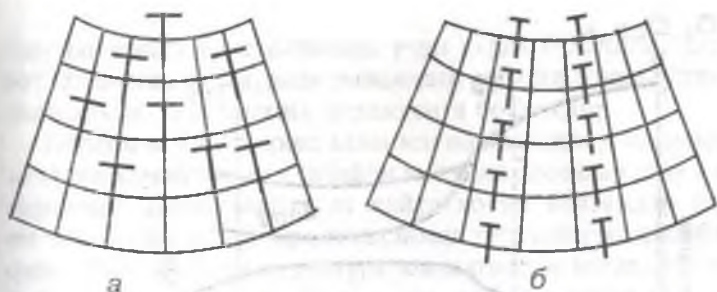
Деформацияланган металл ҳароратининг ошиши билан нуқсонлар зичлигининг камайиши ҳисобига ҳамда кристалл панжаранинг тўғриланиши натижасида янги термодинамик мувозанат ҳосил бўлади. Бундай ўзгариш қайта кристалланиш натижасида вужудга келади ва ҳароратнинг кўтарилиши даражасига қараб бир неча босқичларга бўлинади.

Пластик деформация натижасида ҳосил бўлган нуқсонлар зичлиги ва унинг металлда қандай тақсимланганлиги қайта кристалланиш жараёнининг асосий хусусиятларини белгилайди. Материалнинг конструкцион мустаҳкамлигини белгиловчи механик хусусиятлар ҳам нуқсон тузилишига боғлиқ бўлади. Қайта кристалланишнинг бошлангич давридаёқ нуқсонларнинг қайта тақсимланиши содир бўлганлиги учун ҳам металл хусусиятлари ўзгаради. Қайта кристалланишнинг кейинги босқичларида доначаларнинг ўзаро жойлашиши ҳамда унинг ўлчамлари ўзгаради, яъни қаттиқ ҳолда қайта кристалланиш содир бўлади.

Металларга механик ва термик ишлов бериш тартиби белгиланаётганда албатта қайта кристалланиш ҳарорати ҳамда қайта кристалланишдан кейинги механик хусусиятларнинг ўзгариши ҳисобга олиниши шарт. Шунинг учун материалнинг деформациядан олдинги, деформациядан кейинги ҳамда қайта кристалланишдан кейинги структура тузилишидаги ўзгаришларни ўрганиш муҳим аҳамиятга эга.

1. Қайтиш ҳамда қайта кристалланиш

Пачоқланган доначани тиклаш жараёнининг биринчи босқичида ($T < 0,3T_c$) донача ўлчамлари ва ҳолатида ҳеч қандай сезиларли ўзгариш бўлмайди, лекин баъзи хусусиятларнинг орқага қайтиши (тикланиши) содир бўлади. Қайтиш ҳам ўз навбатида икки босқичдан иборат бўлиб, биринчи босқичда материалдаги нуқтавий ва чизикли

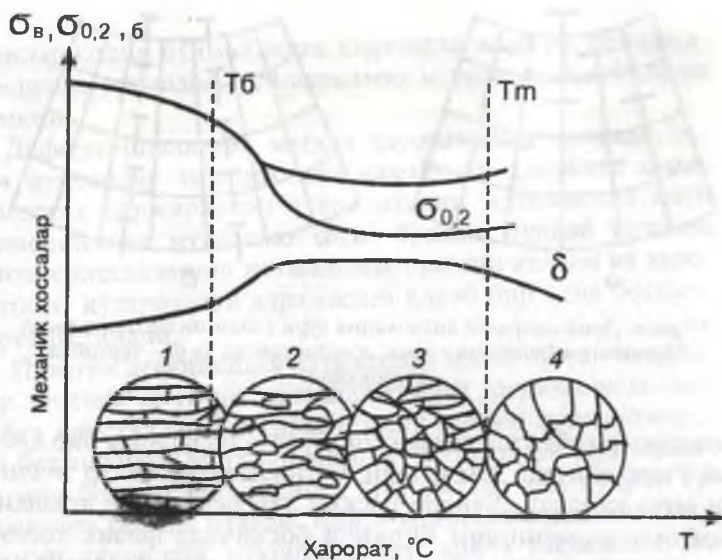


51-расм. Доначалардаги дислокация тури (полигонлар)нинг ҳосил бўлишини кўрсатувчи чизма; *а* — тартибсиз ва *б* — тартибли дислокация.

нуқсонлар қайта тақсимланади. Бу нуқсонларнинг бир қисми ўзаро ейишиб ҳам кетади, натижада нуқсонлар зичлиги анча камаيда. Бундай босқич дам бериш деб аталади. Қайтиш жараёнининг биринчи босқичида физик хоссалар аввалги ҳолига анча тикланади, механик хоссалар эса 10—15% орқага қайтади. Пластик деформация натижасида ҳосил бўлган чизикларни рентгенограммада аниқ кўриш мумкин.

Пластик деформация натижасида тартибсиз тупланган дислокациялар (51-а расм) қайтишнинг иккинчи босқичида ишоралари бўйича тартибланади, натижада металлда дислокациясиз майдонлар ҳосил бўлади (51-б расм). *Шунинг учун бу босқични хос майдонларнинг ҳосил бўлиши, яъни полигонлаш* деб аталади. Бундай тузилишни дислокацион тур ҳосил бўлиш деб аташ ҳам мумкин. Бундай тузилиш анча барқарор бўлиб, металлнинг эриш ҳароратигача сақланиб қолади. Лекин дислокациясиз майдонларнинг ҳосил бўлиши ҳамма материалларда ҳам кузатилавермайди. Масалан, мисда ҳосил бўлмайди, темир, алюминий, молибден каби металлларда ҳосил бўлади. Қайтишнинг иккинчи босқичида пачоқланган структуранинг пластиклиги ортиб, қаттиқлиги ва мустаҳкамлиги камайиб боради (52-расм). Бунда структурада содир бўладиган туб ўзгаришларга замин тайёрланади.

Ҳарорат янада оширилса, структура ўзгаришлари рўй беради, яъни пачоқланган дончалар ўрнига мувозанатдаги янги дончалар ҳосил бўлади. Бундай жараён қайта



52-расм. Пачоқланган (пластик деформацияланган) металл
қайта қиздиришда механик хосса ва тузилишнинг ўзгариши:

T_b — рекристалланишнинг бошланиш температураси:

T_t — рекристалланиш тамом бўлиш температураси:

1, 2, 3, 4 — тузилишдаги ўзгаришлар

кристалланиш (рекристалланиш) деб аталади. Бу жараён қайтишдан тубдан фарқ қилиб, эски пачоқланган доначалар ўрнига янги мувозанатдаги доначалар ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган янги доначалар нуқсонлардан анча ҳоли бўлиб, туғри ўқли шаклга эга бўлади. Янги доначаларнинг ҳосил бўлиши одатда энг кўп пачоқланган доначадан бошланади (52-расмдаги 2-структура) ва бу доначаларнинг ўсиши эса туғри ўқли шаклга олиб келади.

Кристалланишнинг бундай бошланғич даври бирламчи қайта кристалланиш деб аталади. Бундай қайта кристалланишнинг содир бўлиши учун маълум шарт бажарилиши керак. Масалан, пластик деформация маълум даража (одатда 2...8%)дан кам бўлмаслиги керак. Агар металл кимёвий тозалikka эга бўлса, қайта кристалланишнинг бошланиши учун суюқланиш ҳароратининг 10% и ҳам етарли бўлади. Қотишмалардаги қайта кристалланишнинг бошланиши учун катта ҳарорат талаб этилади (0,5...0,6 T_s).

Умуман қайта кристалланиш учун керак бўладиган ҳарорат қиздириш вақти, деформациядан аввалги донача ўлчамлари ҳамда деформация даражасига боғлиқдир.

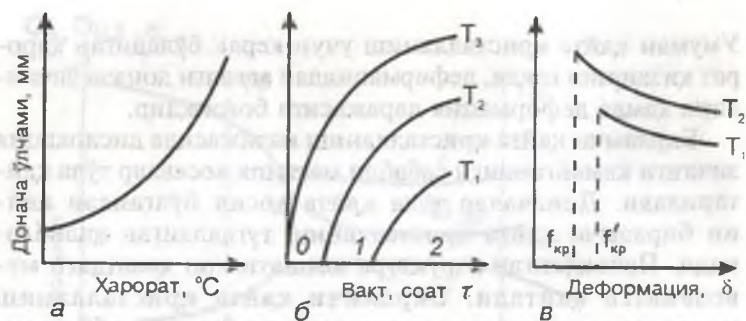
Бирламчи қайта кристалланиш натижасида дислокация зичлиги камайганлиги сабабли механик хоссалар тула қайтарилади. Доначалар тула қайта ҳосил бўлгандан кейин бирламчи қайта кристалланиш тугалланган ҳисобланади. Пачоқланган структура юмшатирилган ҳолатдаги мувозанатга қайтади. Бирламчи қайта кристалланиш натижасида структура ва хоссаларнинг ўзгариши 52-расмда келтирилган.

Агар пластик деформацияланган материал бирламчи қайта кристалланишнинг бошланиш ҳароратида бироз ушлаб турилса ёки ҳарорат бироз оширилса, қайта кристалланишнинг кейинги босқичи бошланади. Бу босқичда доначаларнинг ўртача ўлчам қийматлари текисланади. Баъзи доначалар қўшни доначалар ҳисобига ўсади. Бу босқичда термодинамика қонунларига асосан умумий ажралиш юзалари камаяди, чунки ҳар қандай жисм юза энергиясини камайтиришга интилади. *Бу босқичдаги баъзи доначаларнинг ўсиши кристалланишдаги йиғилиш деб аталади (52-расмдаги 3-структура).* Бу йиғилиш натижасида оқувчанлик чегарасидаги мустаҳкамлик янада камаяди. *Қайта кристалланишда доначанинг ўсиши маълум тезликка эга бўлганлиги учун бу жараён иккиламчи қайта кристалланиш деб аталади.*

2. Қайта кристалланишдаги тузилиш

Конструкцион мустаҳкамликни оширишнинг самарали усулларида бири структурани майдалаш, яъни майда доначали тузилиш (структура)ни ҳосил қилишдир. Қайта кристалланиш жараёнини ўрганиш учун доначаларнинг ўсиш қонуниятларини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга. Ана шу қонуниятларга асосан чегаралар кўчиши ёки нуқсонлар ейилиши ҳисобига доначаларнинг чегаралари ўзгариши мумкин.

Янги доначаларнинг ҳосил бўлишида асосан ҳарорат катта ўрин тутаети. Ҳароратнинг таъсир этиш даври ҳамда



53-расм. Рекристаллдаги донча улчаларининг ҳарорат (а) га, деформация даври (б) ҳамда деформация даражаси (в) га боғлиқлигини курсатувчи график ($T_1 < T_2 < T_3$); 01 ва 02 — инкубацион давр оралиғи; $f_{кр}$ ва $f'_{кр}$ — деформациянинг критик даражаси.

пластик деформация даражаси ҳам янги чегараларни ҳосил бўлишида муҳим аҳамиятга эга. Нисбатан кичик ҳароратда дончанинг ўсишида кам ўзгариш даври мавжуд бўлиб, ҳарорат кўтарилган сари, дончанинг ўсиши тезлашади (53-расм, а). Дончанинг ўсишига ҳароратнинг таъсир даври ҳам ҳароратга боғлиқ бўлади (53-расм, б). Пластик деформациянинг қайта кристалланаётган дончанинг ўсишига таъсири анча мураккаб (53-расм, в). Юқорида айтганимиздек, деформация критик қиймат (2...8%) дан кам бўлганда қайта кристалланиш жараёнида янги дончаларнинг ҳосил бўлиши энергетик нуқтаи назардан етарли бўлмайди. Шунинг учун кристалланиш умуман бўлмайди, чунки нуқсонлар зичлиги жуда кичикдир. Кичик деформацияда нуқсонлар зичлиги асосан донча чегарасида бўлиб, озгина ҳарорат кўтарилиши билан бу зичлик чегара томонидан ютилади, натижада чегаралар қўшилиб кетиб, дончалар жуда йириклашади. Агар деформация етарли даражада катта бўлса, нуқсон зичлиги ҳам катта бўлади, қайта кристалланишда донча чегараси йўқолиб, уларнинг бирлашиш эҳтимоли кам бўлади, дончаларнинг ўсиши чегаранинг ҳаракати натижасида руй беради. Лекин дончанинг катталиги чегараларнинг ютилиши ва дончаларнинг бирлашишидан ҳосил бўлган донча ўлчамидан кичик бўлади.

Умуман олганда, қайта кристалланишдан кейин структура изотроп хусусиятга эга бўлиши керак, яъни механик хоссалар куч йўналишига боғлиқ бўлмаслиги керак. Лекин бундай ҳолат деформация даражаси кам бўлганда рўй бериши мумкин. Деформация даражаси катта бўлганда алюминий, темир, мис ва бошқа металлларда қайта кристалланишдан сўнг механик хоссалар анизотроп хусусиятга эга бўлади. Намунанинг куч йўналишига перпендикуляр йўналишидаги хоссалари куч йўналишидагига қараганда катта бўлади. *Бу ҳолатни қайта кристалланишнинг тузилиши деб аталади.* Бу тузилиш деформацияланган металл тузилишини эслатади. Шунинг учун юмшатиш учун юмшатиш ҳарорати паст бўлганда бундай тузилиш яққол кўринади. Бундай тузилиш амалиётда хоссаларни кучайтириш мақсадида материалларни қайта ишлаш билан биргаликда кўп қўлланилади.

Қайта кристалланишга металлнинг кимёвий тозаллиги ҳамда фазанинг таркиби катта таъсир кўрсатади. Агар ўзга фаза ўлчами унча катта бўлмаса ($d < 0,1$ мкм) ва бу фазалар миқдори металл ёки қотишмада камроқ бўлса, бу қўшимчалар қайта кристалланиш жараёнига амалда таъсир кўрсатмайди. Нисбатан каттароқ ўлчам ($d > 0,1 \dots 0,5$ мкм) га эга бўлган қўшимчалар ёки иккиламчи фаза қайта кристалланишга сезиларли даражада тўсқинлик қилиши мумкин (54-расм).

Агар бундай қўшимчаларнинг сони камроқ бўлса, қайта кристалланиш тезлашади, чунки бундай қўшимчалар орасидаги масофа (l) катта бўлади. Қайта кристалланиш тезлигининг ўзга қўшимчалар орасидаги масофага боғлиқлиги донча чегаралари ҳаракатининг металл тузилишига ва фазалар ҳажмининг нис-



54-расм. Рекристалланиш ҳароратининг иккиламчи фаза ўлчамлари ва улар орасидаги масофага боғлиқлиги.

батига боғлиқлиги билан тушунтирилади. Агар иккилам-чи фазалар (ёки ўзга қўшимчалар) металлда зич жойлашган бўлса, донача чегараларининг ҳаракатига тўсқинлик қилади, яъни қайта кристалланиш секинлашади. Йирик қўшимчалар сони кам бўлса, шу қўшимчаларнинг ўзи қайта кристалланиш марказларининг ҳосил бўлишига ёрдамлашади, демак қайта кристалланишнинг тезлашишига шароит яратилади.

3. Совуқ ва иссиқ ҳолда деформациялаш

Металлар пластик деформациясидан кейин қайта кристалланиш юмшатиши жуда муҳим ўрин тутади. Ҳар қандай металл маълум даражада пластик деформацияланади. Металлнинг пластик деформацияланиш хоссасини тиклаш мақсадида қайта кристалланиш юмшатиши берилиб, структура тикланади. Ана шу йўл билан металлни исталганча пластик деформациялаш мумкин. Металларни термик ишлашда ҳам қайта кристалланиш юмшатишининг ўрни катта.

Деформация маълум даража ($2\ldots 8\%$) дан юқори ва ҳарорат маълум қиймат ($T_{кр}$) га эга бўлганда деформацияланган металлда қайта кристалланиш жараёни бориши мумкин. Деформацияланаётган металл ҳарорати (T), критик ҳарорат қийматидан кичик бўлса ($T < T_{кр}$) деформация натижасида мустаҳкамлик ортади (пачоқланган структура ҳосил бўлади) ва деформация ҳарорати қандай бўлишига қарамай, бу деформациялаш *совуқлайин деформациялаш* деб аталади. Агар деформацияланаётган металл ҳарорати қайта кристалланиш ҳароратидан катта бўлса ($T > T_{кр}$) бундай деформация *иссиқ ҳолда деформациялаш* деб аталади. Бунда мустаҳкамлик ошмайди, чунки деформация вақтида қайта кристалланиш жараёни содир бўлишга улгуради. Одатда иссиқ ҳолда деформациялаш ҳарорати қайта кристалланиш ҳароратидан анча юқори бўлади. Чунки, шунда қайта кристалланиш тезлиги ортади. Баъзи металллар учун А. П. Гуляев томонидан келтирилган қайта кристалланиш ҳарорати 6-жадвалда кўрсатилган.

**Қайта кристалланиш ва иссиқлайин
деформациялаш ҳароратлари**

Металлар	Ҳарорати, °C		
	Назарий қайта кристалланиш (0,4 T _п)	Қайта кристалланиш юмшатиши	Иссиқлигича босим остида ишлаш
Темир	450	600...700	800...1300
Пўлат	450	600...700	800...1300(11- 00)
Мис	270	450...500	600...800
Латунь	250	400...500	250...600
Алюминий	50	250...350	250...460
Молибден	900	1400...1600	1400...2000

Иссиқлайин босим остида ишлашда деформацияла-ниш билан қайта кристалланиш навбатма-навбат содир бўлганлиги учун бундай жараён **динамик қайта кристалланиш** дейилади. Бундай жараён тўхтатилиб, металл совитилса, структуранинг пачоқланган шаклини қайд қилиш мумкин. Бунда совитиш муҳитининг ҳарорати қайта кристалланиш ҳароратидан анча паст бўлиши шарт.

Баъзи жуда майда донадорликка ($d = 0,5...10$ мкм) эга бўлган материалларни иссиқ ҳолда деформациялашда жуда катта пластиклик, яъни ўтапластиклик намоён бўлади. Бундай жараёнда деформация тезлиги катта бўлиб, кучланиш кам бўлганда ҳам намунани нисбий узайиши жуда катта ($10^2...10^3\%$) бўлади. Лекин бунда материалнинг деформацион мустаҳкамлиги ошмайди. Бундай ўтапластик ҳолатнинг вужудга келишига биринчидан, дислокация-нинг доначалар чегараси бўйлаб сурилиши, иккинчидан, кучланиш, таъсирида донача атомларининг маълум йўна-лиш бўйича диффузион кўчиши сабаб бўлади.

Ўтапластик ҳолатда металлнинг оқиш чегарасидаги кучланиш деформация тезлигига боғлиқ бўлади:

$$\sigma_{оқ} = K \cdot \dot{\epsilon}^n$$

Бу ерда K коэффициент бўлиб, m деформация тезлиги кўрсаткичи. Бу кўрсаткич одатдаги материаллар учун $m \leq 0,3$ бўлса, ўтапластик материаллар учун эса $m = 0,5 \dots 0,7$ бўлади. Жуда майда доначали бир фазали системага эга бўлган материалларда ўтапластиклик намоён бўладиган ҳарорат ($0,6 \dots 0,8 T_c$) да ўтапластиклик унча барқарор бўлмайди, жараён тўхтаб қолиши мумкин.

Шу сабабдан техникада қўлланиладиган ўтапластик материаллар купинча икки фазали бўлади (эвтектикали, эвтектоидли ва бошқа қотишмалар). Бунда фазаларнинг энг катта ажралиш юзаларини таъминлайдиган фаза ҳажмларининг оптимал нисбати $1 : 1$ бўлганда, доначаларнинг юқори ҳароратда ўсишига тўсқинлик қиладиган ҳолат вужудга келади. Доначалари жуда майда бўлган ўзга қўшимчалар қўшилганда ҳам улар қотишма доначаларининг юқори ҳароратда ўсишига қаршилиқ кўрсатади. Ўтапластикликни намоён қиладиган қотишмаларга мисол тариқасида рухнинг алюминий билан (22% Al) ҳосил қилган қотишмасини ёки титан, рух ва алюминий (22% Al) қотишмасини кўрсатиш мумкин.

Ўтапластикликни пўлатларда ҳам кузатиш мумкин. Масалан, фаза ўзгариши ҳароратига яқин ҳарорат ($680 \dots 720^\circ\text{C}$) да ёки мартенситга парчаланишдаги силжиш жараёнида шундай бўлиши мумкин. Шунинг учун поғонали тоблашда ана шундай хусусиятга эга бўлган машина воситаларини эгилиш (деформацияланиш) дан сақлаш учун тобланиши билан пресс остига олинади.

Ўтапластикликни намоён қиладиган материаллардан мураккаб шаклдаги машина воситалари ҳажмий пресслаш усули билан тайёрланади, чунки бунда деформацияланиш даражаси 200...300% га етиши мумкин.

Намунавий назорат саволлари

1. Пластик деформацияланган металлни қайта қиздиришда қайтиш билан хос майдон (полигон)ларни ҳосил бўлишининг фарқи нимада? 2. Қайта кристалланиш (рекристалланиш)ни бошланиши нималарга боғлиқ? 3. Қайта кристаллангандан кейин доначалар ўлчамларининг барқарорлиги қандай кечади? 4. Қай даражада деформацияланганда қайта кристалланган доначалар

йирик бўлади? 5. Қайта кристалланишдаги тузилиш (текстура)га нималар таъсир кўрсатади? 6. Иссиқ ҳолда пластик деформацияланганда нима учун механик хоссалар ошмайди? 7. Совуқ ҳолда метални неча фоиз деформациялаш мумкин?

8-б о б.

ТЕМИР ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Ҳозирги вақтда тоза темир халқ амалиётининг жуда кўп жабҳаларида ишлатилади. Кукун металлургиясининг хом ашёси сифатида материал кукун шаклда ишлаб чиқарилади. Пайвандлаш технологиясида, трансформаторларни ишлаб чиқаришда ва бошқа кўп маҳсулотлар ишлаб чиқаришда тоза темир ишлатилади. Тоза темир ва кам углеродли темир катта пластикликка эга бўлганлиги учун чўзиш усули билан ҳосил бўладиган маҳсулотларни ишлаб чиқаришда қўлланилади. Магнит хусусиятлар темирнинг тозаллигига боғлиқ. Шунинг учун улардан магнит материаллари сифатида электротехника саноатида ўзақлар, стартер ва электр машиналарининг роторлари тайёрланади. Темир машина воситаларининг ишчи юзаларини қаттиқлигини ошириш ва уларни таъмирлаш мақсадида қоплама сифатида ҳам ишлатилади. Масалан, автомобиль ва трактор машинасозлигида ҳамда уларни таъмирлаш саноатида шундай технология қўлланилади. Темир оксидлари минерал буюқлар сифатида, баъзилари эса (Fe_2O_3 , FeO) магнит материаллари сифатида ишлатилади. Темир тузлари ҳам кўп қўлланилади.

Лекин тоза темирга нисбатан темир қотишмалари, айниқса темир-углерод қотишмаси катта аҳамиятга эга. Пулат ва чўян ҳамма мамлакатларда ҳам ҳар йили миллионлаб тонна ишлаб чиқарилади. Улар ҳозирги замон техникаси учун асосий материал ҳисобланади. Темир қотишмаларининг муҳимлиги шундаки, темир полиморфизмга, яъни аллотропик шакл ўзгаришга эга. Темир қотишмалари яхши физик-кимёвий хоссаларга ҳам эга, темир ва углероднинг ўзаро таъсирлашувидан жуда хилма-хил фазалар ҳосил бўлади. Шунинг учун ҳам бу қотишмалар саноатнинг кенг эҳтиёжини қондиради.

Ҳозирги замон саноати, яъни қурилиш, машинасозлик ва бошқа соҳаларда конструкцион пўлатлар, юқори пухталиққа эга ва коррозияга бардошли зангламас пўлатлар, кесиб ишлаш ва босим остида ишлаш учун ишлатиладиган асбобсозлик пўлатлари ҳамда золдирли подшипниклар (ишқаланиш жуфтлари) ва пружиналар тайёрланадиган пўлатлар, махсус хоссаларга эга бўлган пўлатлар жуда кенг қўлланилади.

Темир қотишмаларининг яна бир муҳим тури чуянлардир. Чуянлар яхши технологик хоссаларга эга: кам чуқма ҳосил қилади, суюқ ҳолдаги оқувчанлиги яхши ва шу билан бир қаторда етарли даражада пухта, кам ейиладиган ва бошқа муҳим хоссаларга эга бўлган материалдир. Чуянларнинг ҳам бир неча турлари мавжуд бўлиб, турли тамғаларга (марка), яъни ҳар хил навларга эга.

Темир-углерод тизимида ўзаро таъсирлашув натижа-сида олдиндан аниқ билиш мумкин бўлган материалнинг хоссаларига эга бўлиш мумкин. Бундай қотишмаларнинг хоссаларини махсус легировчи элементлар қўшиб янада кенгайтириш мумкин. Бунинг натижасида ҳолат диаграммаларидаги бурилиш (критик) нуқталарнинг ўрни ўзгариши, яъни фаза-ларнинг таркиби ўзгариши мумкин. Демак, бундай тадбирни қўллаш йўли билан материалнинг ишчи хусусиятларини, масалан, ишқаланиб емирилиш даражасини, коррозияга бардошлилигини, оловбардошлилигини ва шунга ўхшаш муҳим хоссаларини бошқариш мумкин.

1. Темирнинг хоссалари

Темир ялтироқ бўлиб, оч кулранг металлдир. У жуда узоқ тарихга эга. 7-жадвалда темир ва баъзи муҳим элементларнинг ер қобиғидаги ўртача миқдори берилган.

7-жадвал

Баъзи элементларнинг ер қобиғидаги миқдори

Элементнинг кимёвий белгиси ва номи	W	Ni	Mo	Co	Cr	Mg	Cu	Fe	Al
	воль- фрам	ни- кель	молиб- ден	ко- бальт	хром	марга- нец	мис	те- мир	алю- ми- ний
Миқдори (массага нис- батан %да)	2×10^{-1}	8×10^{-3}	3×10^{-3}	$1,8 \times 10^{-3}$	$3,5 \times 10^{-2}$	9×10^{-2}	1×10^{-2}	5,1	8,8

Бу жадвалдан кўриниб турибдики, темир *Ер* қобигида етарли даражада кўп миқдорда учрайди. Табиатда у купинча оксид ҳамда сульфат, силикат, карбонат, фосфат ва бошқа бирикмалар ҳолида учрайди. Лекин металлургия саноати учун муҳим руда материали сифатида магнетит $Fe_3O \cdot H_2O$, сидирит $FeCO_3$, гематит Fe_2O_3 , лимонит $Fe_2O \cdot H_2O$ ва бошқа шунга ўхшаш бирикмалар ишлатилади. Темирнинг бу рудалардаги миқдори 16—70% га тенг. Темирнинг энг бой рудалардаги миқдори 50% дан кўп, ўртача бойликка эга бўлган рудалардаги миқдори 25—50% ва баъзи рудалардаги миқдори 25% дан камдир.

Рудалардан пулат, ва чуян ишлаб чиқарадиган саноат соҳасига металлургия саноати деб аталади.

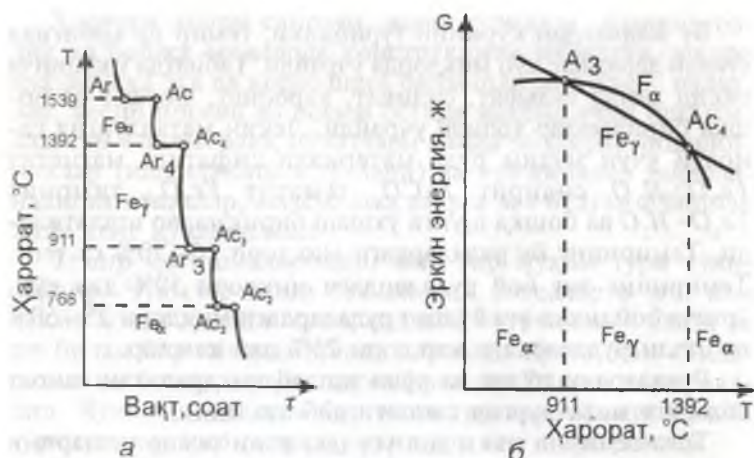
Тоза темирни икки хил усулда, яъни темир тузларини электролиз қилиш ёки оксидларини водород таъсирида қайтариш усулида олиш мумкин. Лекин кейинги вақтда руда таркибидаги темирни водород, табиий газ ва паст ҳароратда кўмир ёрдамида қайтариб олиш йўлга қўйилмоқда.

Тоза темир жуда юмшоқ ҳамда магнит хоссасига эга бўлганлиги учун унга бўлган талаб ошмоқда. Лекин металлургия маҳсулотининг қарийб 95% ини пулат ва чуян ташкил қилади.

Темир Менделеев даврий системасининг VIII гуруҳига мансуб бўлиб, кобальт ва никель билан ёнма-ён туради. Темирнинг суюқланиш ҳарорати $1539^{\circ}C$ га тенг бўлиб, қатор аллотропик шакл ўзгаришларга эга эканлигини юқорида келтирган эдик (3-расм, а).

Темир магнит хоссаларга (ферромагнит) эга бўлиши ёки бўлмаслиги (парамагнит) ҳам мумкин. Темирнинг магнит хоссаларининг ўзгариши ҳам изотермик жараён бўлиб, фақат темиргина эмас, балки кўпчилик магнит хоссаларига эга бўлган элементлар ҳам бундай қонуниятга бўйсунганини юқорида кўрсатган эдик (4-расм).

Темирнинг совиш (исиш) эгри чизигидаги (55-расм, а) изотермик ўзгаришлар (Ac_3 , Ar_3 , Ac_4 , Ar_4), яъни аллотропик шакл ўзгаришлар атом кристалл тузилишининг термодинамик барқарорлигига боғлиқ. Ҳароратга қараб α — Fe ёки γ — Fe нинг ҳосил бўлиши эркинлик даражасининг кичиклиги билан изоҳланади. Масалан, $911^{\circ}C$ ва $1392^{\circ}C$



55-расм. Тоza темирнинг совиш эгри чизигидаги фаза ўзгаришлар (а) ҳамда фазаларнинг эркин энергияси ўзгаришининг температурага боғлиқлиги (б).

ҳароратда α -Fe ва γ -Fe ларнинг эркинлик даражаси тенг. Агар ҳарорат 911°C дан кичик бўлса ёки 1392°C дан юқори бўлса, α -Fe ёки δ -Fe ларнинг эркинлик даражаси γ -Fe нинг эркинлик даражасидан кам бўлади (55-расм, б).

Темир асосидаги қаттиқ эритмаларнинг ҳосил бўлиши ҳам атом кристалл тузилишига боғлиқ. Масалан, α -ва γ -темирларнинг кристалл панжарасининг тузилиши даврлари 0,286 ва 0,0364 нм бўлиб, ундаги бўш жойларнинг ўлчами 0,06 нм ни ташкил қилса, ёқларининг ўлчами 0,1 нм га яқин бўлади. Углероднинг темирда эриш даражасининг ҳар хиллиги ҳам кристалл панжарадаги бўш жойларнинг ўлчамларига боғлиқ. Углерод атомининг ўлчами 0,154 нм га тенг бўлганлиги учун у γ -Fe га қараганда α -Fe да жуда кам эрийди.

Темир зичлиги катта бўлган металларга киради ($\gamma=7,68$ г/см³). Лекин темирнинг чўзилишдаги мустаҳкамлиги унинг тозалик даражасига боғлиқ (8-жадвал).

Темирнинг кимёвий хоссалари ҳам унинг тозалигига боғлиқ. Олдий ҳароратда ҳам ҳавода намуна юзасида занг ҳосил бўлади ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Бундай занг қатламининг тузилиши ғовак бўлиб, кислородни ўзидан осон ўткази олиши сабабли занг тагидаги металл яна зангланади.

Тоza темирнинг 20°C даги механик хоссалари

Тоza темир олиш жараёни	σ_p , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	E , МПа	σ_{-1} , МПа	HB, МПа
Вакуум усули	291,5	176,5	50	93	—	—	—
Электролит усули	180... 250	100... 140	40... 50	70...80	$21 \cdot 10^4$	$8,2 \cdot 10^4$	4500... 6000
Корбонил усули	200... 280	90... 170	30... 40	70...80	$20,7 \cdot 10^4$	—	5500... 8000
Техник тоza те- мир олиш усули	180... 320	90... 250	30... 40	70...80	$20 \cdot 10^4$ $21 \cdot 10^4$	—	8000... 2000

Темир 200°C дан юқорида қуруқ ҳавода қиздирилса, юзада юпқа оксид қатлам ҳосил бўлади, бу қатлам металлни кейинги занглашдан сақлайди. Темирни занглашдан асраш учун юза рух, никель, хром каби металлларнинг юпқа қатлами билан қопланади. Баъзи вақтда темирнинг занглашини секинлаштирадиган усуллар ҳам қўлланилади. Масалан, темир усти рух ва шунга ўхшаш металл билан қопланади (қопланган металл анод вазифасини ўтайди). Юқори даражадаги тоza темирнинг коррозияга бардошлилиги ҳам юқоридир. Темирнинг эритмаларда коррозияга бардошлилигини ошириш учун унга оз миқдорда бошқа легирловчи қўшимчалар, масалан, мис қўшилади.

Темир суюлтирилган кислоталарда эриб, водородни ажратиб чиқариш ва Fe^{+2} ионни ҳосил қилиш хусусиятига эга. Суюлтирилган HNO_3 ҳам темирни эритади. Лекин HNO_3 нинг қуюқ ва H_2SO_4 нинг 65—10% ли эритмаси таъсирида юпқа қоплама ҳосил бўлади, бу қоплама темирнинг кимёвий фаоллигини камайтириши мумкин. Темир ишқорларнинг суюқ эритмаларида эримайди.

Кислород билан темир ҳар хил валентли бўлганлиги учун кўп оксидларни ҳосил қилади. Масалан, темир (II)-оксид (FeO), темир (III)-оксид (Fe_2O_3), темир (II, III)-оксид Fe_2O_4 (FeO ва Fe_2O_3 нинг бирикишидан ҳосил бўлган).

Темир қотишмалари орасида темирнинг олтингугурт билан ҳосил қилган бирикмалари FeS ва Fe_2S ҳам учрайди.

Темир азот билан ўзаро таъсирлашиб, α -, γ -, ϵ - қаттиқ эритмаларни ҳосил қилади, баъзида нитрид фазалари (Fe_4N , Fe_3N) ҳам учрайди. Азот таъсирига асосланган маҳсус жараёнлар ҳам мавжуд бўлиб, уларни азотлаш ва нитроцементациялаш дейилади.

Темирнинг углерод билан ҳосил қилган қотишмаси саноат учун муҳим аҳамиятга эга. Пулат ва чуян таркибида ҳар хил фаза ва структураларнинг мавжудлиги пулат ва чуян хоссаларини бошқаришга имкон беради.

2. Темир-углерод қотишмалари

Углероднинг γ - Fe да яхши, α - Fe да эса жуда кам эриш хусусияти пулат ва чуянлардаги термик ишлов жараёнининг асосини ташкил қилади.

Темир углерод билан ўзаро таъсирлашиб, қаттиқ эритма, кимёвий бирикма ва механик аралашмаларни ҳосил қилиши мумкин. Темир қотишмаларига легирловчи элементларнинг таъсири ҳам хилма-хилдир. Легирловчи элементлар углероднинг темирда эриш даражасига ҳам таъсир кўрсатиб, ўзлари алоҳида карбидларни ҳам ҳосил қилишлари мумкин. Легирланган пулатда мувозанатдаги α — қаттиқ эритма — феррит қатори ҳосил бўлиши мумкин (масалан, Mo , W , Al , Si , Co ва ҳ.к.). Шунга ўхшаш Mn , Ni , Co каби элементлар темирда тўхтовсиз эриб, γ — қаттиқ эритмани ҳосил қилади, баъзи элементлар эса (C , N , Cr , Cu) γ — қаттиқ эритма ҳосил бўлиш чегарасини кенгайтиради ва ҳ.к.

Темир-углерод тизимида қуйидаги фазалар мавжуд: суюқ қотишма, қаттиқ эритмалар (феррит ва аустенит), кимёвий бирикма (цементит) ва углерод соф графит ҳолатда бўлиши мумкин. Бундан ташқари $Fe-C$ ҳолат диаграммасида перлит ва ледебурит каби механик аралашмалар ҳам ҳосил бўлади.

Углероднинг α — темирдаги қаттиқ эритмаси феррит деб аталади, углероднинг γ — темирдаги қаттиқ эритмаси эса аустенит деб аталади. Лекин α - ва γ — темирларда

углероддан ташқари яна бошқа металл ва металл бўлмаган элементлар ҳам эриши мумкин. Ҳар бир металл ва металл бўлмаган элементнинг α — темирдаги қаттиқ эритмаси ҳам феррит, γ — темирдаги қаттиқ эритмаси эса аустенит деб аталади.

Углерод темир билан ўзаро таъсирлашиб цементит (Fe_3C) кимёвий бирикмани ҳосил қилади. Бундай бирикманинг қаттиқлиги жуда катта $HV1000$ (10.000 МПа) бўлгани билан жуда мўртдир. Кристалл панжарадаги атомларнинг жойлашиши ромб шаклида бўлиб, ўлчамларининг қиймати қуйидагича: $a=0,508$ нм, $b=6,673$ нм; $c=0,451$ нм.

Цементитнинг суюқланиш ҳарорати аниқ бир қийматга эга эмас, тахминан $1250-1260^\circ\text{C}$ га тенг*. Цементит яхши магнит хоссаларига эга ҳам эмас. Фақат кичик ҳароратда кучсиз магнит хоссасига эга, 217°C дан юқори ҳароратда эса бутунлай магнитсизланади.

Суюқ қотишманинг кристалланиши натижасида бирламчи цементит ёки қаттиқ ҳолда диффузион қайта тақсимланиши натижасида иккиламчи ёки учламчи цементитлар ҳосил бўлиши мумкин. Иккиламчи (II) ва учламчи (III) цементитлар беқарор бўлиб, маълум ҳароратгача қиздирилганда қаттиқ эритма ва графитга парчаланиши мумкин.

Цементит кристалл панжарасидаги углерод ўрнини бошқа металлмас элементлар (масалан, O , N), темир ўрнини эса бошқа металл элементлар олиши мумкин (Mo , Cr , Mn ва ҳ.к.). Кристалл панжарадаги атомларнинг бундай ўрин алмашиши натижасида ҳосил бўлган қаттиқ эритма легирланган цементит деб аталади.

Углероднинг аллотропик шакли графит деб аталади. У гексагонал кристалл панжарага эга бўлиб, қатламлар ўзаро кучсиз боғланган бўлади. Шунинг учун графит юмшоқ бўлиб, мустаҳкамлиги ҳам жуда кам, суюқланиш ҳарорати эса жуда ҳам юқори (3500°C), зичлиги $2,5$ г/см³ га тенг.

* Цементит қиздирилганда парчаланиб кетиши эҳтимоли кучли бўлгани учун унинг суюқланиш ҳароратини аниқлаш қийин. Баъзи маълумотларда уни ҳатто $1500-1600^\circ\text{C}$ деб кўрсатилган.

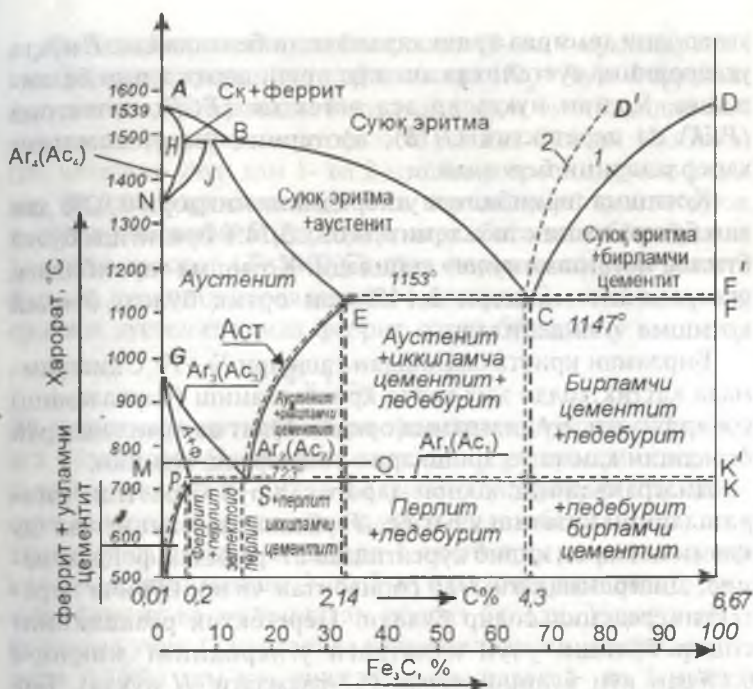
Графит электр токини яхши ўтказади, шунинг учун ундан электродлар тайёрланади. Графитнинг кимёвий барқарорлиги ҳам юқоридир.

Темир-углерод диаграммасида фазаларнинг ўзаро таъсирлашуви натижасида механик аралашмалар ҳам ҳосил бўлади. Улар ўзларининг ҳосил бўлиш шароитига эга бўлиб, маълум қонуниятларга бўйсунди.

3. Темир-углерод ҳолат диаграммаси

Икки хил ҳолат диаграммалари мавжуд бўлиб, биринчиси мувозанатда бўлмаган тизим (метастабил) диаграммаси бўлиб, темир-цементит тизими ўзгаришларини белгиласа, иккинчиси тургун (стабил) тизим диаграммаси бўлиб, темир-углерод тизими ўзгаришларини белгилайди. Темир-цементит диаграммада метастабил цементит фазаси ҳосил бўлади. Темир-углерод диаграммасида эса углерод барқарордир. Бу диаграммалар иккита горизонтал чизиқ — таркиб ўқиға эга бўлиб, углерод ва цементитнинг қотишмадаги миқдорини белгилайди. Амалда темир-углерод қотишмаларининг 6,67% углерод тутган, яъни 100% цементит ҳосил қиладиган диаграмма қисмигина муҳим аҳамиятга эга. Шунинг учун темир-углерод диаграммасининг ана шу қисмигина таҳлил қилинади ва у темир-цементит диаграммаси деб аталади (56-расм).

Амалда фаза ўзгаришларидаги совиш ҳарорати исиш ҳароратига тўғри келмаслиги мумкин. Шунинг учун диаграммада совиш “ r ” белги, исиш эса “ c ” белги билан ифодаланади. Барқарор диаграмма учун эса “ e ” белги қўлланилади. Совиш (исиш) эгри чизиқларида (56-расм) тўртта хусусий ҳарорат чизиқлари қуйидагича белгиланади: $ABC [A_2(A_c)]$ — эриш (совиш), $NH [A_{24}(A_{c4})]$ — полиморф ўзгариш; $Fe_8 \rightarrow Fe_7$; $GS [A_{23}(A_{c3})]$ — полиморф ўзгариш $Fe \rightarrow Fe_1$, $MO [A_2(A_{c2})]$ — темирдаги магнит ўзгаришини кўрсатади. Диаграммадаги $ABCD$ ликвидус чизиғи ва $ANIECF$ солидус чизиғи орасида бирламчи кристалланиш содир бўлади. Суюқ фазадан аустенитнинг ажралиб чиқиши ABC чизиғи бўйича бўлса, CD чизиғи эса суюқликдан цементитни парчаланишини кўрсатади. AN чизиғи фер-



56-расм. Темир цементит (1. беқарор) ҳамда темир-углерод (2. барқарор) ҳолат диаграммаларининг умумий кўриниши.

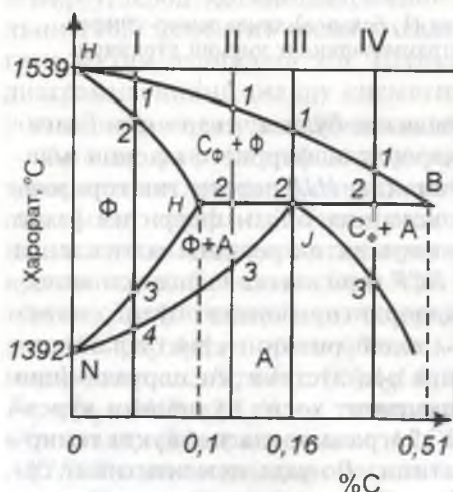
рит билан суяқ фазани мавжуд бўлиш чегарасини белгиласа, AHN эса юқори ҳароратли феррит фазасини мавжудлик чегарасини белгилайди. HJB перетектик горизонтал чизик бўлиб, суяқ қотишма билан ферритни ўзаро таъсирлашувидан, яъни перетектик реакция натижасида аустенит ҳосил бўлади. ECF горизонтал чизик эса эвтектик реакция борадиган ҳарорат горизонтали бўлиб, эвтектик механик аралашма — ледебуритнинг кристалланишини кўрсатади. PSK чизиги эса аустенитни парчаланиши натижасида феррит ва цементит ҳосил бўлишини кўрсатади. Темир — цементит диаграммасидаги A нуқта темирнинг суяқланиш ҳароратини, D нуқта цементитнинг суяқланиш ҳароратини, N ва G нуқталар эса темирнинг аллотропик шакл ўзгариш ҳароратини белгилайди. Диаграммадаги H ва P нуқталар юқори ва паст ҳароратда

углеродни темирда эриш даражасини белгилайди. *E* нуқта углероднинг аустенитда энг кўп эриш даражасини белгилайди. Қолган нуқталар эса эвтектик (*ECF*), эвтектоид (*PSK*) ва перетектик (*HIB*), изотермик ўзгаришларнинг ҳароратларини белгилайди.

Қотишма таркибидаги углероднинг миқдори 0,02% дан кам бўлса, техник тоза темир, 0,02...2,14% оралиғида бўлса бундай қотишма *пўлат* дейилади. Қотишма таркибидаги углероднинг миқдори 2,14% дан ортиқ бўлса, бундай қотишма *чўян* дейилади.

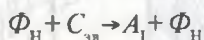
Бирламчи кристалланишдан ташқари *Fe-Fe₃C* диаграммада қаттиқ ҳолда ҳам қайта кристалланиш (парчаланиш) содир бўлади. Бу диаграмма орқали *пўлат* ва *чўян*ларда рўй берадиган ҳамма ўзгаришларни таърифлаш мумкин.

Диаграмманинг юқори ҳароратда рўй бераётган ўзгаришларини кузатиш учун *Fe-Fe₃C* диаграмманинг ана шу қисми каттароқ қилиб кўрсатилган 57-расмдан фойдаланамиз. Диаграммадаги *HIB* горизонтал чизиқ бўйича перетектик реакция содир бўлади. Перетектик реакциянинг содир бўлиши учун *пўлат*даги углероднинг миқдори 0,1%дан кўп бўлиши керак (57-расмдаги *H* нуқта). Биринчи (*I*) қотишманинг кристалланишида перетектик реакция содир бўлмайди. Диаграммадаги *ABIN* майдонда суяқ фаза ва феррит мавжуд бўлганлиги учун 1 ва 2-нуқталар орасида суяқ фазанинг кристалланиши натижасида феррит ажралиб чиқади. Сowiш давом эттирилса, 2-нуқтада кристалланиш тамом бўлиб, 2- ва 3-нуқталар оралиғида феррит ҳосил бўлади.



57-расм. Темир-цементит ҳолат диаграммасининг перетектик ўзгариш юз берадиган қисми.

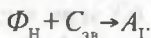
Совитишнинг кейинги босқичида (3- ва 4-нуқталар орасида) феррит аустенитга парчаланади ($Fe_\delta \rightarrow Fe_\gamma$). Ферритни аустенитга парчаланиши 4-нуқтада тамом бўлиб, ундан кам ҳароратда фақат аустенит фазаси мавжуд бўлади. Иккинчи (II) қотишма учун ҳам 1- ва 2-нуқталар орасида суяқ фазадан феррит парчаланади, лекин парчаланмай қолган суяқ фазанинг таркиби B нуқтанинг таркибига тенг бўлганда ва ўзгармас ҳарорат ($T=1499^\circ\text{C}$) даги перетектик реакциясига биноан аустенит парчаланади, натижада 2- ва 3-нуқталар орасида аустенит ҳамда феррит ҳосил бўлади:



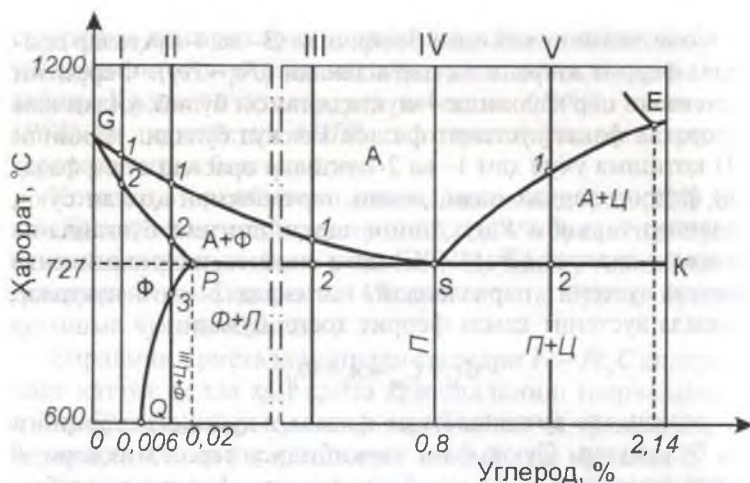
Бу реакцияда қатнашадиган фазалар қуйидаги таркибга эга бўладилар. Суяқ фаза таркибида углерод миқдори B нуқта проекцияси билан белгиланади; феррит таркибидаги углерод H нуқта проекцияси билан белгиланса, аустенитда эса углерод миқдори I нуқта проекциясига тўғри келади. Қотишманинг 2- ва 3-нуқталари орасидаги структура феррит ва аустенитдан иборат бўлади. Учинчи (III) қотишма учун (I нуқтасига тўғри келадиган углерод миқдори 0,16%) ҳам юқорида айтганимиздек 1- ва 2-нуқталар орасида суяқ фазадан феррит кристалланади. Ҳарорат 1499°C бўлганда (2-нуқта), феррит углерод миқдори H нуқта проекцияси билан белгиланади, углерод миқдори эса B нуқта проекциясига тўғри келадиган суяқ фаза билан изотермик реакцияга киришиб, углероди I нуқта проекциясига тўғри келадиган аустенитни ҳосил қилади:



Тўртинчи қотишмада (IV) (углерод 0,16...0,51%)ги 2-нуқтада қолдиқ суяқ фазанинг парчаланишидаги перетектик реакция қуйидагича бўлади:

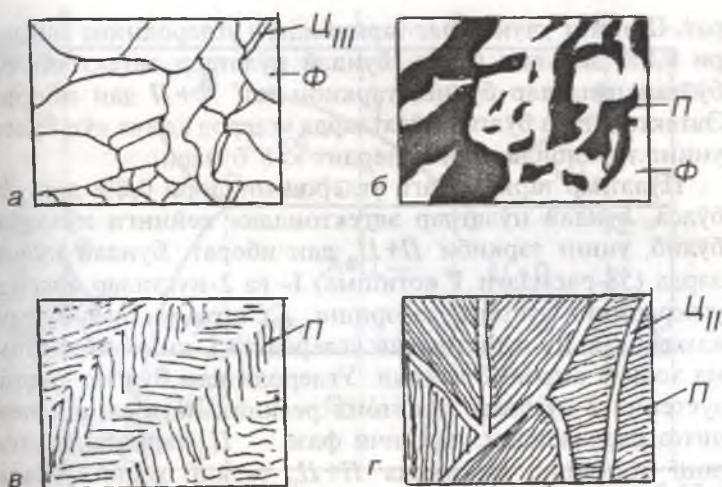


2- ва 3-нуқталар орасидаги қолдиқ суяқ фаза совиш натижасида 3-нуқтага етиб келганда аустенитга парчаланади. Шундай қилиб, таркибида 0,51% гача углерод бўлган қолдиқ суяқ қотишманинг кристалланиши натижасида IE эгри чизиги бўйича аустенит ҳосил бўлади.



58-расм. Темир-цементит ҳолат диаграммасидаги эвтектоид ўзгариш рўй берадиган қисми.

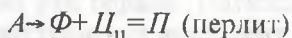
Энди диаграмманинг пастки қисмида аустенитнинг парчаланиш босқичини кўриб чиқамиз (58-расм). Оддий шароитда α темирда углерод 0,006% гача эрийди. Агар қотишмада углерод миқдори 0,006% дан кам бўлса (*I қотишма*), 1- ва 2-нуқталар орасидаги қотишма аустенит ва ферритдан иборат бўлиб, совиш ҳароратининг 2-нуқтасида аустенит ферритга парчаланadi, чунки GP эгри чизикда қотишманинг полиморф ўзгариши содир бўлади ($Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$). Совиш давом этиши билан феррит таркиби ўзгармайди. Бундай таркибга эга бўлган қотишма техник тозалikka эга бўлган темир деб аталади. Қотишмада углерод миқдори 0,006...0,02% оралиғида бўлса (*II қотишма*), бундай қотишмада 1- ва 2-нуқталар ораси аустенит ва ферритдан иборат бўлади, чунки 1-нуқтадан бошлаб полиморф ўзгариш рўй беради ($Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$). Аустенитнинг ферритга парчаланиши GS эгри чизик бўйича боради. GP эгри чизикда аустенитнинг ферритга парчаланиши та-мом бўлади. 3-нуқтадан пастда совиш натижасида феррит таркибидаги ортиқча углерод цементит ҳолида ажра-либ чиқа бошлайди, чунки совиш натижасида углерод-нинг ферритда эриши PQ эгри чизиги бўйича камаяди ва ҳосил бўлган структура (59-а расм). $\Phi + C_{III}$ дан иборат



59-расм. Пулат микротузлини (таркибидаги углероднинг фоз микдори: а — 0,01; б — 0,4; в — 0,8; г — 1,3).

бўлади (цементит феррит дончалари орасига жойлашиб, маълум қатламни ҳосил қилади). Қотишмада углерод миқдори 0,02% дан кўп бўлса (*III қотишма*), 1- ва 2-нуқталар орасида структура аустенит+ферритдан иборат бўлади, чунки 1-нуқтадан бошлаб аустенит ферритга парчаланаяди, яъни GS эгри чизиги бўйича полиморф ўзгариш ($Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$) рўй беради. Лекин 2-нуқтагача парчаланмай қолган аустенит эвтектоид реакциясига биноан феррит ва цементитга парчаланаяди. Бу қотишмада 2-нуқта S нуқтага қанча яқин бўлса, қотишма таркибидаги перлит шунча кўп бўлади (59-б, расм).

Пулатнинг таркибидаги углерод миқдори 0,8% га етганда (*IV қотишма*) аустенит изотермик парчаланаяди ($T=723^\circ C$):



Ҳосил бўлган бирикмага перлит (феррит ва цементит таёқчалари қатлам-қатлам жойлашган) дейилади (59-в расм). Бу бирикманинг ҳосил бўлиш реакцияси эвтектоид реакция деб аталади. Бундай реакция натижасида ҳосил бўлган перлит эса эвтектоид механик аралашмадан иборат.

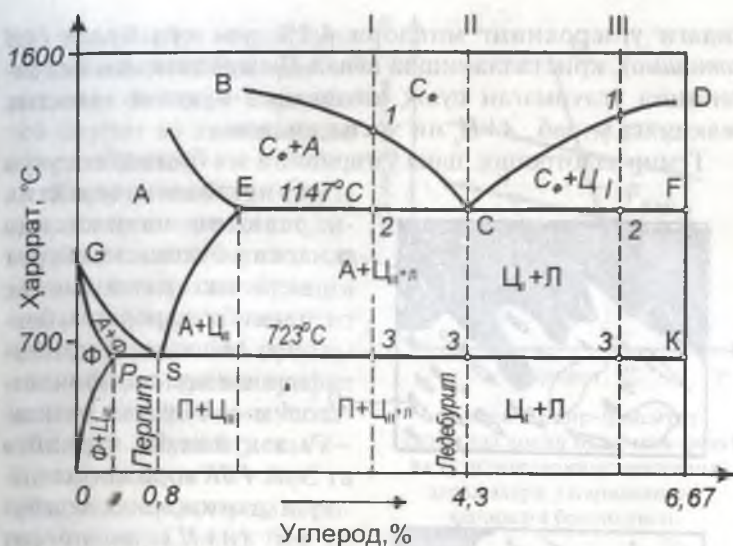
рат. Шунинг учун пулат таркибидаги углероднинг миқдори 0,8% дан кам бўлса, бундай пулатлар эвтектоидгача бўлган пулатлар бўлиб, таркиби эса $\Phi + P$ дан иборат. Эвтектоидгача бўлган пулатларда углерод қанча кўп бўлса, унинг таркибида шунча перлит кўп бўлади.

Пулатлар таркибидаги углерод миқдори 0,8% дан кўп бўлса, бундай пулатлар эвтектоиддан кейинги пулатлар бўлиб, унинг таркиби $P + C_{II}$ дан иборат. Бундай пулатларда (58-расмдаги V қотишма) I - ва 2 -нуқталар орасида углероднинг аустенитда эриши ES эгри чизиғи бўйича камаяди, яъни аустенитдан углерод Fe_3C кимёвий бирикма ҳолида ажралиб чиқади. Углероди кам бўлган қолдиқ аустенит 2 -нуқтада эвтектоид реакция натижасида перлитга парчаланади, иккинчи фаза — C_{II} таркибида ўзгариш бўлмайди. Натижада $P + C_{II}$ таркиб ҳосил бўлади. Бундан C_{II} перлит дончалари орасида ҳосил бўлиб, цементит түрини ҳосил қилади (59-г расм).

Юқорида келтирилган $Fe - Fe_3C$ диаграмма (56-расм)дан кўриниб турибдики, аустенитда углерод 2,14% гача эрийди. Пулат таркибида углерод 2,14% дан кўп бўлганда, қотишманинг кристалланиши эвтектик парчаланиш орқали рўй беради. Бундай кристалланиш натижасида ҳосил бўлган қотишма оқ чўян деб аталади (бундай деб аталишига сабаб емирилган ёки синган юза оқиш рангда бўлади). Темир-цементит диаграммасининг бу қисми 60-расмда келтирилган. BC чизиқ бўйича суяқ фазадан аустенит кристалланади ва CD чизиғи бўйича суяқ фазадан кимёвий бирикма (C_I) ажралиб чиқади. Биринчи (I) қотишма таркиби 1 - ва 2 -нуқталар орасида суяқ қотишма ва аустенит аралашмаси ҳосил бўлади. Суяқ қотишманинг 2 -нуқтадаги таркибида углерод миқдори C нуқтанинг таркибидаги углерод миқдорига тенг бўлганда, қолдиқ суяқ фаза изотермик реакция бўйича парчаланади:



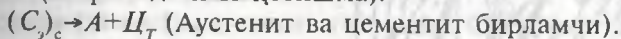
Совиш натижасида парчаланмай қолган қолдиқ суяқ фаза ECF эвтектик ҳарорат горизонталига етиб келганда унинг парчаланиши эвтектик реакция бўйича боради.



60-расм. Темир-цементит ҳолат диаграммасидаги эвтектик ўзгариш рўй берадиган қисми.

Чунки бундай қолдиқ суюқ фаза таркибидаги углерод миқдори S нуқтанинг концентрация чизиғи проекцияси билан белгиланади.

Қотишма таркибида углерод миқдори $4,3\%$ бўлганда, суюқ фазанинг кристалланиши изотермик реакция бўйича боради. Натижада суюқ қотишмадан бир пайтнинг ўзида иккита қаттиқ фазалар — аустенит ва цементит парчаланadi (60-расмдаги II қотишма):

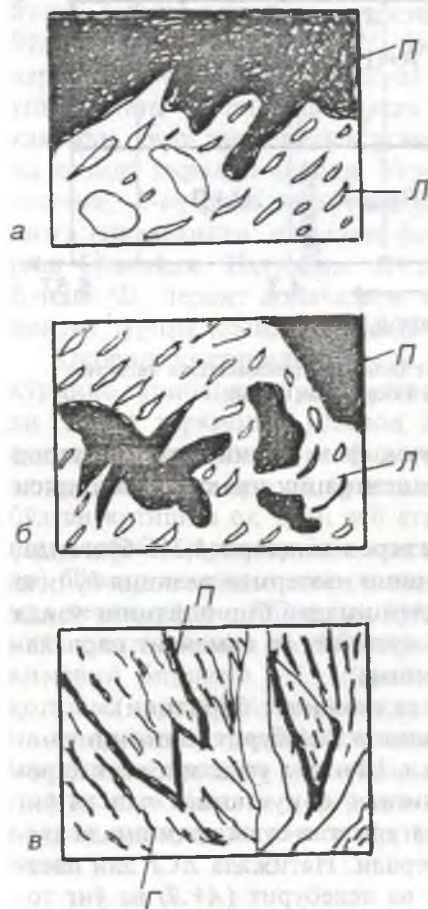


Бундай механик аралашмага ледебурит (олимнинг номига қўйилган) деб аталади. Шунинг учун эвтектик ҳарорат ($T=1147^\circ\text{C}$) тўғри чизиғида C нуқтанинг чап ва ўнг томонида парчаланишга улгурмаган суюқ қотишмада худди шундай реакция рўй беради. Натижада ECF дан пастда, чап томонда аустенит ва ледебурит ($A+L$) ва ўнг томонда ледебурит ва бирламчи цементит ($L+C_T$) барқарор структура ҳосил бўлади. Лекин ECF дан юқорида кристалланиш натижасида ҳосил бўлган аустенит ва цементитларнинг таркибида эвтектик ҳароратдан пастда совирилганда ўзгариш рўй бермайди. Суюқ қотишма тарки-

бидаги углероднинг миқдори 4,3% дан кўп бўлса (*III қотишма*), кристалланишда аввал C_1 парчаланadi, парчаланишга углурмаган суюқ қотишма 2-нуқтада эвтектик реакцияга учраб, $A+C_1$ ни ҳосил қилади.

Темир аллотропик шакл ўзгаришига эга бўлганлиги учун

С нуқтадаги эвтектик реакция натижасида ҳосил бўлган ледебуриг механик аралашманинг таркиби ҳароратга боғлиқ. Масалан, II қотишманинг кристалланишида ҳосил бўлган қотишма қуйидаги таркибга эга: *PSK* горизонтал чизикдан юқорида ледебуриг ($A+C_1$) дан иборат бўлса, чизикдан пастда эса $II+C_1$ дан иборат бўлади. Демак, *PSK* чизикнинг юқорисиди аустенит бўлганлиги учун ледебуриг таркиби $A+C_1$ дан иборат, *PSK* чизигидан пастда аустенит (*A*) эвтектонд механизми бўйича $II+C_1$ га парчалангани учун *PSK* дан пастда (I ва III қотишмадаги 3-нуқта) ледебуриг $II+C_1$ дан иборат бўлади. Юқорида кўриб чиқилган уч хил парчаланишда ҳосил бўлган эвтектикагача, эвтектика ва эвтектикадан кейинги чўян микроструктуралари 61-расмда келтирилган. Шу расмлардан кўриниб турибдики,



61-расм. Чўянинг диаграммада мувозанатдаги тузилиши.

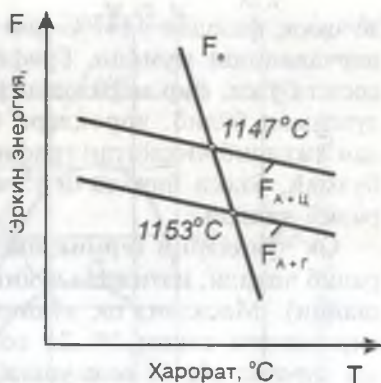
а — эвтектикагача; б — эвтектик;
в — эвтектикадан кейинги чўян структуралари.

оқ чуянларни структура таркиби перлит ёки ледебуритдан, фазавий таркиби эса феррит ва цементитдан иборат бўлади.

Юқориди айтганимиздек, углероднинг ҳолат диаграммасидаги мувозанат ҳолати икки хил бўлиши мумкин. Углерод цементит ҳолатда метастабил мувозанатда бўлса, унинг графит ҳолати эса стабил мувозанатдадир. Шунингдек, $Fe-C$ диаграммаси $Fe-Fe_3C$ га қараганда юқорироқ ҳарорат томон ва чапга бир оз

силжиган, чунки углероднинг аустенитда эриш даражаси бироз кам. Стабил диаграммада фаза ўзгариш чизиқлари штрих чизиқларда ифодаланган (56-расм). Икки хил диаграмманинг ҳосил бўлишини қуйидагича тушунтириш мумкин. Биринчидан аустенит билан цементит кристалл панжараларида ўхшашлик бор, графитнинг кристалл панжараси мураккабдир. Шунинг учун суюқ фазадан (ёки аустенитнинг парчаланиши натижасида ҳам) цементит ҳосил бўлиши осонроқ. Иккинчидан графитнинг стабиллиги термодинамик жиҳатдан катта, чунки $A+Г$ ва $\Phi+Г$ аралашмаларнинг эркинлик даражаси $A+Ц_{II}$ ва $\Phi+Ц_{II}$ аралашмаларникидан анча кам (62-расм). Суюқ ҳолатдан графит кристалланишнинг критик шароити термодинамик вазиятга мос келиши керак (62-расмдаги $F_{A+Ц_{II}}$ билан $F_{A+Г}$ оралиғи).

$Fe-C$ ҳолат диаграммасидан (56-расм) кўриниб турибдики, графит жуда кичкина ҳарорат оралиғида — стабил ва метастабил фаза ўзгариш чизиқлари орасида парчаланadi (бу фарқ тахминан $6-8^{\circ}C$ ни ташкил қилади). Шунинг учун совиш ва ўта совиш тезлиги жуда кам бўлгандагина графитга парчаланиш содир бўлади. Агар суюқ қотишмада ўзга қўшимчалар бўлса (Al_2O_3 , SiO_2 ва ҳ.к.), графитга парчаланиш енгиллашиши мумкин. Бун-



62-расм. Темир-цементит тизимида ҳосил бўлаётган фаза ва тузилишларнинг эркинлик даражалари ўзгаришининг ҳароратга боғлиқлиги.

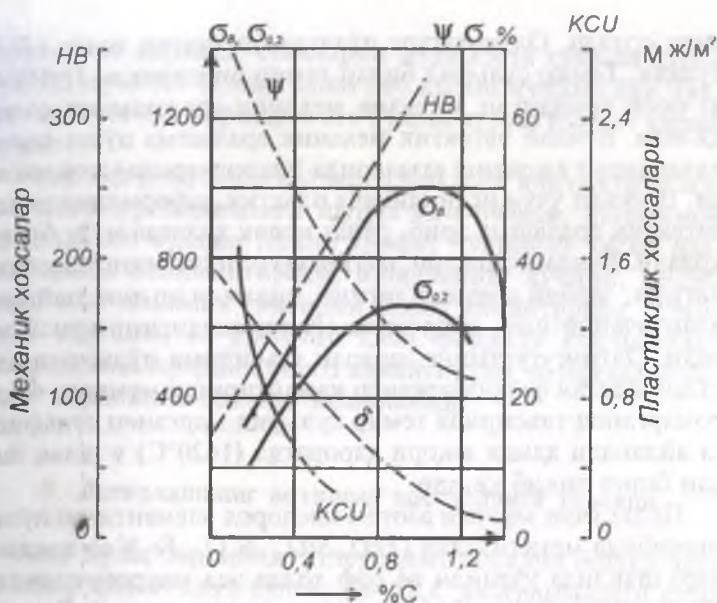
да суюқ фазадан 1147°C дан паст ҳароратда ҳам графит парчаланиши мумкин. Графит кристаллари суюқликдан ҳосил бўлса, бир марказдан ўса бошлайди ва шакли юлдузсимон бўлиб, япроқлари буралган бўлади. Аустенитдан ажралиб чиқаётган графит эса мустақил марказга эга бўлмай, балки бирламчи ўзга қўшимчалар сифатида ажралиб чиқади.

Оқ чўянларни термик ишлаш натижасида графит ажралиб чиқади, натижада чўянни қаттиқлиги камаёди (юмшайди). Масалан, оқ чўянни бир меъёردа $950...1000^{\circ}\text{C}$ ҳароратгача секин $20...25$ соат давомида қиздирилса ва шу ҳарорат $10...18$ соат ушлаб турилса, цементит графитга парчаланadi. Бундай таркибга эга бўлган чўянни энди машина конструкцияларини ясашда ишлатиш мумкин.

4. Углерод ва доимий қўшимчаларнинг қотишма хоссаларига таъсири

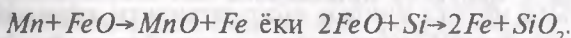
Пўлат таркибида темир ва углероддан ташқари жуда кўп ўзга қўшимчалар бор. Лекин пўлатнинг хоссалари асосан углерод миқдориға боғлиқ бўлади. Биринчи навбатда механик хоссалар углерод миқдориға боғлиқ (63-расм). Пўлат секин совитилганда унинг таркиби $\Phi + \Pi_{II}$ дан иборат, цементитнинг миқдори эса углерод миқдориға тўғри пропорционалдир, яъни пўлатда қанча цементит кўп бўлса, углерод ҳам шунча кўп бўлади. Пўлатдаги феррит фаза нисбатан юмшоқ ва иластик бўлса, цементит қаттиқ ва мўрт бўлади. Таркибидаги углероднинг ортиши билан пўлатнинг мустаҳкамлиги σ_b ва қаттиқлиги (HB) ортиб боради, зарбий қовушоқлиги (KSI) ҳамда иластиклиги (δ , ψ) камаёди. Шунингдек, иссиқлик ва электр ўтказувчанлиги, магнитланиш хусусиятлари ҳам камаёди. Пўлат таркибида углерод миқдори кўп бўлса, ($C > 1,0\%$) мустаҳкамлик камаёди, мўртлик эса ортади. Чунки доначаларнинг чегарасида цементит тури ҳосил бўлади, натижада донача чегараларида ички кучланиш ортиб боради ва натижада материал мўрт емирилади.

Пўлат таркибидаги табиий қўшимчаларнинг ҳам фойдали, ҳам зарарли томонлари бор. Фойдали қўшимчалар-

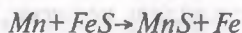


63-расм. Пулатнинг механик хоссаларини таркибдаги углерод миқдорига боғлиқлиги.

га марганец, кремний, алюминий ва ҳоказолар киради. Улардан пўлат олишда, яъни темир оксиддан темирни қай- тариш мақсадида ҳам қўлланилади:



Суюқлантирилган пўлатга ферромарганец ёки ферро- кремнийни қўшиш билан пўлатни зарарли элементлар- дан ҳам тозалаш мумкин.



Зарарли элементларга олтингугурт, фосфор, кислород, водород, азот ва ҳоказолар киради. Бу элементлар пўлат хоссаларига салбий таъсир кўрсатади. Бу элементлар таъ- сирида пўлатнинг иссиқ ёки совуқ ҳолдаги мўртлиги ор- тади, шастиклиги ва қовушоқлиги камаяди ва ҳоказо. Ле- кин баъзи вақтларда фосфор миқдори атайлаб оширилади. Чунки фосфор қўшилганда кесиб ишлаш осонлашади, мис билан биргаликда пўлатнинг коррозияга бардошли-

лиги ортади. Олтингугурт пўлатда боғланган ҳолда (FeS) бўлади. Темир сульфид билан темир биргаликда $T=988^{\circ}C$ да осон эрийдиган эвтектик механик аралашмани ҳосил қилади. Бундай эвтектик механик аралашма пўлат доначаларининг ажралиш юзларида (чегараларида) жойлашади. Шунинг учун иссиқлигича пластик деформациялашда эвтектик аралашма эриб, пўлат иссиқ ҳолатда мўрт бўлиб қолади. Бундан ташқари, олтингугурт пўлатнинг пластиклигини, зарбий қовушоқлигини, чидамлилигини, пайвандланувчанлигини, коррозия мустаҳкамлигини камайтиради. Олтингугуртнинг зарарли таъсирини пўлат олишда қўшиладиган ферромарганец камайтириши мумкин. Ферромарганец таъсирида темир сульфид марганец сульфидга айланади ҳамда юқори ҳароратда ($1620^{\circ}C$) у шлак билан бирга чиқиб кетади.

Пўлат учун зарарли азот ва кислород элементлари пўлат таркибида металмаслар (FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_4N ва ҳоказолар) шаклида учрайди ва соф ҳолда эса макронуксонлар тўпланган жойда жойлашади (дарз ва говакларда). Бу элементлар пўлатнинг совуқ ҳолдаги мўртлигини оширади.

Водород қаттиқ эритма таркибидаги дарз микроговакларида жойлашган бўлади. Агар пўлат таркибида водород кўп бўлса, у бир жойга тўпланиб, микродарз ҳосил қилади. Микродарзнинг шакли шарга яқин бўлади. Уни емирилиш юзасидаги оқ белгилар шаклида кўриш мумкин, яъни металл ичидан емирилганлиги кўриниб туради. Пўлат таркибидаги водороднинг бир жойга тўпланмаслиги учун пўлатни иссиқлигича деформациялашдан кейин секин совитиш керак. Узоқ вақт $250^{\circ}C$ ҳарорат атрофида қиздирилса, у тарқалиб кетади (диффузияланади).

Демак, шуни таъкидлаш керакки, зарарли қўшимчаларнинг миқдорини камайтириш учун пўлат олиш вақтида ачитиш жараёнини тўғри бошқариш керак. Масалан, вакуум ёрдами билан пўлат эритишда кислород, водород ва азот миқдорини камайтириш мумкин.

Машинасозликда қўлланиладиган чўянларда углерод эркин ҳолда — графит шаклида бўлади. Чўян пластик ва мустаҳкам феррит, цементит фазалар ҳамда осон сирпанадиган мустаҳкамлиги жуда кам бўлган юмшоқ графит фазалардан тузилгандир. Агар графитни структурадаги

нуқсон деб қаралса, чуянларни жуда катта ҳажмли қўпол нуқсонларга эга бўлган пулат деб қараш мумкин ёки нуқсон тури ва қўп дарзларга эга бўлган структура деб қараш мумкин.

Чуянлар таркибидаги углерод миқдори қанча қўп бўлса, уларнинг мустаҳкамлиги шунча кам бўлади, яъни ёмон чузиладиган бўлади. Лекин графит чуяннинг кесиб ишланишини осонлаштиради, ишқаланиш кучини, тебранишни ва динамик таъсирни бироз камайтиради. Чуяндаги марганец ва кремний каби фойдали қўшимчалар углероднинг зарарини бироз камайтиради, натижада чуяннинг механик хоссалари яхшиланади.

5. Легирлашнинг қотишма хоссаларига таъсири

Агар пулат таркибида углероддан ташқари бошқа элементлар ҳам мавжуд бўлса, $Fe-Fe, C$ диаграммадаги фаза ўзгариш чизиқлари ўзгаради. Феррит, аустенит, цементит фазалардаги углероднинг эриши ва уларнинг мувозанат ҳарорати турлича бўлади. Демак, қотишмага ўзга қўшимчалар қўшиб, структура ўзгаришларига эришиш орқали пулат хоссаларини бошқариш мумкин. Бундай мақсадда қўзиладиган қўшимчаларни легирловчи элементлар, қотишмаларни эса легирланган пулатлар дейилади. Пулат ишлаб чиқариш амалиётида легирловчи элементлар сифатида кўпинча $Cr, Mo, Ni, Co, V, Ti, W, Zr, Nb$ ҳамда Mn ва Si каби элементлар қўлланилади ва улар пулатнинг физик, механик ва технологик хоссаларини яхшилайди.

Легирловчи элементлар пулат полиморфизмига ҳам таъсир қилади. Полиморф ўзгариш ҳарорати темирда эриган элементларнинг хусусияти ва миқдорига боғлиқ бўлади.

Темирда металлар эриб, ўрин алмашиш қаттиқ эритмасини ҳосил қилади, α - ҳамда γ - фазаларнинг мавжудлик кенглиги A_1 ва A_2 чизиқларнинг ҳолати билан белгиланади. Легирловчи элементларнинг темир полиморфизмига қандай таъсир этишига қараб, икки синфга ажратиш мумкин: 1) никель ва марганец элементлари. Улар $\gamma \rightarrow \alpha$ ўтиш ҳароратини камайтиради, яъни A_1 чизиги пасаяди,



64-расм. Пўлат таркибидаги легирловчи элементларнинг темсир полиморф ўзгариш температурасига таъсири.

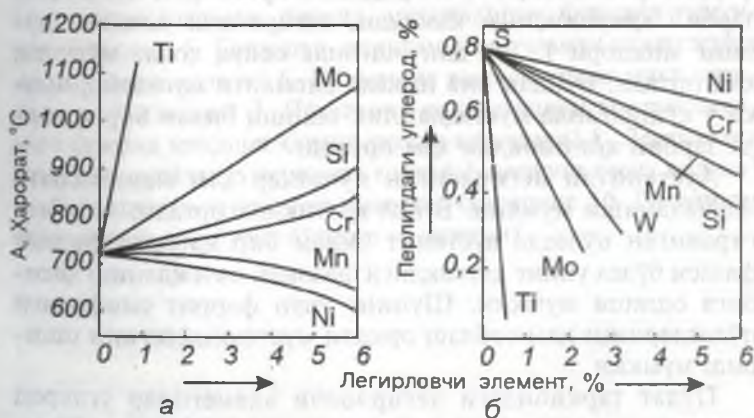
A_4 чизиғи эса кўтарилади. Натижада γ — фаза жуда катта кенгликни эгаллайди. Оддий ҳароратда ҳам аустенит фазаси мавжуд бўлиши мумкин (64-расм, а). Легирловчи элементнинг миқдори X_1 дан ошганда пўлат таркиби бутунлай аустенитдан (γ — фазадан) иборат бўлади. Бундай пўлатлар аустенитли пўлатлар деб аталади. Қотишмаларга мис, углерод, азот элементлари қўшилганда ҳам γ — майдон кенгаяди, лекин бу кенгайиш чегарали бўлади. Бундай пўлатлар феррит-аустенитли пўлатлар деб аталади; 2) легирловчи элементлар A_3 чизиқни кўтариши ва A_4 ни пасайтириши мумкин, яъни γ — майдоннинг қисқариши ҳисобига α — майдон кенгаяди (64-расм, б). Легирловчи элементнинг миқдори Y_1 дан ошганда жуда кенг майдонда α — эритма ҳосил бўлади. Бундай пўлатлар ферритли пўлатлар деб аталади. Агар легирловчи элементларнинг миқдори $Y_0 \dots Y_1$ орасида бўлса, у ҳолда қисман $\gamma \rightarrow \alpha$ ўзгариш рўй беради. Бундай таркибли пўлатлар ярим ферритли пўлатлар деб аталади. Иккинчи синфга Cr, W, Mo, V, Si, Al каби легирловчи элементлар кириди.

Қотишмаларга бор, цирконий, необий легирловчи элементлар жуда озгина қўшилса, юқоридаги самарага эришилади. Бу элементлар ҳам иккинчи синф легирловчи элементларига киради.

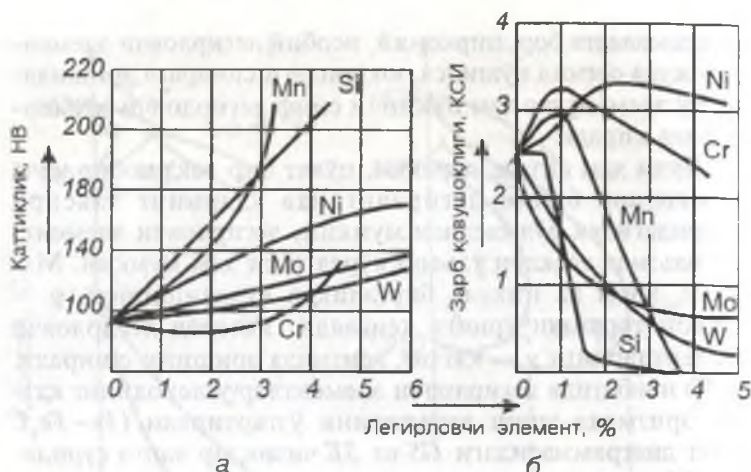
Шуни ҳам айтиш керакки, пўлат бир вақтда бир неча элементлар билан легирланганда уларнинг таъсири юқоридагидек бўлмаслиги мумкин, легирловчи элементлар баъзида тескари таъсир кўрсатиши ҳам мумкин. Масалан, хром ва никель биргаликда қўлланилганда γ — майдон торайиш ўрнига кенгайди. Углерод легирловчи элементларнинг γ — қаттиқ эритмада эришини оширади.

Ўз навбатида легирловчи элементлар углероднинг қаттиқ эритмада эриш даражасини ўзгартиради ($Fe-Fe_3C$ ҳолат диаграммасидаги GS ва SE чизиқлар чапга сурилади). Масалан, углероднинг эвтектоидда эриш даражасини икки баробар камайтириш мумкин. Бундай легирловчи элементлар Ni , Co , Si , W , Cr , Mn . Баъзи элементлар (Ti , V , Nb каби) тескари таъсир кўрсатади, яъни углероднинг эвтектоидда эриш даражасини оширади ($Fe-Fe_3C$ ҳолат диаграммасидаги GS ва SE чизиқлар ўнгга сурилади). Бунга сабаб шуки, карбид ва ферритларнинг эвтектоиддаги таркиби ўзгаради (65-расм).

Легирловчи элементлар ферритнинг пластиклигини сақлаган ҳолда унинг мустаҳкамлигини кескин ошири-



65-расм. Легирловчи элементларнинг эвтектоид ҳарорати (а) ҳамда перлитдаги углерод миқдорига (б) таъсири.



66-расм. Ферритнинг қаттиқлиги (а) ва зарбий қовушқоқлигига (б) легирловчи элементларнинг таъсири.

ши мумкин (66-расм). *Mn* ва *Si* элементлари бундан мустасно, чунки уларнинг қотишмадаги миқдори $\sim 2,5\%$ дан ошганда, унинг пластиклиги сезиларли даражада камаяди. Лекин шундай бўлсада, кремний, марганец ва никель мустаҳкамликни кескин оширади. Шунинг ҳам таъкидлаш керакки, пўлатга легирловчи элементлар қўшилганда феррит фазасининг мустаҳкамлиги ортса ҳам, пўлатнинг зарбий қовушқоқлиги камаяди, легирловчи элементларнинг миқдори $1...2\%$ дан ошганда совуқ ҳолда мўртлик ҳам ортади. Бундан яна никель элементи мустасно, чунки у қўшилганда мустаҳкамлик ошиши билан бир қаторда зарбий қовушқоқлик ҳам ортади.

Аустенитли легирланган пўлатлар ҳам мартенситга парчаланиши мумкин. Бунда қаттиқлик ортади. Агар легирланган пўлатда аустенит билан бир қаторда феррит фазаси бўлса унинг қаттиқлиги фазовий пачоқланиш ҳисобига ошиши мумкин. Шунинг учун феррит синфидаги пўлатларнинг ҳам тоблаш орқали мустаҳкамлигини ошириш мумкин.

Пўлат таркибидаги легирловчи элементлар углерод билан турлича таъсирлашиши мумкин: графит ҳосил бўлишига шароит яратадиган (*Si*, *Al*, *Cu*), графит ҳосил бўли-

шига таъсир қилмайдиган ва карбидлар ҳам ҳосил қилмайдиган (Co , Ni) ҳамда карбид ҳосил қиладиган (Fe , Mn , Cr , Mo , W) легирловчи элементлар. Аммо карбидларнинг ҳосил бўлиши легирловчи элементларнинг миқдори ва ҳосил бўлган карбидларнинг турғунлигига боғлиқ.

Агар қотишма таркибида легирловчи элементлар кам бўлса, ўз карбидларининг ҳосил бўлишига қараганда уларнинг цементитда эриши осонроқ бўлади. Бундай цементит легирланган цементит деб аталади.

Лекин махсус карбидларнинг баъзилари, масалан, Cr_7C_3 , 55% гача темирни ўзида эрита олади ва $(CrFe)_7C_3$ легирланган карбидни ҳосил қилади.

Пулат таркибида легирловчи элементлар етарли миқдорда бўлганда улар темир билан бирикиб, металл-металл бирикмалар — интерметаллитлар (Fe_3Mo , Fe_3W , Fe_3Nb , Fe_3Ti)ни ҳосил қилади. Кўпинча бундай интерметаллитлар эскириш натижасида ҳосил бўлиб, металл мустаҳкамлигини ошириши мумкин.

Намунавий назорат саволлари

1. Темир асосидаги қаттиқ эритмаларнинг ҳосил бўлиши нимага боғлиқ? 2. Қаттиқ эритмаларда полиморф ўзгариш қандай кечади? 3. Тоза темирнинг механик хоссалари нималарга боғлиқ? 4. Кимёвий бирикма (масалан, цементит) билан қаттиқ эритма (масалан, феррит, аустенит)нинг фарқини тушунтириб беринг. 5. Бирламчи, иккиламчи ва учламчи цементитлар қандай фарқ қилади? 6. Пулатнинг хоссаси унинг микротузилишига боғлиқми? 7. Пулатнинг конструкцион мустаҳкамлигига углерод миқдори қандай таъсир кўрсатади? 8. Легирловчи элементлар пулат тузилишида қандай фазаларни ҳосил қилади? 9. Легирланган цементитга мисоллар келтиринг. 10. Пулатнинг тузилишида ледебурит бўлиши мумкинми?

МЕТАЛЛ ҚОТИШМАЛАРИГА ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ

Термик ишлов бериш структурани бошқариш усули бўлиб, бунда қотишма маълум ҳароратгача қиздирилиб, ҳар хил тезликда совитилади. Бу усул машина ишлаб чиқаришда кенг тарқалган бўлиб, материал хоссаларини ўзгартиришнинг энг самарали имкониятларидандир.

Технологик хоссаларни яхшилаш учун термик ишлов оралиқ жараён бўлиши ҳам мумкин. Лекин кўпинча машина воситалари хоссалари тўғрисида вужудга келтиришда охириги жараён ҳисобланади.

Термик ишлов учта турда бўлади: соф термик ишлов, термомеханик ишлов (ёки деформацион-термик ишлов) ҳамда кимёвий-термик ишлов.

Соф термик ишловга юмшатиш, меъёрлаш (нормаллаш), тоблаш ҳамда бўшатиш (ёки эскиртириш) усуллари киради. Термик ишлашдаги структура ўзгаришлари жараённинг асосини ташкил қилади. Шунинг учун кимёвий-термик ишлов ҳам, деформацион-термик ишловлар ҳам соф термик ишлов жараёнларини ўз ичига олади.

Юмшатиш натижасида $Fe-Fe_3C$ ҳолат диаграммасида кўрсатилганидек мувозанатга яқин бўлган структура ҳосил бўлади. Юмшатиш ўзидан олдинги бажарилган технологик жараён (қуйма олиш, болғалаш, жўвалаш, пайвандлаш ва ҳ.к.) да вужудга келган номувозанат ҳолатни мувозанат ҳолатга қайтаради. Икки турдаги юмшатиш мавжуд бўлиб, биринчиси фаза ўзгаришсиз содир бўлади, иккинчиси эса фаза ўзгариши билан боғлиқ. Меъёрлаш (нормаллаш)нинг мақсади юмшатишдан кузатиладиган мақсадга ўхшаш, лекин бу жараёнларнинг совитиш тезлиги бир-биридан фарқ қилади.

Тоблашда металл фаза ўзгариш чизигидан юқори ҳароратда қиздирилади, совитишда эса тез совитилади. Бунда мувозанатдаги структура номувозанатдаги (тўйинтирилган) структурага ўтади.

Термик жараёнларда вужудга келган номувозанат ҳолат структураси мувозанат ҳолатдаги структурага қайтарилади. Агар термик ишлаш полиморф ўзгариш билан боғлиқ

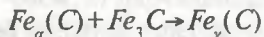
бўлса, бушатиш жараёни ўтказилади. Агар термик ишлаш полиморф ўзгаришсиз тўйинтирилган фазани ҳосил қилса, эскиртириш жараёни ўтказилади.

Деформацион-термик ишловда метални деформациялаш ва термик ишлаш биргаликда олиб борилади. Агар пластик деформация фаза ўзгариш чизигидан юқорида олиб борилса, бу жараён қотишмага юқори ҳароратда термомеханик ишлов бериш дейилади. Агар қотишма деформацияси фаза ўзгариш чизигидан пастда олиб борилса, бундай жараён қотишмага кичик ҳароратда термомеханик ишлов бериш деб аталади.

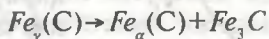
Кимёвий-термик ишлов бериш натижасида миқдор ўзгаришлари сифат ўзгаришига олиб келади. Бунда керакли ҳароратда металл юзаси ҳар хил элементлар билан диффузион бойитилади. Соф термик ишлов эса кимёвий-термик ишловдан кейин ёки олдин ҳам берилиши мумкин.

Пулатларни термик ишлашда $Fe-Fe_3C$ диаграммага биноан турта асосий фаза ўзгаришлари кузатилади:

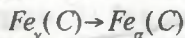
1) қотишмани A_1 фаза ўзгариш чизигидан юқорироқ қиздирсак, перлит аустенитга парчаланади:



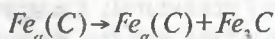
2) аустенитни A_1 фаза ўзгариш чизигидан кичикроқ ҳароратда совитилганда аустенит перлитга парчаланади:



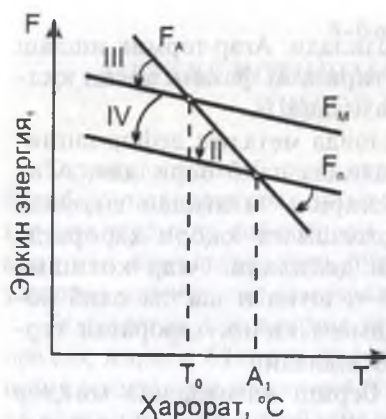
3) метастабил мувозанат ҳароратидан кичикроқ ҳароратда аустенит мартенситга парчаланади:



4) исталган ҳароратда мартенсит перлитга парчаланади:



Жисмнинг эркинлик даражасининг ўзгаришини 67-расмда келтирилган графикдан кўриш мумкин. Графикдан кўришиб турибдики, A_1 нуқтадан юқори ҳароратда эркин энергия кам, шунинг учун ҳам перлит қиздирилганда аустенитга парчаланади (I ўзгариш). A_1 дан кичик ҳароратда тескари жараён

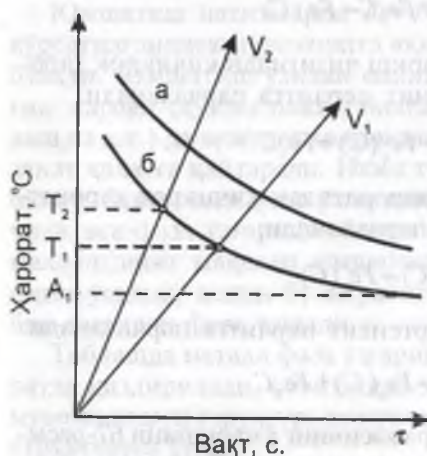


67-расм. Ҳароратнинг ўзгаришига қараб, пўлатдаги фаза ва тузилиш эркинлик энергиясининг ўзгариш қонуниятлари.

содир бўлади, яъни аустенит перлитга парчаланади (II ўзгариш). T_0 дан кичик ҳароратда перлитнинг эркин энергияси энг кам қийматга эга бўлади, лекин бунда аустенитнинг мартенситга парчаланиши учун сарф бўладиган иш (III ўзгариш) мартенситнинг перлитга парчаланиши учун сарф бўладиган ишдан (IV ўзгариш) камроқ. Шунинг учун 68-расмдаги III ўзгариш IV ўзгаришдан аввал содир бўлади.

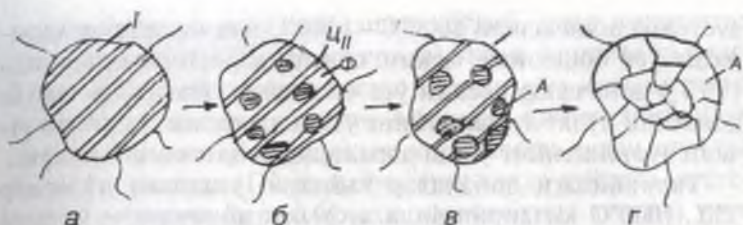
Ана шу жараёнларнинг бориши қонуниятлари йиғиндиси материалларга термик ишлов бериш назариясини ташкил қилади.

1. Перлитнинг аустенитга парчаланиши



68-расм. Перлитдан аустенит ҳосил бўлишининг изотермик диаграммаси (T_1 ва T_2 парчаланишнинг бошланиш нуқталари).

Темир — цементит диаграммасида кўрсатилганидек, перлит A_1 ҳароратда аустенитга парчаланади. Бу жараёнда тўла парчаланиш жуда секин иситиш натижасида содир бўлади. Оддий шароитда $P \rightarrow A$ парчаланишнинг анча кечикиб бориши вақтга нисбатан ҳароратнинг A_1 дан анча юқорироқ кўтарилишига эквивалентдир, яъни бу жараённинг қанча вақт ичида содир бўлиши парчаланиш



69-расм. Перлит доначаси ичида аустенит марказларининг ҳосил бўлиши ва унинг ўсишини тушунтирувчи чизма.

ҳароратига боғлиқдир. Бу жараёни перлитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидан кузатиш мумкин (68-расм). Бу диаграммада жараёни тезлаштирувчи иситиш тезлигининг ўзгариши ($V_2 > V_1$) кўрсатилган, парчаланишнинг бошланиши (а) ва тамом бўлиши (б) эгри чизиқлари эса A_1 қийматга вақт бўйича чексиз асимптотик ($\tau \rightarrow \infty$) яқинлашиб боради. Реал шароитда перлитнинг аустенитга парчаланиши маълум ҳарорат оралиғида боради, лекин ўртача бир хил доначали аустенитни ҳосил қилиш учун ўта қиздириш зарур бўлади. Демак, ҳарорат қанча катта бўлса, парчаланиш шунча тўла ва тез боради.

Перлитнинг (69-расм, а) парчаланиши биринчи навбатда феррит цементит механик аралашмалардаги фаза чегараларида аустенитнинг кристалл маркази ҳосил бўлишига (69-расм, б) боғлиқ. Одатда, бу марказнинг нуқсон тўпланган жойда ҳосил бўлиши энергетик жиҳатдан қулайдир, чунки эски таркиб флуктация натижасида бойиб, янги таркиб ҳосил бўлади. Бу жараёнинг асосини, албатта, $\alpha \rightarrow \gamma$ полиморф ўзгариш ташкил қилади. Иккинчи навбатда, ҳар бир перлит доначасининг ичида шундай марказлар ҳосил бўлганлиги учун (69-расм, в) бошланғич доначалар жуда майда бўлади. Шунинг учун парчаланиш охирига бориб, майда доначали аустенитга эга бўлган бошланғич таркиб ҳосил бўлади (69-расм, г). Доначалар ўлчамининг бир хил бўлишига эришиш учун маълум вақт шу ҳароратда ушлаб туриш лозим. Ана шу ўсиш жараёнига биноан катта ёки кичик доначали пўлатлар ҳосил бўлиши мумкин.

Баъзида ҳарорат $950-1000^\circ\text{C}$ гача кўтарилганда аустенит доначалари сезиларли даражада ўсмайди, бундай пўлат табиатан майда доначали пўлат бўлади. Бундай пўлатнинг

аустенит доначалари 1000°C — 1200°C дан юқорироқ ҳароратда ўса бошлайди, лекин критик ҳароратдан юқорида ($T > T_k$) доначалар кескин ўса бошлайди. Натижада майда доначали пўлат аустенитнинг ўсиш даражаси йирик доначали аустенитнинг ўсиш даражасидан ҳам ошиб кетади.

Таркибидаги доначалар табиатан ўсадиган пўлатлар $950\ldots 1000^{\circ}\text{C}$ қиздирилганда аустенит доначалари ўлчами ҳароратга пропорционал равишда ўсади.

Доначаларнинг ўлчамига қараб, механик хоссалар турлича бўлади. Майда доначали пўлатлар юқори механик хоссаларга, айниқса яхши зарбий қовушоқликка эга бўлади. Шунинг учун пўлат таркибидаги доначалар ўлчамини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга. Бунинг учун пўлат таркибидаги аустенит доначаларининг ўсмасдан олдинги ўртача ўлчами аниқланади, сўнгра аустенитнинг ўсиш ёки ўсмаслиги кузатилади. Донача ўлчамлари махсус вакуум қутисига эга бўлган металлмикроскопларда аниқланади. Аниқланган донача ўлчамлари давлат стандарти сифатида белгиланган намуна ўлчамлари билан солиштирилади. Бунда донача ўлчами 15 та ўлчам (балл ёки даража)га бўлинади. Ўлчам даражаси (N) 1 мм юзадаги доначалар сони (n) билан қуйидагича боғланишга эга: $n=2^{N+3}$. Бунда 1 дан 5 гача даражадаги доначалар йирик ва 6 дан 15 гача даражадагилар эса майда доначалар ҳисобланади.

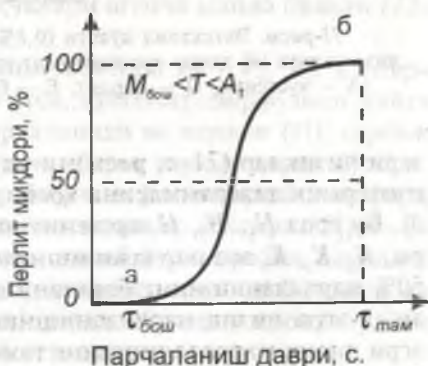
Майда доначали пўлат учун иссиқ ҳолда пластик деформациялашда ҳароратнинг юқори кўтарилиши хавфли эмас, чунки аустенит жуда юқори ҳароратдагина ўса бошлайди. Демак, бундай пўлатларни иссиқдайин пластик деформациялашда ҳароратни бемалол кўтариш мумкин, чунки аустенит доначаси ўсмайди. Йирик доначали пўлатларни пластик деформациялашда эса ҳарорат ораллигини аниқ ушлаб туриш керак, чунки юқорироқ ҳароратда аустенит доначалари тез ўсиши мумкин. Бундай пўлатлар атайлаб махсус усул билан олинмайди, балки табиий ҳосил бўлади. Пўлат олишда алюминий, марганец ва кремний элементларидан ачитқи сифатида фойдаланилади. Бу элементлар суюқ қотишмаларда мавжуд бўлган азот билан бирикиб, нитридларни ҳосил қилади (масалан, алюминий нитрид). Бу нитридлар асосан аустенит доначаларининг

ажралиш юзаларида жойлашган бўлиб, улар аустенитда эримагунча (1100°C дан юқорида) унинг ўсишига ҳалақит беради. Карбидларнинг ҳосил бўлиши ҳам аустенитнинг ўсишига тўсқинлик қилади. Айниқса, қийин эрийдиган ванадий, титан металлларнинг карбидлари худди шундай таъсир кўрсатади. Пулат қайнаётган ҳолда қуйилса, аустенит доначалари йирик бўлади, чунки бунда ачитиш учун фақат марганецдан фойдаланилади.

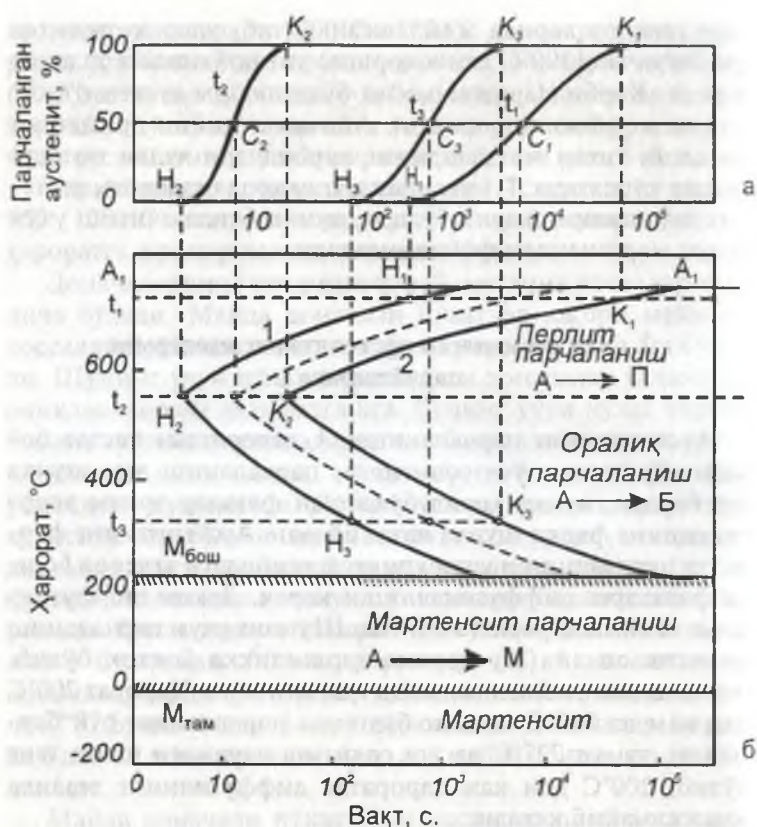
2. Ўта совитилган аустенитнинг изотермик парчаланиши

Аустенитнинг парчаланиши A_1 ҳароратдан пастда боради. Қанча тез ўта совитилса, парчаланиш ҳам шунча тез боради, чунки ҳосил бўлаётган фазалар эркин энергиясининг фарқи шунча катта бўлади. Аустенитнинг ферритга парчаланиши учун унинг таркибидаги углерод бошқа фазаларга диффузияланиши керак. Лекин диффузиянинг тезлиги ҳароратга боғлиқ. Шунинг учун парчаланиш кинетикаси ана шу қарама-қаршиликка боғлиқ бўлиб, парчаланиш тезлиги оптимал қийматга эга. Ҳарорат 200°C дан кам ва 727°C га тенг бўлганда парчаланиш рўй бермайди, чунки 727°C да ўта совитиш даражаси нолга тенг бўлиб, 200°C дан кам ҳароратда диффузиянинг тезлиги жуда камайиб кетади.

Совитиш жараёнидаги ўзгармас ҳароратнинг қотишма таркибидаги перлитнинг ортиб боришига таъсири 70-расмдаги кинетик эгри чизик билан тушунтирилади. Бунда парчаланиш *a* нуқтадан бошланиб, *б* нуқтада тамом бўлади. Энг катта тезликдаги парчаланиш 50% га тенг. Ҳар бир давр учун ана шундай



70-расм. Аустенитнинг перлитга парчаланиш даври (кинетики).



71-расм. Эвтектоид пўлати (0,8%С) нинг кинетик эгри чизиқлари (а) ҳамда аустенитнинг изотермик парчаланishi (б), (А — аустенит, П — перлит, Б — бейнит, М — мартенсит).

эгри чизиқлар (71-а, расм)ни чизиш билан аустенитнинг изотермик диаграммасини ҳосил қилиш мумкин (71-расм, б). Бу ерда H_1, H_2, H_3 аустенитнинг парчаланishi нуқталари, K_1, K_2, K_3 эса парчаланishнинг тамомланиш, C_1, C_2, C_3 50% парчаланishнинг бошланиш нуқталарини белгилайди. 1-эгри чизиқ парчаланishнинг бошланиши бўлса, 2-эгри чизиқ парчаланishнинг тамом бўлишини кўрсатади. Биринчи эгри чизиқнинг чап томонида парчаланмаган аустенит бўлиб, аустенитнинг парчаланishi инкубацион даври деб аталади. Иккала эгри чизиқ ораси эса парчаланishi

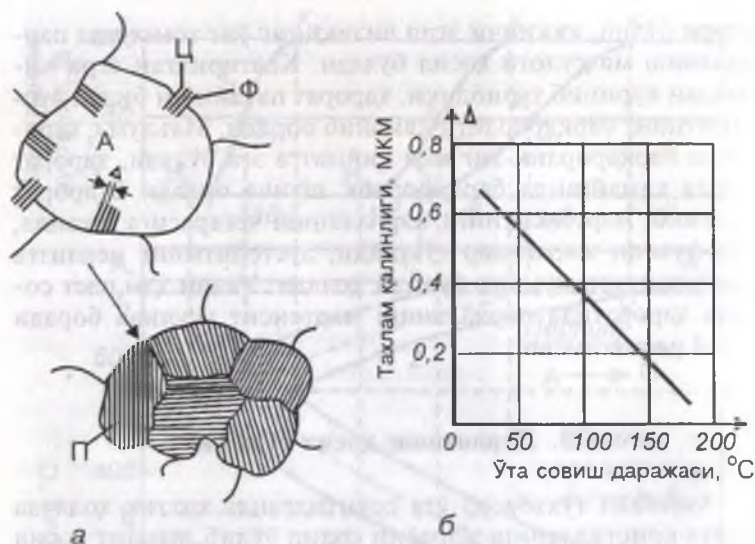
даври бўлиб, иккинчи эгри чизиқнинг ўнг томонида парчаланиш маҳсулоти ҳосил бўлади. Келтирилган эгри чизиқдан кўриниб турибдики, ҳарорат пасайиши билан аустенитнинг барқарорлиги камайиб боради. Маълум t_2 ҳароратда барқарорлик энг кам қийматга эга бўлади, ҳарорат янада камайганда барқарорлик шунча ортади. Ҳарорат пасайиб, мартенситнинг парчаланиш чегарасига етганда, диффузион жараёнлар тўхтайди, аустенитнинг перлитга парчаланиши мумкин бўлмай қолади. Ундан ҳам паст совиш ҳароратида парчаланиш мартенсит усулида боради (71-б расм).

3. Перлитнинг ҳосил бўлиши

Аустенит тўхтовсиз ўта совитилганда қаттиқ ҳолатда қайта кристалланиш жараёни содир бўлиб, перлит ҳосил бўлишида атомлар диффузион қайта тақсимланади. Аустенит доначаларининг чегарасида цементит кристали ҳосил бўлади, натижада чегарадаги аустенит доначалар борган сари углеродга камбағаллашиб, $\gamma \rightarrow \alpha$ ўзгаришнинг боришига шароит яратилади. Ҳосил бўлган феррит ва цементит энди биргаликда ўса бошлайди. Ана шундай қилиб, феррит ва цементит қатламларидан иборат перлит ҳосил бўлади (72-а, расм). Ўта совиш қанча тез бўлса, феррит ва цементит таёқчалари шунча майда бўлади (72-б, расм).

Агар совиш тезлигининг вектори (V_1 , V_2 , V_3) изотермик диаграммани кесиб ўтса, аустенит диффузион қайта тақсимланиш орқали парчаланаяди ва *перлит* (II), *сорбит* (C) ҳамда *троостит* (T) дан иборат таркиб ҳосил бўлади, уларнинг доначалари бир-биридан ўлчамлари билан фарқ қилади (73-расм). Совиш тезлигининг вектори (V_4) 1- ва 2-эгри чизиқнинг орасидан кесиб ўтса, оралиқ парчаланиш рўй беради, яъни парчаланиш ярим диффузион ва диффузиясиз (мартенсит) усулда бўлади, ҳосил бўлган структура *бейнит* (B) деб аталади.

Агар совиш тезлиги 1-эгри чизиққа уринма ўтса, $V_{кр}$ тезлик диффузияни тўхтатувчи тезлик бўлиб, парчаланишнинг критик тезлиги деб аталади, ҳосил бўлган таркиб



72-расм. Аустенитдан перлит таёқчаларнинг ўсиши (а) ҳамда унинг ўлчамининг (D — тахлам қалинлиги) ўта совиш ҳароратига боглиқлиги диаграммаси (б).

мартенситдан иборатдир. Демак, мартенситни ҳосил қилиш учун $V_Q > V_{кр}$ тезликка эга бўлиши керак (73-расм), яъни аустенитни шундай катта тезликда совитиш керакки, у перлитга парчаланмай, диффузиясиз агрегат кўчишда тўйинтирилган фаза — мартенситни ҳосил қилсин.

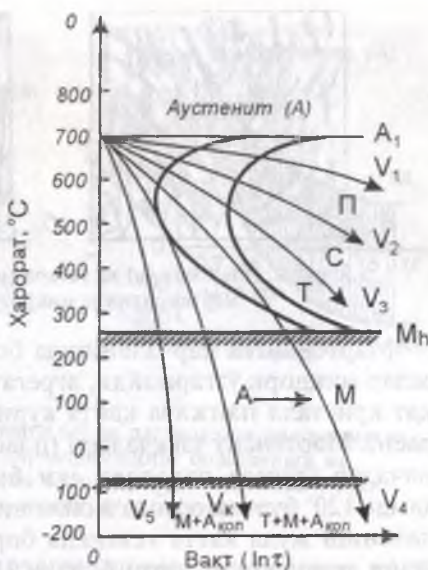
4. Мартенситнинг ҳосил бўлиши

Совиш тезлиги катта бўлганда ($V > V_{кр}$) диффузион жараёнлар тўхтайди, лекин $\gamma \rightarrow \alpha$ полиморф ўзгариш содир бўлади. Натижада аустенитда эриган ҳамма углерод ферритда қолиб, тўйинган қаттиқ эритма ҳосил бўлади (ферритда 0,01% углерод эриса, мартенситда 2,14% эрийди).

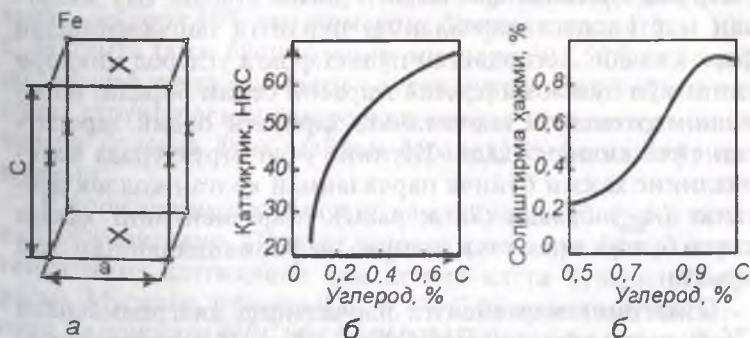
Демак, мартенсит углероднинг α - темирдаги тўйинган қаттиқ эритмасидир. Фаза ўзгаришида α — темирнинг элементар кристалл панжараси марказлашган куб шаклида бўлиб, углерод ажралиб чиқиб кетмасдан шу катакча ичида қолганлиги учун унинг шакли тетрагонал бўла-

ди ва с/а нисбат тетрагоналлик миқдорини ифодалайди. Пулат таркибида қанча кўп углерод бўлса, с/а тетрагоналлик даражаси шунча катта бўлади. 74-расмда мартенсит кристалл ячейкаси ҳамда мартенсит қаттиқлиги ва солиштирма ҳажмининг ўзгариш эгри чизиқлари кўрсатилган.

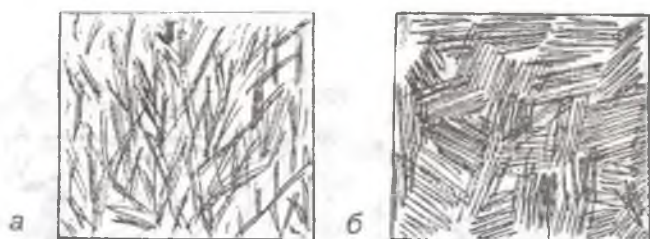
Мартенсит структураси микроскоп остида нинасимон шаклда кўринади (75-расм). Лекин у баъзида пластинка ёки таёқча шаклда ҳам учрайди. Умуман, мартенсит структураси шакли углерод ва легировчи элементлар миқдориға боғлиқ бўлади.



73-расм. Аустенитни тўхтовсиз совитишда ҳосил бўладиган тузилишлар (изотермик диаграммада тўхтовсиз совитиш тезликлари берилган: П — перлит, С — сорбит, Т — троостит, М — мартенсит; А — аустенит).



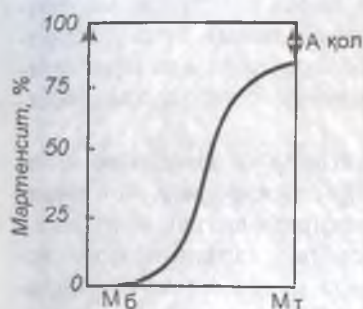
74-расм. Мартенсит хоссалари: а — тетрагонал кристалл панжара; б, в — мартенситнинг қаттиқлиги ва унинг парчаланишидаги ҳажм ўзгаришининг пулат таркибидаги углерод миқдориға боғлиқлиги графиги.



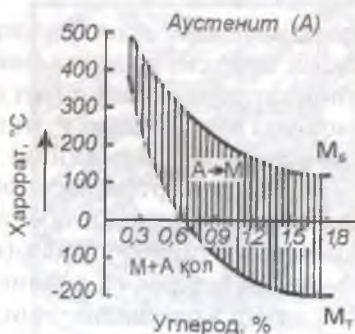
75-расм. Пластина (а) ва таёқча (рейка) (б) шаклидаги мартенситнинг микротузилиши.

Мартенситга парчаланишда бошланғич ва охириги фазалар миқдори ўзгармайди, агрегат қучиш натижасида фақат кристалл панжара қайта қурилади (диффузиясиз жараён). Мартенсит таёқчалари (пластинкалари) олдинги дончалар ўрнида параллел ёки бир-бирига нисбатан 50° ҳамда 120° бурчак остида жойлашиши ҳам мумкин. Бу парчаланиш жуда катта тезликда боради ва кристаллларнинг ўсиш тезлиги ҳам катта бўлади (10^3 м/сек). Парчаланиш давомида кристалл катакча атомлари ўз ўлчамларидан камроқ масофага бир вақтда силжиш натижасида атом панжаранинг тури ўзгаради (агрегат қучиш содир бўлади). Мартенсит ҳосил бўлиш жараёни ўзининг бошланиш (M_s) ва тамом бўлиш (M_f) ҳароратига эга. Агар шу оралиқда ҳарорат ўзгармаса (яъни совиш рўй бермаса), парчаланиш ҳам тўхтаб қолади. Лекин перлитга парчаланишда ҳарорат ўзгармай қолганда ҳам жараён давом этарди. Шу жиҳатдан мартенситга парчаланиш перлитга парчаланишдан фарқ қилади. Легирланган пўлатлардаги углерод миқдори қанча кўп бўлса, диффузия жараёни секин боради, натижада мартенситга парчаланиш ҳарорати оддий ҳароратдан анча кичик бўлади. Шунинг учун структурада материалнинг ҳажми бўйича парчаланмай қолган қолдиқ аустенит ($A_{\text{қол}}$) бўлади (76-а, расм). Мартенситнинг ҳажми катта бўлганлиги учун намуна деформацияланиши ҳам мумкин.

Пўлатнинг мартенситга парчаланиш диаграммасидан (76-б, расм) кўриниб турибдики, M_s ва M_f ҳарорат нуқталарининг ҳолатига совиш тезлиги таъсир қилмайди, пўлатдаги углерод миқдори 0,6% дан кўп бўлганда, парчаланиш манфий ҳароратда давом этади, пўлат таркибидаги



а



б

76-рasm. Мартенсит эгри чизиги (а) ва парчаланиш диаграммаси (б): M_s — мартенситга парчаланишнинг бошланиши ва M_f — парчаланишнинг тамом бўлиши; $A_{кор}$ — парчаланмасдан қолган қолдиқ аустенит; M — мартенсит.

углероднинг миқдори парчаланишнинг бошланиши (M_s) ва тамом бўлиши (M_f) ҳарорат оралигини белгилайди.

Демак, мартенситга парчаланиш охиригача бормас экан (76-а, расм) M_f нуқтаси 20°C дан пастда бўлган тобланган пўлатларда албатта қолдиқ аустенит бўлади. M_s ва M_f нуқталар қанча паст бўлса, бошланғич аустенитда углерод ёки легирловчи элементлар қанча кўп бўлса, тобланган пўлатда аустенит миқдори ҳам шунча кўп бўлади. Пўлатда углерод миқдори $0,6...1,0\%$ бўлганда қолдиқ аустенит миқдори 10% дан ошмайди. Лекин углерод $1,3...1,5\%$ С бўлганда ҳажм бўйича унинг миқдори $30...50\%$ га боради. Бундай катта ҳажмдаги қолдиқ аустенитни тобланган пўлат структурасида микроскоп остида мартенсит ниначалари орасида ёриқ майдон (оралиқ) сифатида кўриш мумкин.

Юқори қаттиқлик ва мустаҳкамлик мартенситнинг асосий хусусиятидир. Пўлатда углерод қанча кўп бўлса, мартенситнинг қаттиқлиги ҳам шунча катта бўлади (74-б, расм). Масалан, пўлатда $0,6...0,7\%$ С бўлганда мартенситнинг қаттиқлиги $HRC\ 65$ ($HV\ 9600\text{МПа}$) га тенг, яъни феррит қаттиқлигидан 10 баробар катта.

Кам углеродли пўлат ($C=0,015\%$) мустаҳкамлиги $\sigma_b=1000\text{МПа}$ бўлса, $0,6...0,8\%$ С ли пўлат мартенситга тобланганда бу кўрсаткич $2000...2300\text{МПа}$ ни ташкил

қилади. Лекин пўлатда углерод қанча кўп бўлса, мартенситни мўрт емирилишга мойиллиги ошади. Ўрта углеродли пўлатлардаёқ мартенсит пластиклиги кам ва мўрт емирилишга эга. Шунинг учун тобланган пўлат мустаҳкамлигини аниқлаш анча қийин.

Пўлатни мартенситга тобланганда қаттиқликни ошиши асосан углеродни α — темир панжарасида жойлашиши билан тушунтирилади (сингдириш қаттиқ эритмаси). Бу билан микро- ва субмикроскопик таркибий нотекислик, яъни кристаллик тузилишда нуқсонларнинг зичлиги ортади. Шу муносабат билан мартенсит юзалари дислокациянинг кўчишига ҳалақит беради. Иккинчи тарафда фазали пачақланиш (наклёп) туфайли ҳам дислокациянинг кўчиши қийинлашади. Ана шуларнинг ҳаммаси мартенсит унинг қаттиқлиги ва мустаҳкамлигини оширишга олиб келади. Қаттиқ эритмада углерод ва қўшимчаларнинг кўплиги мартенситнинг электр қаршилиқ ва коэрцитив кучини оширади, қолдиқ индукцияни ва магнит сингишини ферритга нисбатан пасайтиради.

Мартенситнинг ҳосил бўлишида солиштирма ҳажмни ошиши тоблашда катта ички кўчларини ошишига олиб келади. Натижада буюм деформацияланади ва ҳатто дарзлар ҳосил бўлади.

5. Бейнитнинг ҳосил бўлиши

Бейнитнинг ҳосил бўлиши перлит ва мартенситга парчаланаш ҳароратлари орасида рўй беради. Бейнитнинг таркиби тўйинган қаттиқ эритма ва цементитдан иборат. Бейнит юқорироқ ҳароратда ҳосил бўлса, юқори бейнит, пастроқ ҳароратда ҳосил бўлса, қуйи бейнит дейилади. Юқори бейнитда (500...350°C) га цементитнинг шакли перлитдагига ўхшаш пластинка шаклида бўлмай, пат шаклда бўлади. Қуйи бейнитдаги цементитнинг шакли мартенситга ўхшаш ингичка нинасимон шаклда бўлади. Шунинг учун қуйи бейнитнинг хоссалари майда доначалар ҳисобига юқори бейнитнинг хоссаларидан яхшидир (77-расм).

Юқори бейнитдаги цементит аустенитдаги углероднинг диффузияси натижасида ҳосил бўлади, қуйи бейнитдаги



а



б

77-расм. Юқори (а) ва пастки (б) бейнитларнинг микротузилиши.

цементит эса мартенситдаги углероднинг ажралиб чиқиши натижасида ҳосил бўлади.

Бейнитнинг парчаланиши охиригача бормайди, яъни таркибида аустенит қолдиғи бўлади. Бейнитга парчаланиш жараёни анча мураккаб бўлиб, диффузия ҳамда силжиш жараёни билан биргаликда содир бўлади.

Бейнит таркиби икки хил α — қаттиқ эритмадан иборат бўлиб, бири углеродга бироз тўйинтирилган ҳамда цементитдан иборат.

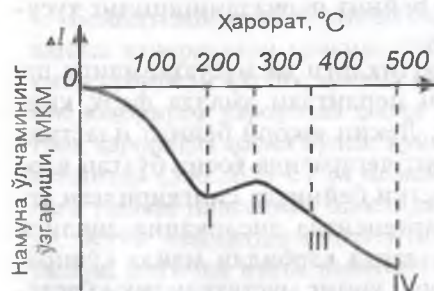
Бейнитга парчаланиш шундай ҳарорат оралиғида бо-радики, унда темир ва легирловчи элементлар атомларининг ўз-ўзидан диффузияси амалда тўхтаган бўлиб, лекин углерод диффузияси бейнит парчаланишининг хусусиятини белгилайди.

Юқори бейнитнинг қаттиқлиги ва мустаҳкамлиги шу ҳароратда парчаланаётган перлитдан амалда фарқ қилмайди ёки бироз камроқ. Лекин юқори бейнит пластиклиги камроқ, чунки феррит чегарасида ҳосил бўлган карбидлар йирик бўлади. Пастки бейнитда сингдирилган углерод атомлари ҳамда мартенситда дислокация зичлиги катта, шунингдек кристалларда карбидли майда қўшимчалар ҳам бор. Шунинг учун унинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари тоблангандаги сорбит ва трооститдан катта бўлади.

6. Мартенситни қайта қиздиришда рўй берадиган ўзгаришлар

Амалиётда тобланган пулатлар хоссаларининг барқарорлиги муҳим аҳамиятга эга. Тобланган пулатни қайта қиздиришда структурада рўй берадиган ўзгаришлар хоссаларнинг барқарорлигини ифодалайди. Пулатни қиздиришда намуна ўлчамлари ўзгаради, чунки мартенсит ва аустенитларнинг парчаланиши кристалл панжараларнинг қайта тузилиши билан боғлиқдир. Бу қайта қурилиш ҳажм ўзгаришларига олиб келади. Ҳажм ўзгаришини ўлчайдиган асбоб дилатометр деб аталади. Ана шу асбобда ёзиб олинган тобланган намуна узунлигининг ўзгариш эгри чизиги 78-расмда келтирилган.

Бўшатишда рўй бераётган диффузион жараённинг тезлиги ва парчаланишнинг тўлалиги ҳароратга боғлиқ. Диаграммадан кўриниб турибдики, биринчи ўзгариш (I) 80...200°C оралиғида рўй бериб, мартенситдан барқарор бўлмаган (метастабил) ϵ — карбид (Fe_2C) ажралиб чиқади. Мартенсит таркибидаги углероднинг диффузияланиб камайиб бориши натижасида кристалл катакчанинг тетрагоналлиги камаяди, демак, ҳажм ҳам камаяди. Бундай структурани бўшатишда мартенсит деб аталади. Иккинчи ўзгариш (II) 200...260°C оралиғида содир бўлади. Бу жараёнда қолдиқ аустенит тўйинтирилган мартенсит ва карбидга парчаланаяди, яъни бунда ҳам бўшатишда мартенсит ҳосил бўлади. Бу жараёнда парчаланмаган мартенситнинг парчаланиши давом этади.



78-расм. Тобланган пулатни бўшатишда намуна ўлчами ўзгаришининг ҳароратга боғлиқлиги графиги.

Бу даврнинг охирига келиб, α — қаттиқ эритма таркибида 0,15...0,2% углерод мавжуд бўлади. Учинчи (III) ўзгариш 260...380°C оралиғида содир бўлади. Бунда мартенсит таркибидаги ортиқча углерод тўла ажралиб чиқиб, ϵ — карбид цементитга айланади.

(Fe, C), ҳосил бўлган структура бўшатишдаги троостит деб аталади. 380...400°C оралиғида углерод бутунлай кимёвий бирикма — цементитга ўтади. Бунда пўлатнинг зичлиги ортади.

Демак, иккинчи ва учинчи ўзгаришнинг охирига келиб, таркиб яна феррит-цементитдан иборат бўлиб қолади (мувозанатдаги структура). Ҳароратни янада кутариш (450...650°C) феррит ва цементит дончалари ўлчамларининг ўсиши ҳамда бир хилланишига (сараланишига) олиб келади (тўртинчи ўзгариш). Бунда ҳосил бўлган таркиб бўшатишдаги сорбит деб аталади ва у (олдинги бўшатишган структуралар ҳам) аустенитнинг парчаланишидан ҳосил бўлган сорбитдан (трооститдан) ўлчамлари билан фарқ қилади. Масалан, бўшатишдаги сорбит симметрия ўқиға эға бўлган шаклға, тоблалашдаги сорбит эға пластинкасимон шаклға эға. Шунинг учун бўшатишдаги сорбитнинг хоссалари тоблалашдаги сорбит хоссаларидан юқори туради. Ҳарорат қанча A_1 га яқинлашиб келса, сорбитнинг структураси перлитға яқинлашади (донадор перлит ҳосил бўлади).

Кўпчилик легирловчи элементлар (Mo, Cr, Si, W, Co, V ва ҳ.к.) тобланган пўлатни қайта қиздиришда диффузион жараёнлар тезлигини камайтиради, қолдиқ аустенитнинг парчаланиши ва карбидларнинг йиғилиши (кагуляция) ни қийинлаштиради.

Эскириш деганда вақт бирлиги ичида сезиларли структура ўзгаришларисиз материал хоссаларининг ўзгариши тушунилади (полиморф ўзгаришсиз содир бўладиган жараёнлар). Бунда ички кучланишлар камаёди, хоссалар барқарорлашади.

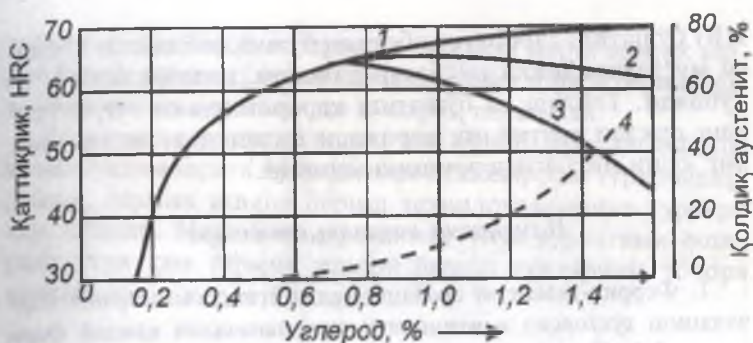
Пўлатларда эскиришнинг иккита механизми мавжуд — термик ва деформацион эскириш. Термик эскириш углерод ёки азотнинг α — темирда эриши ҳароратға боғлиқ бўлганлиги учун тез совитишда қаттиқ эритма концентрациясининг ошиб кетишиға асосланади. Бундай совитилган пўлат қайтадан қиздирилса (50...150°C), ортиқча углерод ва азот яна қайтадан (карбид ёки нитрид ҳолида) ажралиб чиқади ва бу ҳол кам углеродли пўлатларда намоён бўлади. Ўрта ёки юқори углеродли пўлатларда бу жараённинг бўлиши қийин, чунки углерод ўзи цементит тарки-

бида бўлади. Метални совуқлайин босим остида ишланганда деформацион эскиртириш эса материалнинг рекристалланиш ҳароратидан пастда содир бўлади. Пулатлардаги дислокациянинг тўхташи ҳисобига мустаҳкамлик ортади. Шунинг учун эскиртиришнинг бу усули пулатнинг кейинги деформацияланиш хусусиятини кескин камайтиради. Агар пулатга легирловчи элементлар қўшилса, эскиртиришга қобилияти камаяди. Пулатларда бир вақтнинг ўзида ҳам термик, ҳам деформацион эскириш рўй бериши мумкин, лекин бу ҳол бир қатор пулатларнинг эксплуатацион хусусиятларини ёмонлаштиради.

7. Термик ишлов беришнинг пулат хоссаларига таъсири

Термик ишлашдан асосий мақсад материалнинг физик ва механик хоссаларини ўзгартиришдан иборат. Юмшатиш жараёни барқарор структурали материални олиш учун қўлланилади. Юмшатилган пулат юмшоқ ва пластик хусусиятларга эга, унинг структураси эса пластинкасимон феррит ва цементитдан иборат бўлади. Пулатда углерод қанча кўп бўлса, цементит шунча кўп, демак, механик хоссалар ҳам юқори бўлади. Тоблаш натижасида пулатнинг қаттиқлиги ортади. Бўшатишда ҳосил бўлаётган барқарор феррит ва цементитдан иборат таркиб мартенситнинг парчаланиш маҳсулотидир.

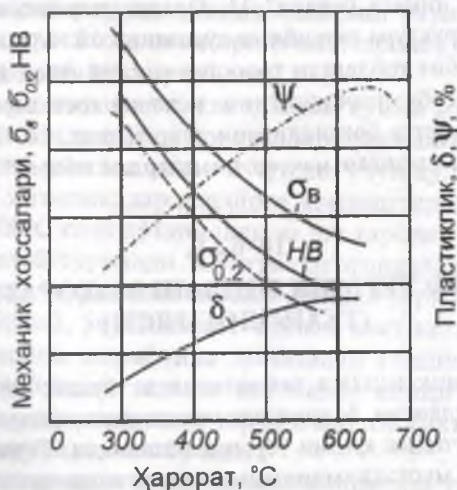
Углероднинг миқдори ортиб бориши билан мартенситнинг қаттиқлиги ҳам ортиб боради, тетрагонал кристалл панжарада қийшайиш (бузилиш) вужудга келиб, ички кучланиш ортади. Углероднинг миқдори 0,7% га етганда мартенсит энг катта қаттиқликка эга бўлади, углерод миқдорининг кейинги оширилиши қаттиқликнинг ошишига жуда кам таъсир қилади (79-расмдаги 1-эгри чизиқ). Тобланган пулат таркибидаги углероднинг миқдори катта бўлса, қолдиқ аустенит миқдори ҳам кўп бўлади (4-эгри чизиқ) ва у юмшоқ фаза бўлганлиги учун қаттиқлик эгри чизиғи кўпроқ эгилади (2-эгри чизиқ). Шунинг учун эвтектоиддан кейинги пулатларни тоблашда ҳарорат A_{cm} дан юқори бўлса, қолдиқ аустенит миқдори ортиши ҳисобига қаттиқлик камаяди (3-эгри чизиқ).



79-рассм. Тобланган пўлат қаттиқлигининг углерод миқдorigа ҳамда тоблaш ҳароратига боғлиқлиги графиги: 1 — мартенсит; $2=A_c + (20...30^{\circ}C)$ $3=A_c + (20...30^{\circ}C)$

Пўлатнинг пластиклиги ва қовушоқлиги мартенсит до-началарининг ўлчамларига, яъни майдалигига боғлиқ. Аустенитнинг доначалари қанча майда бўлса, тобланган пўлат хоссалари шунча яхши бўлади. Бўшатиш термик ишлашнинг охириги жараёни бўлиб, унинг таъсирида ме-ханик хоссалар шаклланади.

Бўшатиш жараёнида механик хоссаларнинг ҳаммаси ҳам ўзгаради (80-рассм). Мустаҳкамлик кўрсаткичлари (σ_b , $\sigma_{0,2}$,



80-рассм. Тобланган пўлат хоссаларининг бўшатиш ҳароратига боғлиқлиги.

НВ) бўшатиш ҳароратига боғлиқ бўлиб, тобланган ҳолдаги мустаҳкамликка нисбатан камаёди, пластиклик (δ , ψ) кўнаяди. Тоблаш ва бўшатиш ҳароратларини тўғри танлаш орқали қаттиқлик даражаси билан пластикликнинг энг яхши нисбатига эришиш мумкин.

Намунавий назорат саволлари

1. Феррит-цементит аралашмани иситишда изотермик парчаланиш тўхтовсиз иситишдаги парчаланишдан қандай фарқ қилади? 2. Перлитни аустенитга парчаланиш тартиби нималардан иборат? 3. Аустенит доначаларининг ўлчами механик хоссаларга қандай таъсир кўрсатади? 4. Майда доначали аустенит доначаларини ҳосил қилиш учун нима қилиш керак? 5. Қандай пулатларга, масалан деформациялашда, юқори ҳароратга кўтариш хавф туғдиради? 6. Аустенитни изотермик парчалашда қандай структуралар ҳосил бўлади? 7. Парчаланиш жараёнида аустенитнинг турғунлиги нимага боғлиқ? 8. Аустенит мартенситга парчаланиши учун қандай ўта совитиш керак? 9. Мартенситнинг структураси ва унинг ўлчамлари нимага боғлиқ? Унинг асосий хусусиятлари нималардан иборат? 10. Қолдиқ аустенит нима? Унинг тобланган пулат таркибидagi миқдори нимага боғлиқ? 11. Орадиқ парчаланишда ҳосил бўладиган структура таркибини кўрсатинг. 12. Бўшатишдан троостит ва сорбит тобланган троостит ва сорбитдан қандай фарқ қилади? 13. Тобланган пулатнинг механик хоссалари пулат таркиби ва ҳароратга боғлиқлигини таърифланг. 14. Термик ишлашдан кузатиладиган мақсад нималардан иборат?

10-б о б.

СОФ ТЕРМИК ИШЛАШ МАҲОРАТИ (ТЕХНОЛОГИЯСИ)

Соф термик ишлаш технологияси термик ишлаш назариясига асосланган. Машинасозликда ишлатиладиган пулатларнинг кўпчилиги қисми термик ишланади. Термик ишлаш натижасида мустаҳкамликнинг ортиши машина воситаларининг ишлашини яхшилаш, металллардан унумли фойдаланиш ва тежашнинг муҳим усулидир. Машина воситаларини

тайёрлаш жараёнида материалга бир неча марта термик ишлов бериш мумкин, лекин ҳар бир термик ишлов бериш технологияси маълум мақсадга мувофиқ танланади.

Материалларнинг турлари кўп бўлиб, амалда машина конструкцияларига қўйилаётган талаблар ҳам турличадир. Демак, термик ишлов бериш технологиясининг турлари ҳам кўпдир. Ишлаб чиқаришнинг унумдорлигини ошириш учун ҳам термик ишлов бериш турларини тобора кенгайтириш керак бўлади.

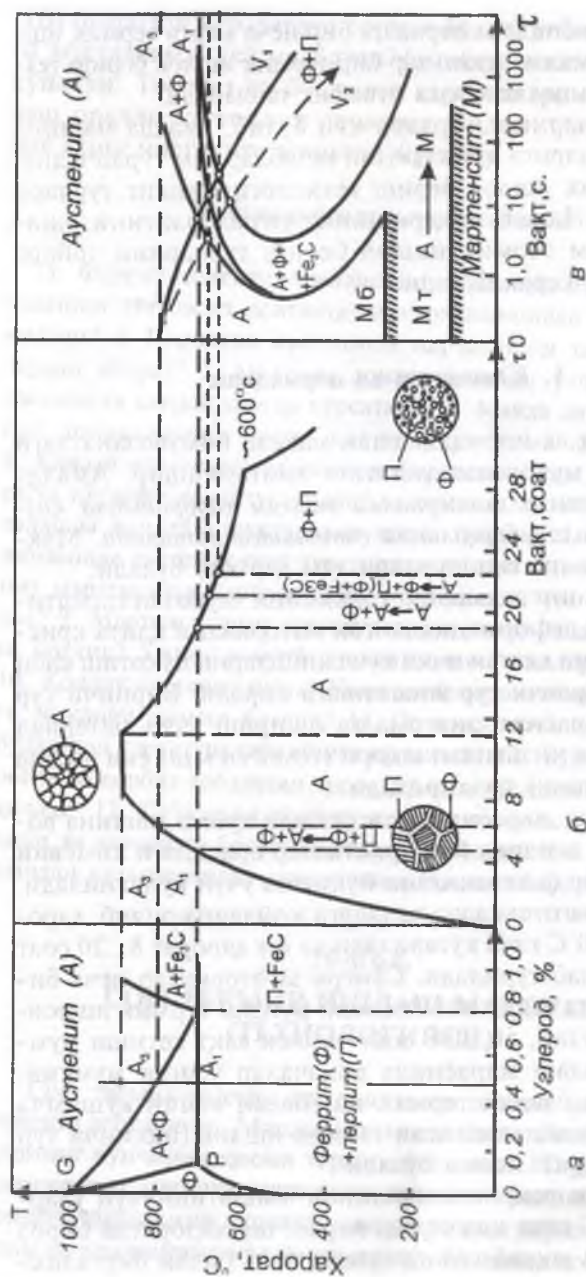
1. Юмшатиш ва нормаллаш

Юмшатиш ва нормаллашдан мақсад номувозанатдаги структурани мувозанат ҳолатига қайтаришдир. Амалда юмшатиш деганда *материални маълум ҳароратгача қиздириб, печь билан биргаликда совитишга айтилади*. Мақсадга қараб юмшатиш турлари ҳам ҳар хил бўлади.

Материалнинг кимёвий таркибини мувозанатлаштириш, пластик деформацияланган материални қайта кристаллаш, вужудга келган ички қучланишларни йўқотиш каби жараёнлар **биринчи тур юмшатишга** киради. Биринчи тур юмшатиш жараёнларини амалга ошириш учун материал фаза ўзгариши чизигидан юқори (гомогенлаш) ёки пастда (рекристалланиш) қиздирилади.

Гомогенлаш жараёни катта ҳажмли қуйма машина воситаларидаги дендрит ёки кристаллар орасидаги кимёвий нотекисликлар (ликвация)ни йўқотиш учун қўлланилади. Бунинг учун заготовкalar печларга жойлаштирилиб, ҳарорат $1100...1200^{\circ}\text{C}$ гача кўтарилади ва шу ҳарорат $8...20$ соат давомида ушлаб турилади. Сўнгра заготовкalar печь билан биргаликда секин совитилади. Бундай термик ишловга ҳаммаси бўлиб, $50...100$ соат чамаси вақт кетиши мумкин. Гомогенлаш жараёнида доначалар ўсиши мумкин. Шунинг учун бундай термик ишловдан кейин қўшимча доначаларни майдалайдиган термик ишлов (иккинчи тур юмшатиш) бериш лозим бўлади.

Пўлатларни рекристаллизацион юмшатиш учун уларни $650...700^{\circ}\text{C}$ гача қиздириш керак, шу ҳароратда бироз ($0,5...1,5$ соат) ушлаб туриб, сўнгра печь билан биргалик-



81-рasm. Углеродни цўлатларни юмшатиш маҳоратиға онд чизма: а — темир — углерод диаграммасининг пўлат қисми; б — тўла юмшатиш диаграммаси; в — аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммаси.

да совитилади: Бунда ферритни қайта кристалланиши билан бир қаторда цементит ҳам бироз ўсади ва унинг пластиклиги ошади.

Пўлат қуймаларда пайвандлашдан кейин кесиб ишлаш ёки жилвирлашдан кейин ҳосил бўладиган ички кучланишларни йўқотиш ёки камайтириш учун материал юмшатилади. Бундай юмшатишнинг ҳарорати $150...700^{\circ}\text{C}$ гача бўлиши мумкин. Масалан, жилвирлашдан ($160...180^{\circ}\text{C}$), кесиб ишлашдан ($570...600^{\circ}\text{C}$) ёки пайвандлашдан ($650...700^{\circ}\text{C}$) кейин материал қиздирилиб, аста-секин совитилганда қолдиқ механик ёки термик ички кучланишлар камаяди. Бундай юмшатишга 2...3 соат вақт кетади.

Иккинчи тур юмшатишда асосан фазовий таркиб, доначалар шакли ва ўлчамларининг хилма-хиллиги йўқотилади ҳамда юмшатиш асосан фаза ўзгариш ҳароратидан юқорида олиб борилади. Натижада структура ҳолат диаграммасидаги мувозанатга яқинлашади. Бунда термик ишловга тўла юмшатиш, чала юмшатиш ва нормаллаш киради.

Доначаларни нисбатан майдалаш ва қолдиқ ички кучланишларни йўқотиш учун эвтектоидгача бўлган пўлатларни A_1 дан, эвтектоиддан кейинги пўлатларни эса A_2 дан $30...50^{\circ}\text{C}$ юқорида (81-а расм) қиздириб, шу ҳароратда бироз ушлаб туриб, сўнгра печь билан биргаликда совитилади (81-б расм). Юқори ҳароратда ушлаб туриш вақти фаза ўзгаришига етарли бўлса бас, натижада майда доначалар аустенитни совитиш ҳисобига перлит доначалари ҳам майда бўлади.

Қиздириш тезлиги материалнинг таркибига ва машина воситаларининг шаклига ҳамда печь турига боғлиқ бўлади. Совиш тезлиги (81-в расмдаги V_1 тезлик) асосан материал таркибига боғлиқ бўлиб, пўлатлар учун $200...250^{\circ}\text{C}/\text{соат}$ ни ташкил қилади. Бундай термик ишлов бериш технологияси ишлаб чиқаришда тўла юмшатиш деб аталади.

Совиш вақтини камайтириш мақсадида аустенит энг кам барқарорликка эга бўлган ҳароратда тўла парчалангунча ушлаб турилади. Бунинг учун пўлат 850°C да қиздирилади ва шу ҳароратда кераклича ушлаб турилгандан кейин материал бошқа печга олиб ўтилади, иккинчи печ-

нинг ҳарорати аустенитнинг барқарорлиги энг кам бўлган ҳароратга тенг ёки ундан биров кам ёки кўп ($30...50^{\circ}\text{C}$) бўлиши мумкин. Ўзгармас ҳароратда ушлаб туриш вақти аустенитнинг тўла перлитга парчаланиш даврига тенг. Аустенит перлитга парчаланиб бўлгандан сўнг аста-секин со-
вителиади. Ана шундай ишлов бериш изотермик юм-
шатиш деб аталади ва бунга тўла юмшатишга қараганда 2...3 марта кам вақт сарфланади.

Машинасозлик амалиётида тўла бўлмаган юмшатиш ҳам қўлланилади. Бунинг учун материал A_1 ҳарорат атро-
фи (аниқроғи ундан $10...30^{\circ}\text{C}$ юқориқ) да қиздирилади. Бундай термик ишлов беришнинг асосий мақсади ясси (пластинка) шаклидаги перлитни донатор шаклига ўтка-
зишдан иборат. Юмалоқ шаклдаги перлитнинг қаттиқ-
лиги ясси шаклдаги перлитга қараганда биров кам бўлса
ҳам унинг пластиклиги юқоридир.

Донаторлик A_1 атрофида қиздирилиб, сўнгра совитиш
натijasида содир бўлишининг сабабини қуйидагича ту-
шунтириш мумкин. Бундай ҳароратда қиздирилган аус-
тенит доначалари ўлчами ҳар хил ҳамда цементит аусте-
нитда тўла эришга улгурмаганлиги совитишда перлитга
парчаланишда тайёр янги цементит маркази ҳисоблана-
ди. Агар ҳароратни янада юқориққа кўтарсак, аусте-
нит доначалари бир хил таркибли (гомоген) ҳолатга ўта-
ди, цементит эса аустенитда тўла эрийди ва совитишда
ясси структурали перлит ҳосил бўлади.

Нормаллаш тўла юмшатишдан совиш тезлиги билан
фарқ қилади, яъни нормаллашда, ҳавода совитилади (81°C в, расмдаги V_2 тезлик). Ҳавода совиш тезлиги печь билан
биргаликда совитишга қараганда каттароқ ($V_2 > V_1$) бўлган-
лиги учун перлитга парчаланиш жараёни пастроқ ҳаро-
ратда боради. Натижада тўла юмшатишдагига қараганда
структура майдароқ бўлади (сорбит ёки троостит ҳосил
бўлади). Шунинг учун қаттиқлик ва мустаҳкамлик юм-
шатишдагига қараганда тахминан 15...20% га юқориқ
бўлади. Баъзи вақтда (пўлат таркибига қараб) нормаллаш
фақатгина юмшатиш вазифасини бажармасдан тоблаш ва
эскиртириш вазифаларини ҳам бажариши мумкин.

Кам углеродли пўлатлар учун кўп ҳолларда юмшатиш
ўрнига нормаллаш ўтказилади. Фақат иқтисодий нуқтан

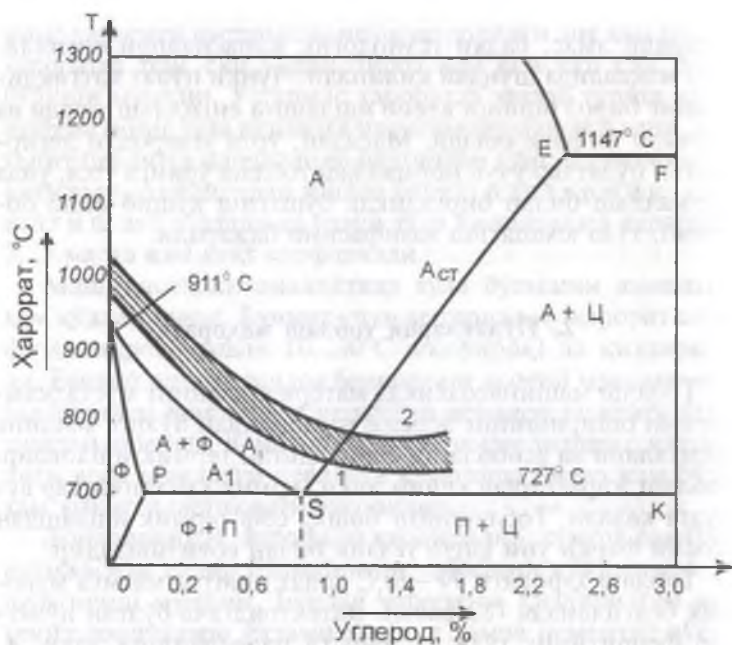
назардан эмас, балки технологик жараёнларни енгилла-тиш мақсадида шундай қилинади. Чунки пўлат қаттиқли-гининг бироз ошиши кесиб ишлашни енгиллаштиради ва юзанинг сифати ошади. Масалан, ўрта углеродли легир-ланган пўлатлар учун нормаллаш тоблаш ўрнига ўтса, унда нормаллаш билан биргаликда бўшатиш қўшиб олиб бо-рилиб, тўла юмшатиш вазифасини бажаради.

2. Пўлатларни тоблаш маҳорати

Тоблаш машинасозликда материалларнинг мустаҳкам-лигини оширишнинг асосий усулларидан бўлиб, машина воситалари ва асбобларга бериладиган термик ишловдир. Тоблаш жараёнидан кейин ички термик кучланишлар ву-жудга келади. Тоблашнинг бошқа соф термик ишладан асосий фарқи уни катта тезлик билан совитишдадир.

Тоблаш ҳарорати $Fe-Fe_3C$ ҳолат диаграммасига муво-фиқ белгиланади (82-расм). Эвтектоидгача бўлган пўлат-лар ферритнинг тўла аустенитга парчаланиши учун A_{cm} дан $30...50^\circ C$ юқори ҳароратгача қиздирилади, эвтектоид ва ундан кейинги пўлатлар эса A_{cm} дан $30...50^\circ C$ юқори ҳароратгача қиздирилади (1- ва 2-эгри чизиқлар). Кўп углеродли пўлатлар A_{cm} дан юқори ҳароратда қиздирил-са, аустенитда цементитни эриши ҳисобига углерод кўпа-йиб кетади, натижада тобланган структурада қолдиқ аус-тенитнинг миқдори кўпайиб, аустенит дончаси ўсади, ички кучлар ортиб боради. Натижада тобланган пўлат структурасининг қаттиқлиги камаёди. Шунинг учун уг-леродли пўлатларни қиздириш ҳарорати 82-расмда кўрсатилган даражадан ошиб кетмаслиги керак. Лекин легир-ланган пўлатлар таркибидаги махсус карбидларни аусте-нитда эритиш мақсадида ҳароратни янада ($150...250^\circ C$) кўтариш мумкин.

Тоблаш учун ҳароратни бир хиллаштириш учун вақт кўп кетса, юза қисмида аустенит дончаси ўсиб кетиши мумкин. Амалда қиздириш вақти ва керакли ҳароратни ушлаб туриш вақти материалнинг шакли, унинг печда таҳлианиш усули, печнинг тури ва шунга ўхшаш шаронт-ларга боғлиқ бўлади.



82-расм. Темир-углерод тизимли ҳолат диаграммасининг пўлат қисмида тоблаш ҳароратини аниқлаш.

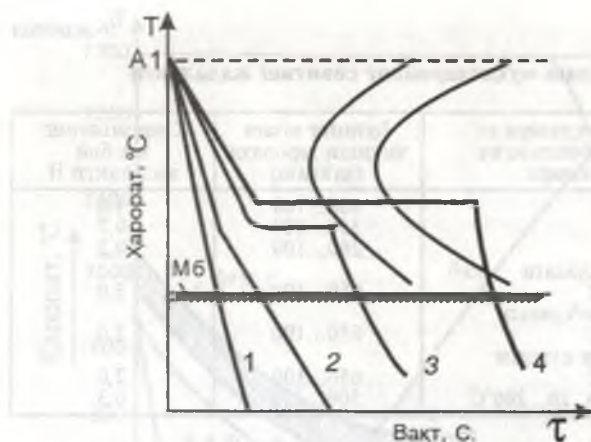
Заготовкарни юқори ҳароратли печларда қиздириш-да металл оксидланиши мумкин, натижада юза углеродга камбағаллашади (углерод куяди). Машинасозлик амалиётида шундай печлар ҳам борки, унда ҳосил бўлаётган кимёвий муҳит текшириб турилади, яъни оксидланиш-қайтарилиш реакциялари махсус қурилма орқали бошқариб турилади.

Тоблаш муҳити (совитиш муҳити)ни танлаш ҳам муҳим аҳамиятга эга. Аустенитнинг изотермик парчаланиш диаграммасидан маълумки, тоблаш учун керак бўлган энг кам совитиш тезлиги эгри чизиққа уринма ўтиши керак. Лекин совитишни мумкин бўлганча, айникса мартенситга парчаланиш чегарасида секинлатиш керак, чунки ички термик кучланишларни мумкин қадар камайтириш керак. Демак, совитиш муҳитларини танлаш орқали совитиш бошқарилади (9-жадвал).

Тоблаш муҳитларининг совитиш жадаллиги

Тоблаш муҳитлари ва уларнинг бошланғич ҳароратлари	Бугнинг юзага чиқиши ҳарорати (қайнаш)	Совитишнинг нисбий жадаллиги Н
Сув, 20°C	400...100	1,0
Сув, 40°C	350...100	0,7
Сув, 80°C	280...100	0,2
10% NaCl нинг сувдаги эритмаси, 20°C	650...100	3,0
10% NaOH нинг сувдаги эритмаси, 20°C	650...100	2,0
50% NaOH нинг сувдаги эритмаси, 20°C	650...100	2,0
Минерал ёғлар, 20...200°C	500...250	0,3

Совитиш муҳити сифатида кўпроқ сув ва минерал мойлар ишлатилади, баъзи вақтда босим остидаги ҳаводан ҳам фойдаланилади. Қизиган металлни совитишда металл юзаси билан совитиш муҳити бир-бирига текканда иккала жисм ҳам ўзларининг муҳим хусусиятларини намоён қиладилар. Юқори ҳароратдаги металл юзасига суяқ совитиш муҳити яқинлашганда буг ҳосил бўлади ва металл юзасини ўраб олади. Бу буг иссиқлик алмашишига тўсқинлик қилади. Ҳарорат пасайиб борган сари буг билан қопланган металл юзасида бугнинг совитиш массасини тешиб ўтиши рўй беради. Энди совитиш муҳитининг металл юзасига тегиш имкони туғилгани учун совитиш жараёни тез боради (совитиш муҳити юзасида қайнаш ҳосил бўлади). Совитиш муҳитининг қайнаш ҳароратидан пастда совитиш оддий иссиқлик алмашиш қонунига бўйсунди. Шунинг учун совитиш муҳитини тўғри танлаш машина воситаларининг турига боғлиқ бўлади. Углеродли пўлатларни тоблашда оддий ҳароратдаги (18...25°C) сувдан фойдаланилади. Юқори углеродли ва легирланган пўлатлар учун ёки мураккаб шаклдаги заготовклар учун кўпинча минерал ёғлар совитиш муҳити сифатида ишлатилади. Туз эритмалари ҳам совитиш муҳити ҳисобланиб, баъзи вақтда минерал ёғлар ўрнида қўлланилади. Юза фаолиятини оширувчи ёки сунъий полимерларнинг сувдаги эритмалари ҳам бу мақсадларда қўлланилиши мумкин (ПК2, ПАА, УЗСП-1).



83-расм. Эвтектоидгача бўлган пўлатларни тоблаш маҳорати усулларини ифодаловчи чизмалар.

Энди амалда кўпроқ қўлланиладиган баъзи аниқ тоблаш усулларини келтирамиз (83-расмдаги 1, 2, 3, 4-эгри чизиқлар).

Агар заготовканинг кўндаланг кесими кичик ва шакли унча мураккаб бўлмаса, тўхтовсиз бир муҳитда тоблаш мумкин (1-эгри чизиқ). Лекин бунда термик ишлов бериш қулай бўлгани билан ички кучланишлар катта бўлади, шунинг учун бу усулни жавобгарлиги катта бўлмаган машина воситалари учун қўллаш мумкин. Юқори углеродли асбобсозлик пўлатлари учун икки муҳитда тўхтатиб тоблаш қўлланилади. Бу усул худди идеал тоблаш режасига ўхшайди. Бунинг учун қиздирилган кесувчи асбоб аустенитнинг барқарорлиги энг кичик давридан ўтгунча тез совитилади (масалан, сувда), сўнгра мартенситга парчаланиш ҳароратидан $80...100^{\circ}\text{C}$ юқориқ ҳароратда секин совитилади (сувдан олиб, мойга солинади). Бунда кесувчи асбоб деформацияланмайди, ички термик кучлар камроқ ҳосил бўлади (2-эгри чизиқ). Кесувчи асбобнинг тузилиши мураккаб бўлиб, ҳажми катта бўлса, тўхтатиб тоблаш қўлланилади (3-эгри чизиқ). Бунинг учун қиздирилган маҳсулот тез совитилиб, суяқ муҳитда мартенситга парчаланиш ҳароратидан юқориқ ҳароратда бироз ушлаб турилади, сўнгра ҳаво таъсирида совитиш давом эттири-

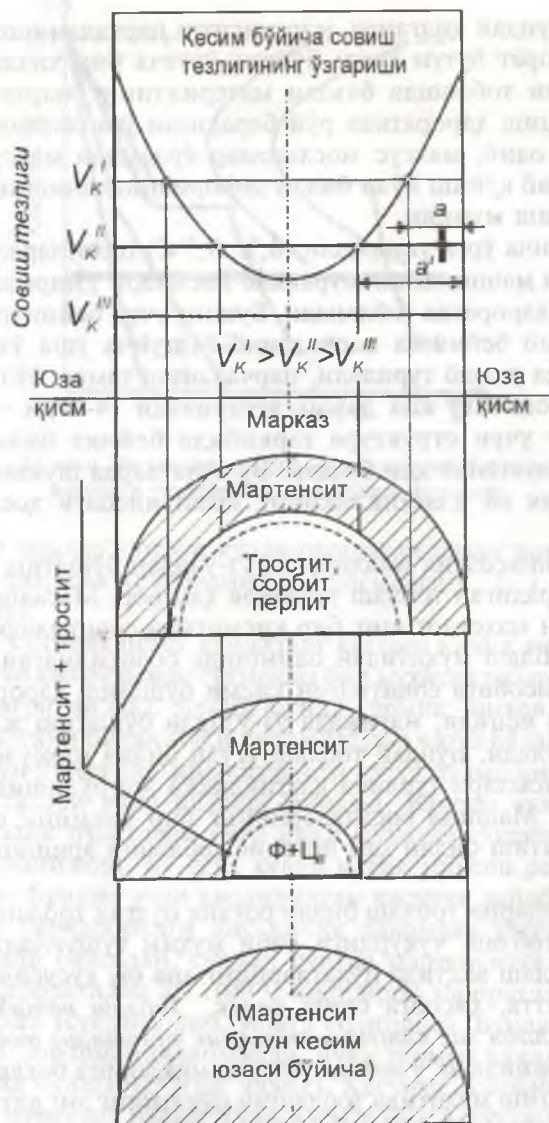
лади. Шундай қилганда, мартенситга парчаланишдан олдин ҳарорат бутун ҳажм бўйича ўртача бир хиллашади. Погонали тоблашда баъзан материалнинг мартенситга парчаланиш ҳароратида рўй берадиган ўтапластикликни ҳисобга олиб, махсус мосламалар ёрдамида маҳсулотни маҳкамлаб қўйиш йўли билан деформацияланишнинг олдини олиш мумкин.

Кўпинча ўрта углеродли ($0,3...0,5^{\circ}\text{C}$) пўлатлардан тайёрланган машинанинг мураккаб қисмлари ўзгармас (изотермик) ҳароратда тобланади. Бунинг учун бейнитгача тез совитилиб бейнитга парчаланиб бўлгунча ўша ўзгармас ҳароратда ушлаб турилади, парчаланиш тамом бўлгандан кейин совитиш яна давом эттирилади (4-эгри чизик). Шунинг учун структура таркибида бейнит билан бир қаторда аустенит ҳам бўлади. Бу пўлатларда шунинг учун қаттиқлик ва пластикликнинг яхши нисбати ҳосил бўлади.

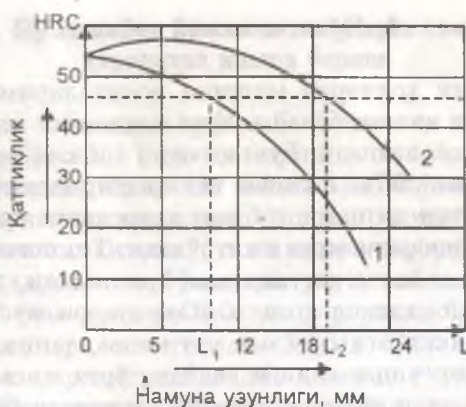
Машинасозлик амалиётида ўз-ўзидан бўшатиш имконини берадиган тоблаш усуллари ҳам бор. Масалан, қиздирилган маҳсулотнинг бир қисмигина совитилади, маҳсулот тоблаш муҳитидан олинганда совитилмаган иссиқ қисми ҳисобига совитилган қисми бўшатиш ҳароратигача қайта исийди, натижада ўз-ўзидан бўшатиш жараёни содир бўлади. Бундай тоблаш усули билан маҳсулотнинг турли қисмлари турлича қаттиқликка эга бўлишига эришилади. Машина воситаларининг бир қисмини сув сеппиб совитиш билан ҳам нотекис тоблашга эришиш мумкин.

Пўлатларни тоблаш билан боглиқ бўлган тобланувчанлик ва тоблаш чуқурлиги каби муҳим тушунчалар ҳам бор. Тоблаш вақтида пўлатларнинг ана шу хусусиятларини, албатта, ҳисобга олиш керак. *Тоблаш натижасида эришиладиган энг катта қаттиқлик пўлатнинг тобланувчанлиги* дейилади, у асосан углерод миқдорига боглиқ. Ҳар хил совитиш муҳитида тобланган пўлатнинг энг катта қаттиқлиги юзанинг қаттиқлигидир.

Юзадан бошлаб, 50% мартенсит ва 50% трооститдан иборат қатламгача бўлган оралиқ *тоблаш чуқурлиги* дейилади. Совиш тезлиги ҳар хил қатламларда ҳар хил бўлади. Масалан, 84-расмда кўрсатилганидек, маълум қатлам-



84-расм. Тоблаш критик тезлигининг тобланган қатлам қалинлигига таъсири: a — ва a' — тобланган қисм қалинлиги; v' — углеродли пўлатлар ва v'' , v''' — кам ва кўп легиранган пўлатларни тоблаш критик тезликлари.



85-расм. Ён томонидан тоблашда намуна узунлиги билан қаттиқлик орасидаги боғланиш (1 — ярим мартенситли қатлам қаттиқлиги; 1 — тоблаш чуқурлиги кичик ва 2 — тоблаш чуқурлиги катта бўлган пулатлар).

дагина мартенсит структураси ҳосил бўлади. Ичкарироқ қатламларда эса бейнит, троостит ва сорбит структура-лар ҳосил бўлиб, ўрта қисми умуман тобланмаслиги ҳам мумкин.

Тоблаш чуқурлигини аниқлаш учун махсус 5657—69 ГОСТ мавжуд бўлиб, бу ГОСТ га асосан ўзаксимон на-мунанинг диаметри 25 мм, узунлиги эса 100 мм га тенг, намуна қиздирилгандан сўнг маълум ускунага қўйиб тоб-ланади. Сўнгга тобланган томонидан бошлаб такрорла-надиган маълум танланган ораликда қаттиқликнинг ўзга-риш диаграммаси чизилади (85-расм). Одатда, маълумот-нома справочникларда ҳар хил материалларнинг ярим мартенситли қатлам қаттиқлиги берилади. Материал учун маълумотнома (справочник)ларда берилган ярим мартен-ситли қатлам қаттиқлигини (1-горизонтал) тажрибада олинган диаграмма кўрсаткичлари билан солиштириб, текширилаётган намунанинг тоблаш чуқурлигини аниқ-лаш мумкин (L_1 ва L_2).

Тоблаш чуқурлиги аустенитнинг барқарорлигига боғ-лиқ. Шунинг учун легирилган пулатларни тоблаш чу-қурлиги анча катта бўлади.

3. Пулат юзасини тоблаш

Кўпчилик ҳолларда машина воситаларининг ишчи юзалари ўта қаттиқ бўлади. Ўрта қисмнинг эса қовушоқ бўлиши талаб этилади. Бунга юзани тоблаш орқали эришиш мумкин. Юза шундай тез қиздириладики, маҳсулотнинг устки қатлами тоблаш ҳароратига егганда ўрта қисмнинг ҳарорати анча паст бўлади. Тез совитиш натижасида юзада катта қаттиқликка эришилади, лекин ўрта қисм қовушоқлигича қолади. Юза юқори мустаҳкамлик ва қаттиқликка эга бўлгани учун ишқаланишдаги ейишга унинг чидамлилиги ошади, ўрта қисм қовушоқ бўлганлиги учун динамик таъсирга чидамли бўлади.

Ишлаб чиқаришда юза юқори тебранишли ток таъсирида қиздириб тобланади. Бу усул ўтказгич (тобланаётган жисм)дан индукцион ток ўтганда катта иссиқлик энергиясининг ажралиб чиқишига асосланган. Бунда ўзгарувчан электр майдони ҳосил қилинади, шу электр майдонни ўтказгич кесиб ўтса, унда индукцион ток оқа бошлайди. Ўтказгичнинг қизиши токнинг тебраниш даражасига боғлиқ бўлиб, у қанча катта бўлса, қизиган қатлам қалинлиги шунча кичик бўлади. Шунинг учун тоблаш керак бўлган қатлам қалинлигига қараб, токни тебраниш даражасини генераторлар орқали бошқариш мумкин.

Тобланиши керак бўлган қатлам қалинлиги маҳсулотнинг ишчи юзасига қўйилган талабга боғлиқ. Масалан, чарчаш натижасида емирилишни олдини олиш керак бўлса, 1,5...3 мм қатламни тоблаш етарли бўлади, умуман бу усулда 10...15 мм чуқурликдаги қатламни тоблаш мумкин.

Юзани газ алангасида қиздириб ҳам тоблаш мумкин (масалан, атиги бир ёки бир неча машина воситаларини тайёрлаш керак бўлганда). Газ ёнганда етарли даражада (2000...3600°C) иссиқликни ажратиб чиқаради, тоблаш учун шу ҳарорат етарли бўлади.

Юзани тоблаш учун кейинги вақтда лазер нуридан ҳам фойдаланилмоқда.

4. Пўлатларни бўшатиш ва уларга совуқ ҳароратда ишлов бериш

Бўшатиш тоблашдан кейин бажарилиши шарт бўлган жараёндир. Бўшатиш учун қиздириш эвтектоидгача бўлган пўлатлар учун Ас, чизигидан пастда олиб борилади ва тобланган намунанинг хоссалари бўшатиш ҳароратига боғлиқ бўлади. Бўшатиш кичик, ўрта ва юқори ҳароратли бўлади.

Кичик ҳароратли бўшатиш учун тобланган пўлат 180...250°C гача қиздирилиб, шу ҳароратда бироз ушлаб турилади, сўнгра совитилади. Ҳосил бўлган структура бўшатишдан мартенсит бўлади, шунинг учун тоблашда эришилган қаттиқлик деярли ўзгармайди, лекин мустаҳкамлик ва қовушоқлик сезиларли даражада ортади. Аксарият ҳолларда кам легирланган ҳамда углеродли пўлатлар шундай бўшатилади. Юзани тоблаш ёки кимёвий-термик ишлашда ҳам ана шундай бўшатиш қўлланилади.

Ўрта ҳароратли бўшатиш учун тобланган пўлат 350...500°C гача қиздирилади (лекин бу ҳароратда ушлаб туриш даври машина воситасининг массасига боғлиқ бўлиб, 1...2 соатдан 3...8 соатгачадир), сўнгра очиқ ҳавода совитилади. Пружиналарнинг чидамлилигини ошириш учун 400...450°C гача қиздириб, шу ҳароратда бироз ушлаб турилгандан кейин сувда совитилади. Шундай қилинганда ҳосил бўлган ички кучланиш сиқиш хусусиятига эга бўлади. Ўрта ҳароратда бўшатишдан пўлат структура-си троостит бўлади. У троостит бўшатиш (тоблашдаги трооститдан фарқ қилиши учун) деб аталади. Ўрта ҳароратли бўшатиш аксарият ҳолда пружиналар, рессорлар, штампларга берилади.

Юқори ҳароратли бўшатиш 550...680°C да олиб борилади, бу ҳароратда 1...3 соат ушлаб турилади, сўнгра ҳавода совитилади (легирилланган пўлатларни иккинчи тур мўртликдан сақлаб қолиш учун сув ёки мойда совитилади). Бундай бўшатиш ўрта углеродли (легирилланган) пўлатларга қўлланилади. Тўла тоблаш ва юқори ҳароратда бўшатиш яхшилаш деб аталади. Бунинг натижасида сорбит ҳосил бўлади.

Тобланган пўлатларга совуқ ҳароратда ишлов бериш машинасозлик амалиётида тез-тез учраб туради. Юқори

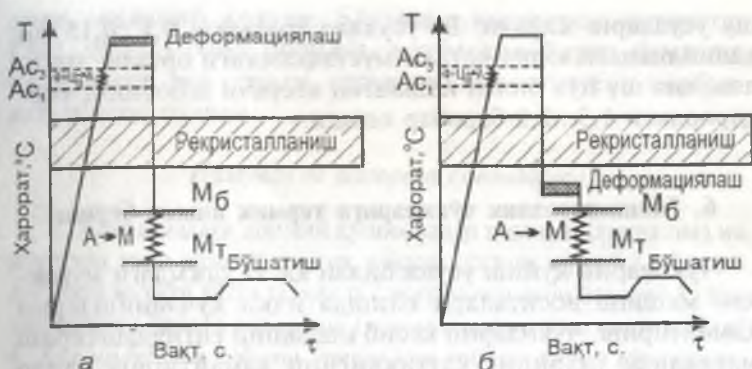
углеродли ($C \geq 0,6\%$) ва легирланган пўлатларда 0°C дан пастда мартенситга парчаланиш давом этади. Масалан, ледебурит, аустенит классигаги пўлатларда худди шундай бўлади. Бундай пўлатларни тоблаш натижасида кўпроқ мартенсит ҳосил қилиш учун 0°C дан паст ҳароратда совитиш давом этирилади. 0°C дан паст ҳароратда совитиш тўғридан-тўғри тоблашни давоми бўлса, катта самарадорликка эришиш мумкин. Агар совитиш ҳароратлари орасида узилиш бўлса, аустенит стабиллашиши мумкин ва унинг мартенситга парчаланиши қийинлашади. Машина воситалари ўлчамининг кейинчалик ўзгаришини олдини олиш мақсадида, совуқтайин ишлов берилгандан сўнг, қайта $100...150^\circ\text{C}$ да қиздириб, шу ҳароратда $1,0...1,5$ соат ушлаб туриш зарур бўлади. Баъзан тезкесар пўлатларга совуқтайин ишлов берилгандан кейин бир марта юқори ҳароратли бўшатиш ҳам берилади.

5. Пўлатларга термомеханик ва механотермик ишлов бериш

Пўлатларни тоблаб, кичик ҳароратли бўшатиш берилгандан кейин $\sigma_0 = 2000...2200$ МПа га, δ эса $3...4\%$ га эга бўлади. Машинасозлик амалиётида материалларни мустаҳкамлашга бўлган талаб ортиб бормоқда. Структурани майдалаш усули билан тобланган пўлат мустаҳкамлигини $1,7...2,5$ марта ошириш мумкин. Бунинг учун тоблаш ва деформациялаш жараёнлари маълум кетма-кетликда қўшиб олиб борилади.

Термомеханик ишлов бериш (ТМИ) пўлатни аустенит структура ҳолатида пластик деформациялаш, сўнгга тоблаш деганидир. Агар деформациялаш юқори ҳарорат (A_c дан юқори)да олиб борилса, бу жараён юқори ҳароратли термомеханик ишлов (ЮТМИ) бериш дейилади, агар деформация A_c дан пастда аустенитнинг барқарор даврида олиб борилса, бу жараён кичик ҳароратли ТМИ деб аталади (86-а, б расм).

ЮТМИ да пўлат A_c дан юқори ҳароратда $20...30\%$ пластик деформацияланади, сўнгга тоблаб кичик ҳароратли бўшатиш берилади. Бунда пачоқланган аустенит мартен-



86-расм. Юқори (а) ва паст ҳароратда (б) термомеханик ишлов бериш маҳоратининг схемаси.

ситга парчаланadi. Шунинг учун структура майда доначали мартенситдан иборат бўлиб, дислокация зичлиги ҳам сақланиб қолади. Бунинг ҳисобига мустаҳкамлик (σ_b) 2400 МПа гача етади. Мустаҳкамликни бундан ҳам ошириш мумкин, лекин пачоқланган аустенит юқори ҳароратда қайта кристалланишга (рекристалланишга) улгуради, бу эса ўз навбатида мустаҳкамликни камайтиради. ТМИ самарадорлигини ошириш мақсадида пластик деформация мартенситга парчаланиш ҳароратидан юқори, қайта кристалланиш ҳароратидан пастда (400...600°C) олиб борилади, яъни ПТМИ қўлланилади (86-расм, б). Бундай ишлов натижасида мустаҳкамлик (σ_b) 30000 МПа га, пластиклик эса 6...8% га тенг бўлади (деформация даражаси 75...85% ни ташкил қилади).

Тоблашдан кейин пластик деформациялаш усули билан ҳам мустаҳкамликни оширса бўлади. Бундай термик ишлов *механотермик ишлов* деб аталади. Масалан, пўлатни трооститга тоблаб, у 90...95% га деформацияланса, мустаҳкамлик 5000 МПа га етади. Ана шу йул билан юқори углеродли пўлатлардан пухта сим тайёрланади. Амалиётда баъзан мартенситга тоблангандан кейин уни 3...5% деформациялаб, мустаҳкамлик 15...20% га оширилади.

Юза мустаҳкамлигини оширишнинг махсус аралаш усуллари ҳам бор. Масалан, юзадан ток ўтказиб деформациялаш, яъни электромеханик пластик деформациялаш ҳамда порглатиш ёрдамида юзани мустаҳкамлаш ана

шу усулларга киради. Бу усуллар ёрдамида 0,1...0,15 мм қалинликдаги юпқа қатлам мустаҳкамлиги ортади, масалан, ана шу йўл билан ишланган кесувчи асбобнинг барқарорлиги 1,5...2,0 баробар ошади.

6. Машинасозлик чўянларига термик ишлов бериш

Чўянларни қуйиш усули билан катта ҳажмдаги мураккаб машина воситалари олишда ички кучланишларни камайтириш, чўянларни кесиб ишлашни енгиллаштириш мақсадида уларнинг қаттиқлигини камайтириш ҳамда механик хоссаларни яхшилаш, ишқаланишдаги емирилишга қаршилиқни ошириш мақсадида термик ишлов бериш усулидан фойдаланилади.

Чўянни термик ишлаш пулатларни термик ишлашдан фарқ қилмайди. Фақат чўянларда қўшимча равишда графитга парчаланиш давом этиши мумкин, бу эса хоссаларга ўзгартириш киритади. Кўпинча чўянлардаги ички термик кучланишларни камайтириш мақсадида 500...600°C гача қиздириб, шу ҳароратда 6...8 соат ушлаб турилади, сўнгра яна янги термик кучланишлар ҳосил бўлмаслиги учун секин совитилади.

Баъзан юқори ҳароратда чўян юмшатилади. Бу чўяннинг қаттиқлигини камайтиради ва кесиб ишлашни осонлаштиришдан иборат. Бунинг учун чўян 850...950°C гача қиздирилади ва шу ҳароратда бир неча соат ушлаб турилади. Бундан кутилган мақсад σ_c ва σ_p нинг графитга парчаланишини таъминлашдан иборатдир.

Механик хоссаларни яхшилаш учун ҳамда ишқаланиб емирилишга чидамликни ошириш учун меъёрлаш ўтказилади. Бунда ҳам материал 850...950°C гача қиздирилиб, шу ҳароратда 1...2 соат ушлаб турилади, сўнгра ҳавода совитилади.

Тоблаш натижасида чўяннинг мустаҳкамлигини бироз бўлса ҳам ошириш мумкин, чунки тобланган чўян структурасида мартенсит билан бир қаторда графит ҳам бўлади. Тоблаш учун 840...900°C гача қиздирилиб, мойда совитилади.

Тобланган чўян паст ҳароратда (200...250°C) бўшатилса, ишқаланиб емирилишга бардошлилиги ҳамда қаттиқ-

лиги сақланиб қолади. Бушатиш юқорироқ ҳароратда (300...500°C) олиб борилса, қаттиқлик бироз камаяди, пластиклик эса ортади, структура троостит ёки сорбитдан иборат бўлади.

Намунавий назорат саволлари

1. Қотинмадаги доимий қўшимчалар тўплами (ликвация) ни йўқотиш учун қандай термик ишлов қўлаш зарур? 2. Қандай совитиш муҳити катта тезликда совитишга имкон беради? 3. Қачон тоблаш ўрнига меъёрлаш (нормаллаш)ни ўтказиш мумкин? 4. Ҳажми бўйича тоблаш ўрнига юза тоблаш қачон қўлланилади? 5. Пўлатнинг тобланувчанлиги ва тоблаш чуқурлигига нима таъсир кўрсатади? 6. Бушатишни қачон ва қандай шароитларда ўтказилади? Унда ҳосил бўладиган тузилишни таърифланг. 7. Чўянга бериладиган термик ишлов пўлатга бериладиган термик ишловдан фарқи борми? 8. Қачон ТМИ ўтказилади?

11-б о б.

ПЎЛАТЛАРГА КИМЁВИЙ-ТЕРМИК ИШЛОВ БЕРИШ

Ҳарорат таъсирида пўлат юзасини ҳар хил кимёвий элементлар билан диффузион бойитиш *кимёвий-термик ишлов* (КТИ) дейилади. Бу жараёнда юзадаги миқдор ўзгаришлари сифат ўзгаришига олиб келади. Юза қатламининг кимёвий таркиби ўзгариши қаттиқликнинг ошиши, ишқаланиб ёки коррозия эмирилишга, чарчашга чидамликни ошириш каби хусусиятларни вужудга келтиришга олиб келади. Юзага лазер нури, ион ва электрон дастасини таъсир эттириш йўли билан КТИ нинг самараси оширилади.

КТИ да таркиб маълум даражада ўзгариши мумкин, яъни механик хосса фақат структурани ўзгартиришга боғлиқ бўлиб қолмайди. КТИ диффузион хусусиятга эга бўлган жараёндир. Ҳарорат юза атрофида диффузияланадиган элементларнинг зичлиги ҳамда уларнинг таъсир этиш вақти шу жараённи белгилайди. Ҳозирги амалиётда энг кўп қўлланилаётган КТИ турлари пўлат юзасини углерод ёки

азот билан бойитишдир. Юза кремний, бор, никель, алюминий, хром каби элементлар билан ҳам бойитилади.

Пўлатдан ясалган машина воситаларининг юза қатлами таркибини ўзгартириш жараёни учта босқичдан иборат бўлиб, биринчи босқичда диффузияланадиган элемент атомлари фаоллаштирилади. Бунда асосан ҳарорат ҳат қилувчи аҳамиятга эга. Бунда фаолликни оширувчи қўшимча элементлар ҳам қўлланилиши мумкин.

Иккинчи босқичда диффузияланадиган элементлар юзадаги микротекисликларга молекуляр яқинлашади, бошқача қилиб айтганда юзага сингийди. Бундай ҳол модификацияловчи элементнинг юзага адсорбцияланиши деб аталади.

Учинчи босқичда юзага молекуляр яқинлашган фаол атомлар юзага шимилади, натижада заготовканинг юзасида диффузияланган элементлар қатламларининг таркиби ҳар хил бўлиб қолади. Кейин фаол атомлар металлнинг ички қатламларига диффузиялана бошлайди.

Материалларнинг КТИ дан кейинги юза қатламининг таркиби бўйича ҳолат диаграммаси бошланғич (асосий) металл таркибининг ҳолат диаграммасидан албатта фарқ қилади.

Ҳарорат, юза қатламга сингдирилаётган элементнинг асосий металл атомлари билан ўзаро таъсири ҳамда сингдирилаётган элементнинг юза қатламларидаги миқдори маълум бўлса, олдиндан юзада қандай фазалар ҳосил бўлишини билиш мумкин. Юзадаги диффузион қатлам совирилгандан кейин қандай фаза ўзгаришлари содир бўлишини ҳам олдиндан айтиб бериш мумкин. Юзанинг жуда юпқа қатламларидаги бошқариш қийин бўлган таркибини лазер нури ёки электрон дастаси таъсирида аниқлаш мумкин. Бунда ҳосил бўладиган мураккаб метастабил фазалар ҳисобига юза хусусиятлари юқори кўрсаткичларга эга бўлади.

1. Пўлат юзасини углеродга бойитиш

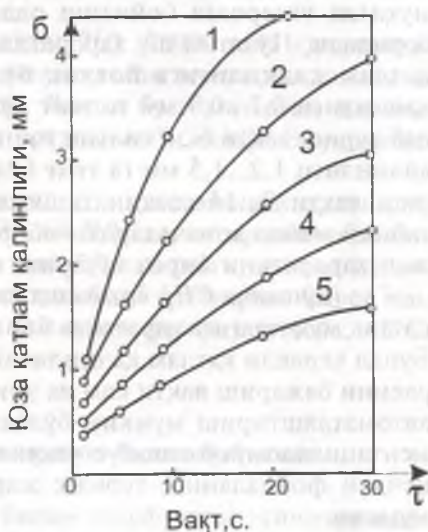
Маълумки, пўлатнинг тобланиш қобиляти асосан углерод миқдорига боғлиқ. Кам углеродли пўлатлар пластик деформацияланиш, кесиб ишланиш, пайвандланиш каби бир қатор яхши хусусиятларга эга. Пўлат таркибида

углерод қанча кам бўлса, қаттиқлик ҳам шунча кам бўлади, масалан, пўлатда $C \leq 0,3\%$ бўлса, тобланиш самарадорлиги жуда камаяди. Шунинг учун бундай пўлатларни яхши тобланиши учун унинг юза қисми углеродга тўйинтирилади. Бундай жараён *цементация*, унинг муҳити эса *карбюризатор* деб аталади. Қаттиқ, суяқ, газ муҳитларидаги цементация ҳозирги амалиётда кенг қўлланилмоқда.

Одатда таркибида $0,08 \dots 0,3\%$ углерод бўлган углеродли ёки легирланган пўлатлар цементацияланади. Цементацияланган юзадаги углерод миқдори $0,8 \dots 1,0\%$ атрофида бўлади, юзадан ичкари қатламга қараб углерод миқдори камайиб боради. Машина воситаларига қатор механик ишлов берилгандан кейингина улар цементацияланади, сўнгра тобланади ва паст ҳароратда бўшатиш ўтказилиб, кейин яна механик ишлов берилади.

Агар машина воситаларининг юзасида цементациялаш керак бўлмаган жойлари бўлса, ўша жойлар оловбардош лой ёки асбест билан ўраб қўйилади.

Цементацияланган қатлам хусусиятлари асосан ҳарорат ва шу ҳарорат таъсир этиш вақтига боғлиқ бўлади. 87-расмда ҳарорат ва вақтнинг цементация қатлами ўсишига таъсири кўрсатилган. Цементация усули аниқлангандан сўнг ҳарорат ҳам белгиланади. Аммо шуни айтиш керакки, цементация ҳароратини аустенит структурасининг мавжудлик ҳарорати белгилайди, чунки углерод аустенитда кўп эрийди, шунинг учун шу ҳароратда углеродга бойитиш самарадорли-



87-расм. Пўлат юзасини углерод билан диффузион бойитиш жараёнига ҳарорат ва вақтнинг таъсири графиги (пўлат 10)
1—100°C, 2—950°C, 3—900°C, 4—850°C, 5—800°C.

ги каттадир. Юза қатламидан ичкари қатламга борган сари углероднинг миқдори камайиб боради, яъни юзадан ичкарига қараб қуйидаги структура қатламлари жойлашади: $(\text{П}+\text{Ц}) \rightarrow \text{П} \rightarrow (\text{П}+\text{Ф}) \rightarrow$ материалнинг ўзининг структураси. Юза қатламида углероднинг кўп бўлиши қатлам мўртлигини оширади. Шунинг учун цементациялашда юзадаги углерод миқдори 1,1...1,2% дан ошмаслиги керак.

Пулатларни углеродга бойитиш таъмирлаш техникасида ҳам кўп қўлланилади. Бунда писта кўмир ёки тошкўмирнинг сундирилган махсус новлари (кокс) ҳамда фаоллаштирувчи бирикмалар қўшилади ва ҳаммаси биргаликда шихта материални ташкил қилади.

Шихтадаги BaCO_3 углеродни атом ҳолида ажралиб чиқишини фаоллаштиради. CaCO_3 эса шихта материалларини бир-бирига ёпишиб қолишдан сақлайди. Ишлатилган шихта материали эланиб, яроқли қисми яна янги шихта материалга қўшиб ишлатилади. Пулатни қаттиқ муҳитда углеродга бойитиш одатда 920...950°C да олиб борилади. Пулатни шу ҳароратда ушлаб туриш вақти эса қатлам қалинлигига боғлиқ бўлади, масалан, қатлам қалинлиги 0,7...0,9 мм га тенг бўлса, юқори ҳарорат ушлаб туриш вақти 6...8 соатни ташкил қилади. Агар қатлам қалинлиги 1,2...1,5 мм га тенг бўлса, ҳароратда ушлаб туриш вақти 9...14 соатни ташкил қилади. Аустенитнинг табиий майда доначалардан иборатлиги аниқ бўлса, тоблаш ҳароратини бироз кўтариш мумкин.

Газ (кўпинча CH_4) ёрдамида юзани углеродга бойитиш қаттиқ муҳитдагига қараганда бир қатор афзалликларга эга. Бунда керакли қатлам қалинлигини таъминлаш осон, жараёни бажариш вақти кам ва уни механизациялаш ҳамда автоматлаштириш мумкин бўлади. Бундан ташқари, цементациялаш учун махсус ускуналар қўлланилмайди, шу печдан фойдаланиб, термик жараёнларни ҳам ўтказиш мумкин.

Суюқ карбюризаторда цементациялашнинг қаттиқ муҳитли карбюризаторидагига нисбатан иш унумдорлигини 3...5 марта ошириш мумкин. Бунда кўпинча туз эритмаларидаги электролиз жараёнидан фойдаланилади. Машина воситаларининг ишчи юзалари бойитилгандан кейин тобланади ва кичик ҳароратли бўшатиш ўтказилади.

Цементацияланган қатлам таркиби мураккаб ҳамда унга қўйилаётган талаблар хилма-хил бўлганлиги учун термик ишлашнинг ўзига хос усуллари вужудга келади. Цементация ҳарорати юқори бўлиб, у узоқ вақт таъсир этганлиги сабабли заготовка ўрта қисмининг доначалари ўсиши мумкин. Термик ишлаш жараёнида структура тўғриланади ва юза қатлам ҳамда ўрта қисмдаги доначалар майдаланади. Агар пўлат аустенити табиий майда доначали структурага эга бўлса, у цементациядан кейин $840\ldots 860^{\circ}\text{C}$ гача ҳавода совитилади, сўнгра сувда ёки мойда тез совитилади ва паст ҳароратли бўшатиш ўтказилади. Агар пўлат аустенитининг табиий доначаси ўсадиган бўлса, у ҳолда ўрта қисмнинг структурасини майдалаш мақсадида икки марта тоблаш ўтказиш керак. Ўрта қисмнинг структурасини тўғрилаш мақсадида биринчи тоблаш (ёки меъёрлаш ўтказса ҳам бўлади) $880\ldots 900^{\circ}\text{C}$ да ўтказилади. Бунинг натижасида юза қисмдаги цементит тўри ҳам йўқолиши (эриши) мумкин.

Иккинчи тоблашда пўлат $760\ldots 780^{\circ}\text{C}$ гача қиздирилади. Бунда цементацияланган қатлам мустаҳкамланади ва унинг қаттиқлиги ортади. Лекин бу технологик жараённинг бажарилиш вақти ортади, натижада маҳсулотнинг таннархи ошади.

Углеродли пўлатларнинг юза қатламининг қаттиқлиги тоблаш натижасида $60\ldots 64\text{ HRC}$ га, легирланган пўлатларники $58\ldots 61\text{ HRC}$ га тенг бўлади (легиранган пўлатлардаги қолдиқ аустенит ҳисобига қаттиқлик биров кам бўлади). Ҳамма ҳолларда ҳам кичик ҳароратли ($160\ldots 180^{\circ}\text{C}$) бўшатиш берилади.

2. Пўлат юзасини азот билан бойитиш

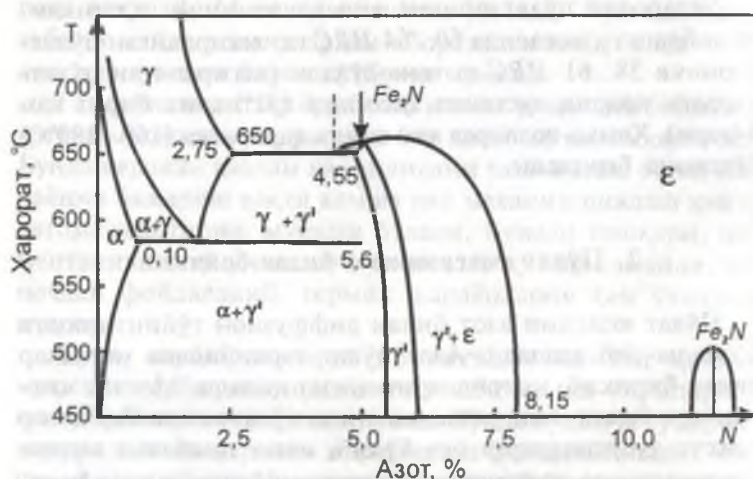
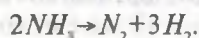
Пўлат юзасини азот билан диффузион тўйинтиришга *азотлаш* деб аталади. Азот пўлат таркибидаги металллар билан бирикиб, нитридларни ҳосил қилади. Металл нитридлари билан модификацияланган пўлат юзаси бир қатор махсус хусусиятларга эга бўлиб, яъни нисбатан юқори ҳароратда юза қаттиқлиги барқарор бўлади, чидамлилиги, ишқаланишдаги ейилишга ҳамда коррозияга қарши-

лиги ортади. Азот билан бойитилган юза қаттиқлиги цементацияланиб, сўнгра тобланган юза қаттиқлигидан анча юқори бўлиб, юқори ишчи ҳароратда (600...650°C) ҳам шу қаттиқлик сақланиб қолади. Маълумки, юзани цементациялаб, сўнгра паст ҳароратли бушатилганда юза қаттиқлигининг барқарорлиги 180...220°C гача, яъни буша-тиш ҳароратигача сақланиб қолади.

Азотлаш жараёнида юзада ҳосил бўлаётган фазаларни таҳлил қилиш учун $Fe-N$ диаграммадан фойдаланиш керак (88-расм). Юзани азот билан тўйинтиришда қуйидаги фазалар ҳосил бўлади: азотнинг α — темирдаги қаттиқ эритмаси (α — фаза); темирнинг γ — модификацияси асосидаги қаттиқ эритма (γ — фаза); темир нитридлари (FeN , Fe_2N) асосидаги қаттиқ эритмалар (γ ва ε — фазалар); 450°C ҳароратда азот миқдори 11,35% бўлганда Fe_2N ҳам ҳосил бўлиши мумкин.

591°C да γ — фаза эвтектоид реакциясига биноан иккита қаттиқ фазага парчаланadi: $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$ натижада азотли перлит ҳосил бўлади.

Бойитилган юза атрофида актив азот атомларини ҳосил қилиш учун аммиак юқори ҳароратда парчаланadi:



88-расм. Темир-азот ҳолат диаграммаси.

Азотлаш жараёнининг тезлиги фаол азот атомларининг ҳосил бўлиш тезлигига боғлиқ. Азотлаш ҳарорати эвтектоиддан пастда ва юқорида бўлиши мумкин. Юзада ҳосил бўлаётган фазаларнинг кетма-кетлиги азотлаш ҳароратига боғлиқ бўлади. Эвтектоиддан паст ҳароратда $\epsilon \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$, эвтектоиддан юқори ҳароратда эса $\alpha \rightarrow \gamma + \gamma' + \epsilon$ кетма-кет қатлам ҳосил бўлади. Тез совиш натижасида γ — фаза парчаланиб, $\alpha + \gamma'$ структурани ҳосил қилади (юзада).

Ҳар қандай углеродли пўлатлар ва ҳатто чуянларнинг юзаларини азот билан тўйинтириш мумкин. Лекин бунда юза хоссаларини фақат темир нитриди белгилайди. Темир нитридининг қаттиқлиги эса бошқа металлларнинг (Cr , Al , Ni , Ti ва ҳоказо) нитридларига қараганда анча кам (80-а расм). Шунинг учун одатда ўрта углеродли легирланган пўлатларга азотлаш технологияси қўлланилади, чунки бунда легирловчи элементларнинг нитридлари ҳосил бўлиб, юза юқори қаттиқликка ва махсус хусусиятларга эга бўлади. Бундан ташқари азотлаш узоқ давом этадиган жараён (1,5...2,5 сутка) бўлиб, бунда қуйидаги кетма-кетликка риоя қилинади. Пўлатларга азотлашдан олдин термик ва ҳамма механик ишловлар берилган бўлиши керак. Ўрта углеродли пўлатларга термик ишлов берилганда бўшатиш ҳарорати азотлаш ҳароратидан юқори бўлиши керак, яъни пўлат сорбит структурага эга бўлиши керак. Азотлаш шарт бўлмаган қисмлар қалай ёки суюқ ойна билан қошланади. Жуда кам ҳоллардагина азотлашдан сўнг нозик жилвирлаш ўтказилади. Азотлаш жараёни одатда 520...530°C да олиб борилади (89-б расм). Баъзи вақтда жараёни тезлаштириш мақсадида азотлаш икки поғонада, яъни аввал 500...520°C да, сўнг 540...600°C да олиб борилади. Бундай усул қаттиқликни камайтирмайди, керакли қатламни олиш анча тезлашади. Азотлангандан кейин пўлатлар аммиак муҳитида печь билан биргаликда совитилади.

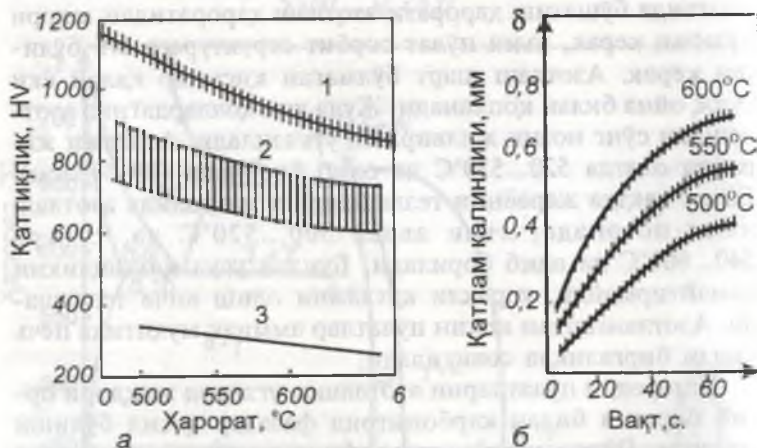
Углеродли пўлатларни азотлашда углерод миқдори ортиб бориши билан карбонитрид фазалар ҳосил бўлиши мумкин. Пўлатларни нитрид ҳосил қилувчи элементлар (хром, молибден, алюминий, титан ва ҳ.к.) билан легирланганда диффузия майдонларида жуда майда нитридлардан иборат икки фазали қатламлар ҳосил бўлади. Улар

дислокацияларни кўчишига катта тўсиқ бўлиб, азотланган қатлам қаттиқлигини оширади. Масалан ўрта углеродли пулат хром, алюминий ва молибден билан легирланган бўлса, азотланган қатлам қаттиқлиги 1200 HV га етиши мумкин. Лекин, агар бир элемент, масалан, алюминий бўлмаса азотланган қатлам қаттиқлиги сезиларли даражада камаяди (950 HV). Аммо, пулат бундай легирланганда азотнинг сингиши (диффузияланиши) ва қаттиқ қатлам қалинлиги камайиб боради. Масалан 0,2...0,5 мм қалинликдаги азотланган қатлам олиш учун азотлашга 60 соат вақт кетади (10-жадвал).

10-жадвал

Тезкесар пулатларни азотлашнинг ўртача унумдорлиги

Азотланган қатлам қалинлиги, мм	Ҳар хил ҳароратларда азотлаш тезлиги (мм/соат)		
	500	550	600
0,2 гача	0,02	0,040	—
0,2...0,4	0,015	0,030	0,06
0,4...0,6	0,01	0,020	0,03
0,6...0,8	—	0,015	0,02



89-расм. Азотлаш ҳароратининг юза қаттиқлигига таъсири (а) ҳамда қатлам қалинлигининг ҳароратга боғлиқлиги (б): 1 — 38X2M10A пулат, 2 — легирланган конструкцион пулат; 3 — углеродли пулатлар (0,2—0,4% C).

3. Пулат юзасини азот ва углерод билан биргаликда бойитиш

Пулат юзасини бир вақтда азот ва углеродга бойитишдан мақсад жараён самарадорлигини ҳамда қатлам юзала-ри қаттиқлигини ва емирилишга чидамлилигини оширишдан иборат.

Юзани углерод ва азот билан бойитишнинг иккита усули мавжуд. Иккала усул бир-биридан жараён олиб бориладиган муҳит билан фарқ қилади. Биринчи усул нитроцементациялаш, иккинчиси эса цианлашдир.

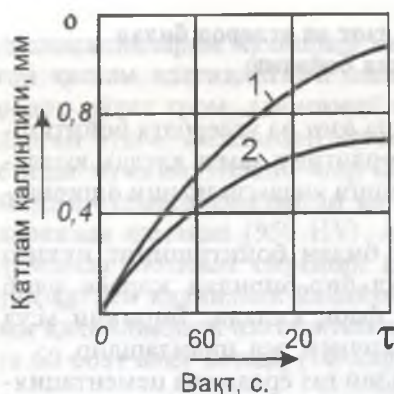
Нитроцементацияни баъзан газ ёрдамида цементациялаш деб ҳам аталади. Нитроцементациялашда юза углерод билан биргаликда азотга ҳам бойитилади. Лекин бойитилган юзада углероднинг миқдори доимо кўп бўлишини назарда тутиб, нитроцементация газ муҳитида цементациялаш деб аталади.

Энг муҳими, нитроцементация ҳарорати цементация ҳароратидан 100°C га кам ($800\ldots 850^{\circ}\text{C}$) бўлиб, углероднинг диффузияланиш тезлиги азот муҳитида катта бўлади. Шунинг учун нитроцементация жараёнида бир томондан юза хусусиятлари яхшиланса, иккинчи томондан, жараённинг тезлашиши ҳисобига унумдорлик ортади.

Нитроцементациядан кейин тоблашни тўғридан-тўғри шу ҳароратдан ёки биров ҳавода ушлаб туриб (ҳарорат $800\ldots 820^{\circ}\text{C}$ гача камайгунча) сўнгра тез совитилади. Машина воситалари мураккаб шаклга эга бўлиб, унга қўйиладиган талаблар катта бўлса, алоҳида тоблашни ҳам қўллаш мумкин. Лекин қандай тоблашни қўллашдан қатъи назар, паст ҳароратли бўшатиш ўтказилади ($160\ldots 180^{\circ}\text{C}$). Шунинг учун структура майда мартенсит кристаллари ва нисбатан текис тарқалган $25\ldots 30\%$ карбид фаза ҳамда қолдиқ аустенитдан иборат бўлади.

Турли пулатларнинг юза қатламларидаги углерод ва азотнинг умумий миқдори $1,0\ldots 1,65\%$ гача бўлиши мумкин. Бу миқдорларнинг энг яхши нисбатларида нитроцементациядан кейин қаттиқлик (HRC) $58\text{—}64$ (ёки $HV=570\ldots 690$) га тенг бўлиши мумкин.

Нитроцементациянинг яна бир муҳим хусусияти шундаки, жараён давомида машина воситалари нисбатан кам-



90-расм. Цианланган қатлам қалинлигининг вақтга боглиқлиги графиги (1—940°C, 2—840°C).

820...860°C ҳароратда олиб борилади (90-расм). Бунда диффузион қатлам қалинлиги 0,15...0,35 мм ни ташкил қилади. Юқори ҳароратли (930...950°C) цианлашда диффузион қатламни 2 мм га етказиш мумкин. Пулатлар цианлаш муҳити ҳароратидан тўғридан-тўғри тобланиб, уларга паст ҳароратли бўшашиш (180...200°C) берилади. Бунда қатлам нисбатан юпқа бўлиб, қаттиқлиги 58...62 (HRC) га тенг. Йирик машина воситаларининг қатлам қалинлигини ошириш мақсадида юқори ҳароратли (920...930°C) цианлаш ўтказилади.

Циан тузлари эритмалари инсон учун хавфли бўлганлиги сабабли ишлаб чиқаришда нисбатан кам қўлланилади, чунки техника хавфсизлиги қоидаларига риоя қилиш учун махсус чоралар кўриш шартдир.

4. Юзани элементлар билан диффузион тўйинтириш

Машина воситаларининг ишчи юза қисмларининг иш унумини ошириш учун у бир қатор элементлар (Al, Ti, B, Cr, Zn ва ҳоказо) билан диффузион бойитилади. Масалан, машинасозликда штампларни, ҳар хил пресс-формуларни, кесувчи асбоблар юза қисмларининг қаттиқлиги уларнинг ишлаш унумини белгилайди. Юқори

роқ деформацияланади, яъни маҳсулотнинг геометрик шакли қийшайишининг олди олинади. Экология, техника хавфсизлиги, санитария ва гигиена жиҳатидан ҳам суюқ муҳитли карбюризатор қўллашга қараганда бирмунча устунлиги бор.

Цианлаш суюқ муҳитда ўтказилади. Суюқ муҳит — циан (циан бирикмалари) тузлари эритмалари (KCN , $NaCN$) дан иборат бўлиб, жараён

ҳароратда қум, тупроқ шароитида ишлайдиган материалларнинг юзаси бор элементига тўйинтирилади. Юзани бор билан тўйинтиришда юқори ҳароратли суюқ (Na_2 , H_4O_7 , BCl), газ (Ba_2H_6 , BCl_3) ва кукун ҳолдаги бор бирикмаларидан фойдаланилади. Бунда юза қаттиқлиги ($HV=2000$) ҳосил бўлган темир боритлари (FeB , FeB_2) ҳисобига ошиб, қатлам қалинлиги 0,1...0,4 мм ни ташкил қилади.

Машинасозликда бор элементи билан юзани бойитиш жараёни суюқ эритмаларни электролиз қилиш усули билан олиб борилади. Бунда суюқ эритманинг ҳарорати 930...950°C га тенг бўлиб, жараён 2...6 соат давом этади. Газ муҳитида бор билан юзани бойитиш нисбатан пастроқ ҳароратда олиб борилади ва 2...6 соат давом этади. Бойитиладиган юзага кукун ёки паста суртиб, етарли даражада қиздирилса (масалан, юқори тебранишли ток ёрдамида), қисқа вақт ичида қатлам бор элементига бойийди. Юза бор элементи билан диффузион бойитилгандан кейин охириги механик ишлов берилади.

Тажовузкор (агрессив) муҳитларда ишлайдиган машина воситаларини коррозияга бардошлилигини ошириш ҳамда юқори ҳароратда ишқаланишдаги ейилишга бардошлилигини таъминлаш мақсадида юза қатлам кремний элементига бойитилади. Диффузион жараён олиб бориладиган муҳит сифатида кукун (ферросилиций) ёки газ (хлор муҳитидаги кремний карбидлари) дан фойдаланилади. Бунда ҳарорат анча юқори (950...1100°C) бўлиб, жараён 2...12 соат давом этади.

Машинасозлик саноатида кейинги вақтда пулат юзасини бир ёки бир неча металл билан биргаликда диффузион бойитиш қўлланилмоқда. Металл диффузияси юқори ҳароратда ҳам жуда секинлик билан боради. Бунда бойитувчи муҳит сифатида суюқ металл ёки унинг тузларидан фойдаланилади. Газ муҳити ва вакуумда юзани металллар билан бойитиш (металлизация) мумкин. Масалан, металл юзасини алюминий ва хромга бойитиш мумкин, бир йўла бир неча элементлар билан бойитилганда диффузия катта унумга эга бўлади. Масалан, хром ва алюминийга титан, ванадий, мис, вольфрам, цирконий ёки металл бўлма-

ган элементлар ҳам қушиб бойитиш жараёни олиб борилади.

Юзани алюминий билан диффузион бойитишда юза қатламининг ишлаш унуми алюминийнинг темир билан ҳосил қилган қаттиқ эритмаси Fe_2Al ҳисобига ортади. Бойитиш муҳити сифатида суюқ фаза, кукун ҳолидаги масса аралашмаси (алюминий ва алюминий оксиднинг кукун аралашмаси) ва аммоний хлорид ишлатилади. Аввал юпка алюминий қопламасини олиб, сўнгра пулатни юмшатиш ҳам мумкин. Бунда суюқ муҳитдаги ҳарорат $720^{\circ}C$ га ва кукун аралашмасидаги ҳарорат $1050^{\circ}C$ га тенг. Бойитилган қатлам қалинлигига қараб, жараён 15 минутдан 12 соатгача давом этиши мумкин. Углеродли пулатларнинг юза қисми алюминий билан бойитилганда унинг оловбардошлилиги ҳамда коррозион емирилишга чидамлилиги ортади.

Ҳар қандай пулатдан ясалган машина воситаларининг юзалари хром элементи билан бойитилса, юқори ҳароратда оксидланиб, куйинди ҳосил бўлишига қаршилиги ҳамда тажовузкор (агрессив) муҳитдаги зангбардошлилиги ортади. Агар буюм ўрта углеродли пулатдан ясалган бўлса, юза қатламининг қаттиқлиги ва ишқаланиб ейишга қаршилиги ортади. Бойитадиган муҳит кукун ҳолда бўлиб, феррохром, алюминий оксид ва алюминий хлорид аралашмасидан иборат. Бу аралашмага қумилган буюм $250...1100^{\circ}C$ ҳароратда 6...12 соат давомида қиздирилади. Юзада жуда юпка (0,025...0,3 мм) хром карбид қатлами ҳосил бўлади, унинг қаттиқлиги (HV) 1200...1300 ни ташкил қилади.

Машина воситаларининг ишчи юзаларини бир йўла бир неча металл ва металл бўлмаган элементлар билан ҳам бойитиш мумкин. Масалан, қаттиқ қотишмадан ясалган кесувчи асбобнинг ишчи юзаси хром билан титанга, ишқаланадиган юзалари эса хром ва кремнийга бойитилади ва ҳоказо. Юзани бир тўда элементлар билан бойитишнинг биргина элемент билан бойитишга қараганда самарадорлиги катта. Лекин бундай бойитиш анча мураккаб жараён бўлганлиги учун машинасозликда кам қўлланилади.

5. Пулат юзаси хоссаларини ўзгартиришнинг юқори энергетик усуллари

Кейинги пайтда юқори энергияга эга бўлган заррачалардан юзага ишлов беришда фойдаланиш имкониятлари яратилмоқда. Пулат юзасини вакуумда ион-плазма ёрдамида кимёвий модификациялаш ана шу усулларга асосланган. Бу усулда заррачалар энергиясини етарли кенгликда бошқариш жараёнида экзотермик тавсифдаги кимёвий бирикма ҳосил бўлишида қўшимча равишда иссиқлик ҳам ажралиши мумкин. Бундай қўшимча иссиқлик диффузион жараёнларни тезлаштиради, натижада унумдорлик ортади.

Бундай истиқболли энергетик усулларга бурқираб ажралаётган ион зарраларда юзани диффузион модификациялаш, ионли легириш (ионли имплантация-кўчириш), лазер ва электрон-нур билан биргаликда қўшма (комбинацион) модификациялашни кўрсатиш мумкин.

Ионли азотлаш (ёки уни ионли-диффузион модификациялаш деб ҳам атаса бўлади) азотли ёки аммиак муҳитида ўзгармас кучланишда бурқираб ажралаётган ион зарралари орқали амалга оширилади. Азот ионлари бойитилаётган юза (катод)га урилганда юзада ушланиб қолинади, сўнгра юзадан ичкарига қараб диффузияланади. Шу сабабли юза бир неча юз электрон-вольт энергияга эга бўлган ионлар билан таъсирланганда 500...600°C гача қизийди ва шу билан биргаликда юза оксид қатлами ҳамда бошқа адсорбцияланган муҳитлардан тозаланади. Ҳолбуки оддий азотлашда юзадаги оксид ва адсорбцион муҳитлар, масалан, айниқса зангламас пулатлар учун диффузияни қийинлаштиради. Юзанинг экзотермик реакция натижасида қизиши ва унинг тозаланиши ҳисобига ионли азотлашда оддий азотлашга қараганда вақтдан ютилади, жараёни олиб бориш учун қиздириш ҳарорати камаяди, механик кўрсаткичлар ортади.

Ион-диффузион модификациялаш фақат азотлашдагина эмас, балки цементациялашда, юзани кремний, бор бошқа элементлар билан легиришда ҳамда юзани карбонитритлашда ҳам қўлланилади.

Юқори энергетик усуллардан яна бири — ион имплантациялаш, яъни легирловчи элемент заррачаларини қўчириб, легирланаётган жисм элементар кристалл панжарасига жойлаштириш. Юқори энергияга эга бўлган легирловчи элемент ионларини юзага таъсирлатиш орқали уларни бойитилаётган юза атом панжаралари орасига синдирилиб, панжарани қийшайиши (номувозанатланиши) натижасида мустаҳкамликни оширишга асосланган. Бунда ион энергияси $10\ldots 200$ кэв, ион дастасининг зичлиги эса ҳар бир см^2 юзага $10^{15}\ldots 10^{18}$ зарра туғри келади. Бундай усул билан азотлашгина эмас, балки юзани бор билан бойитиш, оксид қатламларини ҳосил қилиш ҳамда юзани ҳар хил элементлар билан легирлаш мумкин. Ион имплантациялашда маҳсулотнинг геометрик ўлчамларини ўзгартирмаган ҳолда, юзани ишқаланиб емирилишга, зангбардошликка турғунлигини ошириш мумкин (11-жадвал).

11-жадвал

Техникада ион имплантациялашнинг
самарадорлигига мисоллар

Ишлов бериладиган маҳсулот	Маҳсулот материали	Ҳар бир см^2 юза- га туғри кела- диган ион сони	Самарадорлик
Қоғоз кескичлари	пулат (1,0%С; 1,6%Cr)	8×10^{17}	кескичларнинг ишлаш муддати (турғунлиги) 2 баробар ошган
Пластикларга ишлов беришда имплантила- диган метчиклар	тезкесар пулат	8×10^{17}	турғунлик 5 ба- робар ошган
Штампларнинг ишчи қисми	пулат (4,0%Ni; 1,0%Cr)	4×10^{17}	ишлов берилаёт- ган материал- нинг асбоб юза- сига ётишқоқ- лиги камайган
Мис волочирлашда- ги матрица	ВК6 (қаттиқ қошима)	5×10^{17}	матрицанинг турғунлиги 5 марта ошган

Лазер нури таъсиридан ҳам фойдаланиб юзани легирлаш ва тоблаш мумкин. Бунда юзага таъсир этаётган энергиянинг умумий миқдори лазер нурининг зичлиги ва уни таъсир этиш вақтига боғлиқ. Лазер нури таъсирида ишлов

беришдан олдин, бойитиладиган юза бирор-бир усул (масалан, ион имплантация, электролит ёки плазма) ёрдамида легирловчи элементлар билан қопланган бўлиши керак. Легирловчи элемент тўғридан-тўғри юзага яқинлаштириб ҳам лазер нури билан биргаликда ишлов берилиши мумкин. Лазер нури таъсирида юзадаги юпқа қатлам ёки юзага яқинлаштирилган легирловчи элемент маҳсулот юзаси билан биргаликда эритилиб аралаштирилади. Кейинги катта тезликда кристалланиш натижасида асосий металл юза таркиби ва структурасидан кескин фарқ қиладиган метастабил қатлам ҳосил бўлади.

Демак, лазер нуридан фойдаланиб углеродли пулатларни юза қисмини модификациялашда талаб қилинадиган тартибда юза хоссаларини бошқариш мумкин экан.

Ҳавосиз муҳит (вакуум)да электрон-нур ёрдамида ҳам пулат юзасини легирлаш мумкин. Бундай усул ва унинг натижаси ҳам лазер ёрдамида легирлашга ўхшайди. Бунда ҳам худди лазер нури ёрдамида легирлаш каби юзада олдиндан легирловчи элементлардан иборат қоплама олиниб, кейин электрон нур таъсир эттирилади ёки бир пайтда легирловчи элемент ва электрон нур юзага таъсир эттирилади.

Юқорида баён қилинган юқори энергияни юзага таъсир эттириб ишлов бериладиган усулларнинг техникада ҳозирча кенг қўлланилмаслигига асосий сабаб, бир томондан технологик ускуналарнинг мураккаблиги ва уларнинг қимматлилиги бўлса, иккинчи томондан жараёнларни бошқаришнинг мураккаблиги ва қимматга тушишидир. Шундай бўлса ҳам уларни қўллаш имкониятлари кун сари ошиб бормоқда. Ҳозирнинг ўзидаёқ самолётсозликда, космонавтикада ҳамда атом энергетикасида бу усулларни қўллаш кенгайиб бормоқда.

6. Термик ишлов бериш жиҳозлари

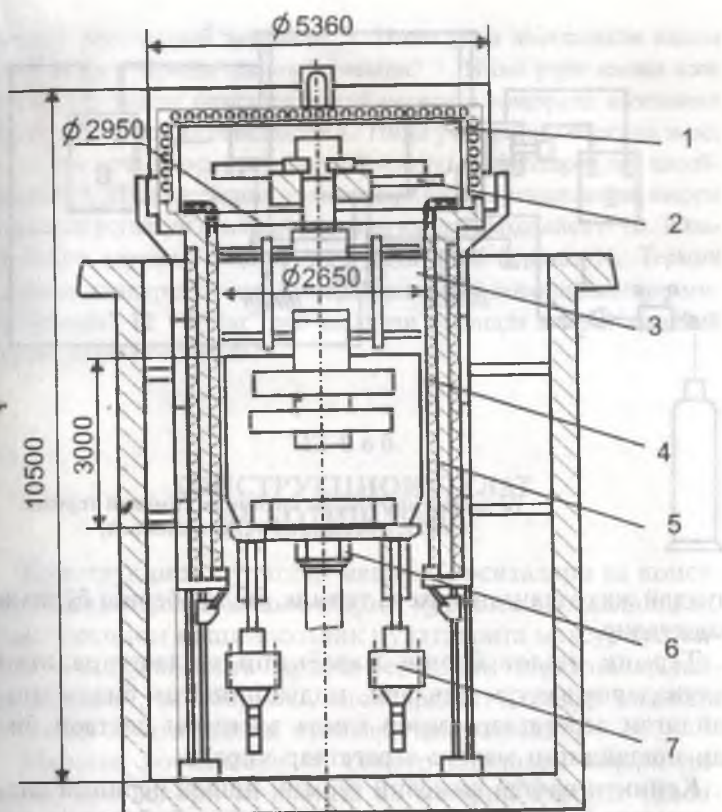
Маҳсулотнинг сифати термик ишлаш учун жиҳоз ва ускуналарнинг тўғри танланишига ҳам боғлиқ бўлади. Термик ишлаш цехларининг жиҳозлари асосан ҳар хил печлардан иборат; кўпилаб ишлаб чиқаришларда эса бу печлар махсус агрегатлар таркибига киради. Жараёнлар эса механизациялаштирилган ва автоматлаштирилган бўлади.

Ҳозирги вақтда соф термик ишлов бериш учун қиздиришда ёпиқ (камерали) печлар ишлатилади. Баъзан бу печлар термик ишлов бериш учун мўлжалланган агрегатлар таркибига киритилган бўлади. Камерали печлар оддий ҳаво ёки махсус газ аралашмалари муҳитида ҳам ишлай олади. Термик ишлаш учун қўлланиладиган махсус агрегатлар таркибига кирган печлар ғилоф билан қопланган бўлиб, ички томонга оловбардош ғишт териб чиқилган бўлади. Печнинг ички қисми электр иситувчилар ёки газ пуфлагичлар ёрдамида ёндириб берувчи ускуна — форкамералар билан жиҳозланган бўлади. Агрегатлар иситиш ва совитишни бошқариш ҳамда заготовкаларнинг ҳолатини ўзгартириб туриш, уларни печга жойлаш ва печдан чиқариш учун мўлжалланган махсус ускуналар билан жиҳозланган бўлади. Агрегатлар таркибида газларни тақсимлайдиган, унинг таркибини текширадиган ва керакли газлар билан тўлдирадиган махсус ускуналар ҳам бор.

Термик ишлов бериш ускуналаридан бири шахтали печь бўлиб, унинг деворлари оловбардош материаллар билан қопланган, деворининг ташқари томони иссиқликни сақлаб турадиган материал ва металл ғилоф билан қопланган бўлади. Бундай печларнинг ишчи ҳарорати автоматик равишда бошқариб турилади. Одатда бундай печлар катта ўлчамга эга бўлган заготовкalar учун қўлланилади (валлар, тишли ғилдираклар ва ҳоказо). Ана шундай печларнинг тузилиш схемаси 91-расмда келтирилган.

Ҳозирги машинасозлик корхоналарида тоблаш-бушатиш жараёнларини тўхтовсиз ўтказадиган махсус агрегатлар ўрнатилган. Бундай агрегатлар таркибига тоблаш печи, совитиш муҳити сақланадиган идиш, ювадиган махсус ускуна ҳамда бўшатиш учун мўлжалланган печь ва совитиш хонаси киради. Агрегат таркибидаги печлар айланма шаклида ҳамма томондан газ билан қиздирилади. Унинг таркибига заготовкalarни печга юклаб турадиган ускуна ҳам киради.

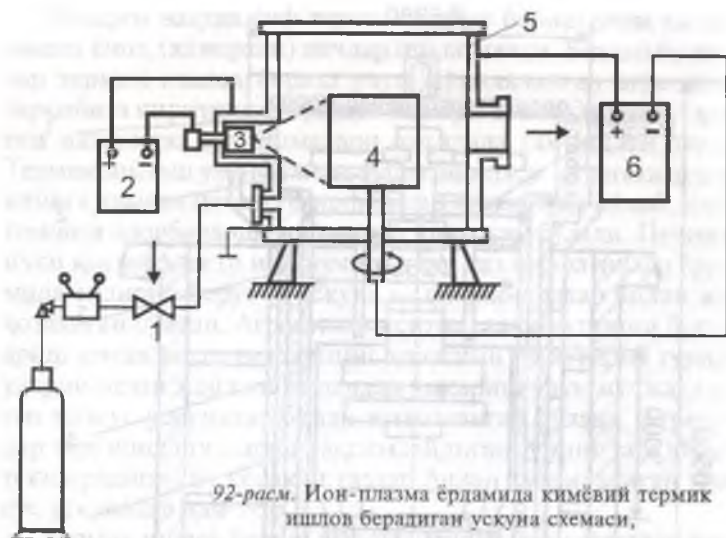
Газ муҳитида углеродга бойитиш ва нитроцементациялашда пастки қисми ҳаракатланадиган агрегатлар қўлланилади. Бундай агрегатларнинг пастки қисмини, яъни заготовка юкланган қисмини итариб чиқарадиган махсус мослама билан жиҳозланган бўлиб, олиб бориладиган жараён тўла автоматлаштирилгандир.



91-расм. Шахтали электр печи чизмаси. 1 — олиналиган қопқоқ, 2 — осма таянч, 3 — иситувчи мослама, 4 — ички муфель, 5 — муҳофаза қилувчи муфель, 6 — елпигич, 7 — совитгич.

Майда заготовкаларга термик ишлов бериш учун доира шаклидаги электр печларидан ёки конвейер печлардан кенг фойдаланилади.

Тайёрланаётган буюм — заготовкаларни қиздириш учун туз эритмалари билан тўлдирилган махсус ванналардан ҳам фойдаланилади. Бу усул бир қатор афзалликка эга: буюм бутун ҳажми бўйича бир хилда иситилади, иситиш тезлиги катта, буюмнинг маълум қисминигина қиздириш мумкин, кимёвий реакциялардан муҳофаза қилинади ва ҳоказо. Тошкент асбобсозлик заводида ана



шундай жиҳозланган махсус термик ишлов бериш бўлими мавжуддир.

Термик ишлов бериш жараёнини тезлаштирадиган ускуналарга вакуум печлари, индукцион ток билан ишлайдиган агрегатлар, лазер ҳамда электрон дастаси билан ишлайдиган махсус агрегатлар киради.

Кейинги вақтда кимёвий термик ишлов беришга катта аҳамият берилмоқда. Машинасозлик, асбобсозлик, табобат амалиётида плазма ёрдамида ишлайдиган “Булат” деб аталувчи ускуна кенг қўлланилмоқда (92-расм).

Бундай ускуналар ёрдамида заготовка юзасида тоза металллар ёки турли кимёвий бирикмалардан иборат махсус қопламаларни ҳосил қилиш мумкин (титан, цирконий нитридлари, махсус оксидлар ва ҳоказо).

Намунавий назорат саволлари

1. Кимёвий термик ишлашнинг асосий омиллари нималардан иборат? 2. Юзани углерод билан бойитишда фаза ўзгариш рўй берадими? 3. Юзани углерод билан тўйинтиришдан олдин унга махсус механик ишлов бериладими? Термик ишловчи? 4. Юза қаттиқлиги цементациядан кейин каттароқми ёки азотлашдан кейинми? 5. Цементациядан кейин юзага қандай термик ишлов бе-

рилади? Азотлашдан кейинчи? 6. Нима учун азотлашдан олдин юзага охирги термик ишлов берилади? 7. Нима учун юзани азот ва углерод билан биргаликда тўйинтириш маҳорати азотланга нисбатан кенгроқ қўлланилади? 8. Нима учун юзани биргина эмас, балки бир неча элементлар билан бойитиш самаралироқ деб ҳисоблаймиз? 9. Пулат юзасининг хоссаларини ўзгартиришнинг юқори энергетик усуллари самарадорлигини қандай баҳолайсиз? 10. Юзани ионли азотлаш маҳоратини тушунтириб беринг. 11. Термик ишлашда қиздирувчи ёпиқ камералардан фойдаланишнинг аҳамияти нимада? 12. “Булат” деб аталувчи ускунада қандай кимсвий термик ишлов берилади?

12-б о б.

КОНСТРУКЦИОН ПУЛАТ ВА ҚОТИШМАЛАР

Конструкцияларнинг пулатлар машина воситалари ва конструкциялари ҳамда ишшоотларни қуришга мўлжалланган. Конструкцияларнинг машинасозлик пулатларига махсус хусусият — ишқаланишга бардош берадиган пружиналар тайёрланадиган, зангбардош, оловбардош, иссиққа чидамли ва бошқа шунга ўхшаш пулатлар ҳам киради.

Машина воситалари ва конструкциялари юқори динамик куч, юқори кучланиш ва манфий ҳарорат таъсирида ишлаши мумкин. Ана шу шароитлар машина қисмларининг мўрт емирилишига сабаб бўлиши мумкин. Натижада машинанинг унумли ишлаш шароити йўқолади.

Конструкцияларнинг пулатларнинг оқувчанлик чегарасидаги кучланишлари ($\sigma_{0,2}$) юқори бўлиши керак, чунки у машина воситалари ва конструкцияларининг асосий тавсифномасидир. Машина воситалари ва конструкцияларини яратиш ҳисобларида пулатларнинг пластиклиги (δ , ψ), мўрт емирилишга қаршилиги (КСИ, КСТ) ва совуқлайин синишнинг энг кичик ҳарорат чегараси каби тавсифномалар инобатга олинади. Машинанинг узоқ вақт ишлай олиши чарчаши натижасида емирилишга, ишқаланиш ва коррозияга қаршилиқ кўрсатишига ҳам боғлиқ. Булар ҳаммаси пулатнинг конструкциялар мустаҳкамлигини белгилайди.

Мустаҳкамлик ($\sigma_{ок}$) оширилса, қовушоқлик ва пластиклик камаяди. Фақат доначаларни майдалаш усулигина мустаҳкамликни ошириш билан биргаликда қовушоқликни оширади. Шунинг учун конструкцион машинасозлик пўлатлари майда доначали бўлгани маъқул.

Ҳозирги вақтда машинасозликда ишлатилаётган пўлатларнинг турлари сони 2000...2500 га етади. Пўлат тамғасида (маркасида) унинг синфлари, хусусиятлари ҳақидаги бошланғич маълумотлар берилади.

1. Конструкцион пўлатлар синфи

Конструкцион пўлатлар кимёвий таркиби, ишлаб чиқариш усули, ачитиш даражаси, ишлатиш соҳаси ҳамда структурасига қараб бир неча синфларга бўлинади

Кимёвий таркибига биноан пўлатлар углеродли, хромли, никелли, кремнийли ёки хром-никелли, кремний-марганецли пўлатларга бўлинади.

Ишлаб чиқариш усули бўйича пўлатлар шу усул номи билан аталади (мартен пўлатлари, конвертор пўлатлари, электропечь пўлатлари ва ҳоказо). Ачитиш жараёнининг боришига кўра пўлатлар тинчлантирилган, ярим тинчлантирилган ёки қайнаётган пўлатларга бўлинади.

Пўлатлар сифати зарарли элементлар — фосфор ва олтингугурт миқдори билан белгиланади ва тўртта синфга бўлинади: 1) оддий сифатли пўлатлардаги фосфор миқдори ҳам, олтингугурт миқдори ҳам 0,06...0,07% дан ошмаслиги керак; 2) сифатли пўлатлар асосан мартен печларида олинади. Пўлат таркибидаги олтингугурт ва фосфорнинг миқдори 0,035...0,04% дан ошмаслиги керак. Бу синфга мансуб бўлган пўлатлардаги углерод миқдори текшириб борилади. Ҳар бир тамғадаги пўлат таркибидаги углерод миқдорининг ўзгариши 0,08% дан ошмаслиги керак; 3) юқори сифатли конструкцион углеродли пўлатлар таркибидаги зарарли элементларнинг миқдори алоҳида олинганда 0,025% дан ошмаслиги керак; 4) махсус юқори сифатли пўлатларда эса зарарли элементлар ҳар бирининг миқдори 0,015% дан ошмаслиги керак. Бундай пўлатлар-

нинг зарбий қовушоқлиги яхши бўлади, паст ҳароратларда ҳам ишлай олади, юқори чидамликка эга.

Пўлатни зарарли элементлардан тозалаш жуда машаққатли иш бўлиб, қўшимча технологик жараён талаб этилади. Ҳозирги вақтда пўлатни тозалашнинг махсус усуллари мавжуд. Масалан, пўлатлар вакуумли индукцион печларда қайтадан эритилади. Электр ёйи ёрдамида қайта эритиш усуллари ҳам мавжуд. Баъзан электрошлак усулида қайта эритилган пўлат вакуумда электр ёйи усулида яна қайта ишланади. Электроннур ҳамда қуёш энергияси таъсирида қайта эритиш йўли билан ҳам пўлатнинг сифатини ошириш мумкин.

Конструкцион пўлатлар тамғасида пўлат таркибидаги углероднинг 0,01% аниқликдаги миқдори сонлар билан белгиланади. Асбобсозлик пўлатлари учун эса углерод 0,1% аниқликда бутун сонлар билан белгиланади. Масалан, пўлат 20 да углероднинг миқдори 0,17...0,24%, яъни ўртача 0,2% га тенг, асбобсозлик пўлати У10 даги углероднинг миқдори 0,95...1,05%, яъни ўртача 1,0% га тенг. Легирилган пўлат тамғасидаги сонлардан кейин легирловчи элемент номининг рус алифбосидаги бирор ҳарфлари қўйилади, масалан, Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — мис, К — кобальт, М — молибден, Н — никель, П — фосфор, Р — бор, Т — титан, С — кремний, Ф — ванадий, Х — хром, Ц — цирконий, Ю — алюминий. Бу ҳарфлардан кейин уларнинг ўртача миқдорини билдирувчи бутун сонлар қўйилади. Легирловчи элементнинг миқдори 1...1,5% дан кам бўлса, сон қўйилмайди. Масалан, пўлатнинг маркаси 20Х деб белгиланган бўлса, унда углероднинг ўртача миқдори 0,2%, хромнинг миқдори эса 1,0...1,5% лигини кўрсатади. Агар пўлатнинг маркаси 14Г2 бўлса, углероднинг ўртача миқдори 0,14%, марганецники эса 2,0% лигини кўрсатади ва ҳоказо (легирловчи элементларнинг аниқ миқдори 4543—71 ГОСТ да белгиланган).

Оддий сифатли ҳамда сифатли пўлатларда сифат белгиси қўйилмайди, улар тамғалаш тартиблари билан фарқ қилади. Лекин юқори сифатли ва махсус юқори сифатли пўлатларни тамғалашда сифат белгиси қўйилади. Юқори сифатли пўлатлар тамғасининг охирига “А” ҳарфи (12А

ёки 12ХН3А) қўйилади. Махсус юқори сифатли пўлатлар жуда кам ҳолларда ишлатилади. Кейинги вақтда синтетик шлак ёрдамида қайта эритиш усули билан махсус юқори сифатли подшипник материали олинмоқда. Масалан, ШХ15-Ш, ШХ15СГ-Ш пўлатидаги (5632-72 ГОСТ) охириги “Ш” ҳарфи сифат белгиси ёки махсус синтетик шлак усулида қайта эритиш усули билан олинганлигини билдиради, бошида “Ш” ҳарфи эса шарикли (золдирли) подшипник материали эканлигини билдиради.

Автомат ҳамда ярим автомат дастгоҳларда бир йўла бир неча асбоб билан заготовкаларга ишлов берилади. Бунда материалнинг кесиб ишлаш хусусиятлари барқарор бўлиши керак. Лекин S ва P зарарли элементлар айнан шундай хусусиятларни беради. Шунинг учун автомат пўлатлар (автоматик ҳамда ярим автоматик дастгоҳларда ишлов бериладиган пўлатлар)да S ва P нинг миқдори анча кўп бўлади, яъни механик хусусиятларнинг бироз йўқотилиши ўрнига кесиб ишлаш хусусиятлари яхшиланади. Ана шу мақсадда қўргошин ҳам қўйилади, масалан, бундай пўлатлар қуйидагича маркаланади: А12, А20, АС11, АС12НХ, АС40. Бу ерда “А” — автомат пўлат эканини билдирса, “С” эса қўргошин қўшилганлигини билдиради, сонлар эса 0,01% аниқликдаги углерод миқдорини кўрсатади. Пўлат маркасининг охирида “Л” ҳарфи бўлса, бундай пўлат қуйиш учун мўлжалланганлигини билдиради (маҳсулаштирилган пўлат, масалан, 20Л, 30Л, 40Л ва ҳоказо).

Пўлатларни тамғалаш ҳарфлардан ҳам бошланиши мумкин. Масалан, “Ш” — золдирли подшипник пўлати, “Р” — тезкесар пўлат, “Э” — электротехник пўлат, “А” — автомат ва яримавтомат дастгоҳларда кесиб ишланадиган пўлат (кесиш хоссалари барқарорлаштирилган), “Е” — магнитли қаттиқ пўлат. Бундан ташқари, ҳақиқатан ГОСТ га киритилмаган, текшириш-изланиш жараёнини ўтаётган пўлатлар ҳам ишлаб чиқаришда учраши мумкин. Бундай пўлатлар одатда ЭИ (экспериментально-исследовательская) ҳарфлардан бошланиб, мутахассислар томонидан белгиланган маълум тартибдаги сонлар билан белгиланади.

Ишлатилиш соҳаси бўйича ҳам пўлатлар синфларга бўлинади: қурилиш пўлатлари, машинасозлик-конструк-

цион пўлатлар, асбобсозлик пўлатлари, махсус физик ёки кимёвий хоссаларга эга бўлган пўлатлар ва ҳоказо.

Пўлатлар структурага биноан ҳам синфларга бўлинади. Масалан, юмшатишган ёки нормалланган пўлатлар. Бундай пўлатлар легировчи элементлар тури ва термик ишланишига қараб феррит, перлит, аустенит, ледебурит, мартенсит синфига кириши мумкин.

2. Углеродли конструкцион пўлатлар

Углеродли конструкцион пўлатлар машинасозликда энг кўп қўлланиладиган пўлатлар бўлиб, металлургия саноатидаги ҳамма ишлаб чиқарилаётган пўлатларнинг қарийб 80% ини ташкил қилади. Бундай пўлатларнинг таннархи арзон бўлиб, етарли даражада яхши механик ва технологик хусусиятларга эга. Бундай пўлатлар катта тезликда совишти билан тобланади, лекин тоблаш чуқурлиги катта эмас (12...15 мм), бўшатишга бўлган барқарорлиги ҳам кам.

Углеродли конструкцион пўлатлар сифати жиҳатидан бир неча синфларга бўлинади.

Оддий сифатли конструкцион пўлатлар “А”, “Б”, “В” гуруҳларга бўлиниб, улар механик хусусиятлари ҳамда кимёвий таркиблари билан бир-бирларидан фарқ қилади.

“А” гуруҳдаги пўлатларнинг механик хоссалари тартибга солинган, кимёвий хоссалари аниқ белгиланмаган. Бундай пўлатлар қуйидагича тамғаланади: СтО, Ст1, Ст2... Ст6, Ст7.

“Б” гуруҳдаги пўлатларнинг кимёвий хоссалари тартибга солинган, механик хоссалари эса аниқ белгиланмаган. Бундай пўлатларнинг тамғаси олдида синф белгиси қўйилади: БСт4, БСт4кп, БСт5 ва ҳоказо.

“В” гуруҳдаги пўлатларнинг ҳам механик, ҳам кимёвий хоссалари аниқ тартибга солинган ва қафолатланган. Бундай пўлатлардан ҳар қандай қайта ишлаш йўли билан (пайвандлаш, термик ишлов бериш) машина конструкцияларини ясаш мумкин. Улар қуйидагича тамғаланади: ВСт3 ёки ВСт5 ва ҳ.к... Оддий сифатли углеродли пўлатлар енгил-екин талаб қўйилган шароитда ишлайди-

ган машина конструкцияларини ясашда кенг қўлланилади. Масалан, Ст5, Ст6 пўлатлардан трамвай ва поезд излари ясалади. Йўл қурилиш машиналари ва қишлоқ хўжалиги машиналарининг вал, тишли филдирак, маҳкамлаш элементлари каби кўп воситалари тайёрланади.

Сифатли конструкцион пўлатларда зарарли элементларнинг миқдори кам бўлганлиги учун уларнинг механик хоссалари ва кимёвий таркиби анча барқарордир. Бундай пўлатлар машинасозлик корхоналарига ҳар хил геометрик шаклда жўваланган ёки босим остида ишланган ярим фабрикат ҳолатида келтирилади, кимёвий таркиби ҳамда механик хоссалари аниқ тартибга солинган бўлади. Улар машинасозликнинг жуда кенг жабҳаларида ишлатилади. Масалан, 08 кп, 05 кп, 10 кп лист пўлатлардан автомобиль томлари, қанотлари ҳамда филоф шаклидаги воситалар ишлаб чиқарилади; 10, 20, 25 пўлатлардан кам юк кўтарадиган валлар, тишли филдираклар каби воситалар тайёрланади. Ўрта углеродли сифатли пўлатлардан ўртача кучланишда ишлайдиган жавобгарлиги катта машина воситалари тайёрланади. Масалан, 30, 40, 45 пўлатлардан тақсимловчи валлар, филдиракларни ҳаракатга келтирувчи ярим ўқ, тирсакли валлар, кучли тишли филдираклар ва шунга ўхшаш воситалар тайёрланади. Бундай пўлатлар тобланиб, юқори ҳароратли бушатиш берилса, қовушоқлик ва қаттиқликнинг энг самарали нисбати ҳосил бўлади.

Пружина, рессор каби воситаларни тайёрлаш учун пўлатлардаги углерод миқдори 0,5...0,6% дан кам бўлмаслиги керак (65, 70, 75, 80, 85) ҳамда кўндаланг кесим бўйича тоблаш мумкин бўлишлиги учун унга легировчи элементлар (кўпинча марганец ёки кремний) қўшилади (60С, 65Г, 70Г ва ҳоказо).

Юқори кучланишда ишлаши керак бўлган рессорлар ва эластик элементларни тайёрлашда 60С2ХА, 60С2ХФА пўлатлар ишлатилади. Оқувчанлик чегараси 1000 МПа кучланишга тенг ёки ундан ортиқ бўлса, пружина ва рессорлар 70С3А, 60С2ХА, 60С2Н2А пўлатлардан тайёрланади.

3. Кам легирланган қурилиш ва арматура пўлатлари

Пайвандланган ҳамда чегараланган қурилиш фермаларининг конструкцияларини, кўприк конструкциялари, қўлтиқ (рама)лар ва ҳ.к. шунга ўхшаш биноларни қуриш учун кам углеродли ва кам легирланган, биров кўпроқ марганецли ($G1-0,4...0,7\%$ ва $G2-1,2...1,6\%$) ва кремнийли ($0,6...1,2\%$) пўлатлар иссиқлайин жўвалангандан кейин ёки термик ишланган ҳолда қўлланилади. Узоқ масофаларга нефть маҳсулотларини ўтказадиган қувурлар учун 19Г ва 14Г пўлатлари ишлатилади, оғир юк кўтарадиган темир-бетон конструкциялар учун эса 35ХС, 25Г2С пўлатлари ишлатилади.

Углеродли пўлатларга қараганда жўваланган ҳолатдаги кам легирланган пўлатларнинг техник кўрсаткичлари юқоридир. Энг яхши хоссалар мажмуига бир неча элементлар билан биргаликда легирланганда эришилади. Масалан, 14Г2 пўлат учун $\sigma_s=460...470$ МПа, $\sigma_{\text{ок}}=330...340$ МПа, $\delta=21\%$ бўлса, 14Г2 АФД $\sigma=550$ МПа, $\sigma_{\text{ок}}=400$ МПа, $\delta=20\%$ ни ташкил қилади. Кам легирланган пўлатларни қўллаш қурилиш конструкцияларида металлни 15...30% гача иқтисод қилишга, шаклдор (профиль) маҳсулотларни ишлаб чиқаришда ва лист жўвалашда ҳатто 50% гача иқтисод қилиш имконини беради. Совуқ муҳитда ишлатиладиган буюмларни тайёрлашда пўлат никель билан легирланади.

Кам углеродли кам легирланган пўлатларнинг термик эскиришга мойиллиги кам бўлиб, яхши пайвандланади. Пайванд чокларининг хоссалари эса асосий металл хоссаларига яқин бўлишига эришиш осон. Пайвандчок атрофида асосий металл доначаларининг йирик бўлишидан сақлаш учун, пайвандланадиган пўлат алюминий ва титан билан легирланади. Газ-ҳаво ҳамда нам муҳитда ишлатиладиган буюмларни занглашдан сақлаш учун пўлатларни мис, никель, хром, фосфор элементлари билан легирлаш самаралироқдир.

Доначалар ўлчамларини бошқариш ҳамда механик хоссалар (пластиклик, қовушоқлик, мустаҳкамлик)нинг энг яхши мажмуасини олиш учун кам легирланган пўлатлар нормаллашдан кейин юқори ҳароратли бўшатиш ёки тоблаш билан бўшатиш термик ишловлари берилади.

Темир-бетон буюмларида кам углеродли ёки кам легирланган пўлатлар қўлланилади (12-жадвал). Улар иссиқ ҳолда жўваланган бўлиб, силлиқ ёки шаклдор бўлади. Арматуралар учун пўлат хоссалари 5781—82 ГОСТ ва термик ёки термомеханик ишлов берилган бўлса 10884—81 ГОСТ билан белгиланади.

12-жадвал

Арматура учун пўлат тури намуналари

Пўлат	Пўлат тамғаси	Механик хоссалари		
		σ^b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
A—I	Ст3 (сп, пс, кп)	380	240	25
A—II	Ст5сп, 18Г2С	500	300	19
A—III	35ГС, 25Г2С	600	400	14
A—IV	80С, 20ХГ"Ц	900 (800)	600	6 (7)
A—V	23Х2Г2Л	1050 (1000)	800	7
A—VI	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР	1200	1000	6

Эслатма: 1) СП — тинчланган пўлат; ПС — ярим тинчланган пўлат; КП — қайнаётган пўлат.

2) А — арматура пўлати, рақамлар I, II, III, IV, V, VI — синфларини кўрсатади.

Кам кучланишдаги конструкциялар (буюмлар) учун A—I, A—II, A—III синфдаги арматура пўлатлар қўлланилади, юқори кучланишдаги буюмлар учун A—IV, A—V, A—VI қўлланилади.

4. Цементацияланадиган ва яхшиланадиган конструкцион кам легирланган пўлатлар

Легирловчи элементнинг пўлат таркибидаги умумий миқдорига қараб уларни учта синфга бўлиш мумкин: кам легирланган (умумий легирловчи элементлар миқдори ($Q < 5\%$), ўрта легирланган ($Q = 5 \dots 10\%$) ҳамда юқори легирланган ($Q > 10\%$) пўлатлар.

Кам легирланган цементацияланадиган пўлатларда одатда 0,1...0,3% углерод ҳамда 0,2...4,4% гача легирловчи элементлар бўлади. Бундай пўлатларнинг устки қатлами углеродга тўйинтирилиб, сўнгра термик ишлов берилади, бунда ўрта қисмнинг қовушоқ ва пластиклиги сақланиб қолинади, натижада етарли даражадаги юза қат-

тиқлигига эришилади (HRC 58...63). Демак, бундай пулатларнинг ишлай олиши юза ва ўрта қисмнинг механик хоссалари нисбатига боғлиқ бўлади. Машина воситаларининг ўрта қисмида оқувчанлик чегарасидаги кучланиш ошиб борган сари ишлаш қобилияти ҳам яхшиланиб бораверади.

Углерод ва легирловчи элементнинг миқдори ошиб борган сари ўрта қисмнинг механик хоссалари ҳам ортиб боради (13-жадвал). Бундай пулатлар тоблангандан кейин $\sigma_{0.2}$ га қараб, шартли равишда икки синфга бўлинади: ўртача мустаҳкамлик ($\sigma_{0.2} \leq 700$ МПа) ва юқори мустаҳкамлик ($\sigma_{0.2} > 700$ МПа) га эга бўлган цементацияланадиган пулатлар. 15Х, 20Х, 15ХФ пулатлар ўртача мустаҳкамликка эга бўлган пулатларга мисол бўлади. Цементациялаб тоблангандан кейин бундай пулатларнинг ўрта қисмининг мустаҳкамлиги ҳам ортади. Бу пулатларнинг тоблаш чуқурлиги катта эмас, шунинг учун бундай пулатлардан кўндаланг кесими унча катта бўлмаган машина воситалари тайёрланади.

Бу турдаги юқори мустаҳкамликка эга бўлган пулатлар бир неча легирловчи элементлар билан легирланади. Масалан, 12ХН3А, 20ХН3А, 20ХН4А пулатлардан юқори кучланишда ишлайдиган машина воситалари тайёрланади. Легирланган 18ХГТ, 30ХГТ, 2ХГТ пулатлар қимматбаҳо хром-никелли пулатларнинг ўрнини босиши мумкин.

Легирланган ўрта углеродли яхшиланадиган пулатлар таркибидаги углероднинг миқдори 0,35...0,5% атрофида, легирловчи элементларнинг умумий миқдори 5% дан ошмайди. Улар катта тезликда куч йўналишини ўзгартириб, зарб таъсири остида ишлайдиган машина воситаларини тайёрлаш учун ишлатилади. Бундай пулатларнинг оқувчанлик чегарасидаги кучланиши етарли даражада катта ҳамда етарли даражада қовушоқ бўлиши керак.

Пулатдаги легирловчи элементларнинг сони ва миқдорлари қанча кўп бўлса, тоблаш чуқурлиги шунча катта бўлади. Заготовканинг ўлчам ва массаси катта бўлса, уни тайёрлаш учун ўрта ёки юқори легирланган пулат қўлланилади. Пулатнинг таркибида никелдан бошқа элементлар қанча кўп бўлса, мўртлиги шунча ошади. Бундай пулатларнинг механик хоссалари тоблангандан кейин бериладиган бўшаиш ҳароратига боғлиқдир.

Баъзи цементацияланадиган ва яхшиланадиган пўлатларнинг механик хоссалари ва термик ишлов бериш усули

Пўлат тури	Ўрта қисмдаги механик хоссалар					Тоблаш усули ҳарорат, С		Советиш муҳити	Бўнатиш ҳарорати, С
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСИ, МДж/м ²	I тоблаш	II тоблаш		
15Х	700	500	12	45	0.7	980	770—820	Сув ёки мой	180
15ХФ	750	550	13	50	0.8	880	760—810	"	180
30ХГТ	1500	1300	9	40	0.6	880	850	Мой	1200
25ХГМ	1200	1100	10	45	0.8	860	—	"	200
12ХН3М	950	700	11	55	0.9	860	760—910	"	180
12Х2Н4А	1150	950	10	50	0.9	860	760—800	"	180
18Х2Н4МА	1150	850	12	50	0.4	950	860	Хаво, мой	200
40Х	1000	800	10	45	0.6	860	—	Мой	500
50Х	1100	900	9	40	0.4	830	—	"	520
30ХГСА	1100	850	10	45	0.45	880	—	"	540
40ХМ	1000	800	11	45	0.7	820	—	"	500
40ХНМА	1100	950	12	50	0.8	850	—	"	620
38ХН3МА	1200	1100	12	50	0.8	850	—	"	600

Ўртача кучланишда ишлайдиган машина воситалари ёки технологик ускуналарни тайёрлашда 30X, 40X, 45X, 50X каби хромли пўлатлар ишлатилади. Бунда углероднинг миқдори ортиб бориши билан пўлатнинг мустаҳкамлиги ортиб боради, лекин зарбий қовушоқлик ёки пластиклик анча камаяди. Бундай пўлатларни тоблаш чуқурлиги унча катта эмас (15...25 мм), улар бўшатишда мўртликка мойил бўлиб, нисбатан арзон туради. Шу сабабли бундай пўлатлар унча катта бўлмаган машина воситаларини тайёрлашда ишлатилади. Бу пўлатларга қўшимча равишда бор (0,002...0,058%) ва ванадий (0,1...0,2%) қўшилса, механик хосса ва қовушоқлиги сезиларли даражада ортади.

Пўлат кам миқдордаги кўп элементлар билан легирланганда таннархи арзон, жуда яхши механик хоссаларга эга мураккаб легирланган пўлатлар ҳосил бўлади. Масалан, хром-кремний-марганецли (30ХГСА, 35ХГСА) пўлатлар. Бу пўлатлар яхши пайвандланади, кесиб ишланади ва пластик деформацияланади, тоблаш чуқурлиги анча катта (25...40 мм). Бундай пўлатлар автомобиль ва қишлоқ хўжалиги машиналарини ишлаб чиқаришда кўплаб қўлланилади.

Никель ва хром билан легирланган пўлат (40ХН, 50ХН) лар етарли даражада юқори мустаҳкамлик ва жуда яхши зарбий қовушоқликка эга. Шунинг учун бундай пўлатдан кўпинча динамик куч таъсирида ишлайдиган машина воситалари тайёрланади. Пўлат таркибидаги никелнинг миқдори қанча кўп бўлса, тоблаш чуқурлиги ҳам шунча катта бўлади. Шунинг учун йирик заготовкalar учун танланган пўлат таркибида никелнинг миқдори кўп бўлиши керак. Шунга ўхшаш молибден ва вольфрам ҳам пўлатнинг механик хоссаларига самарали таъсир қилади.

5. Юқори эластикликка эга бўлган пружина-рессор пўлатлари

Оқувчанлик чегарасидаги кучланиш кўрсаткичлари катта бўлган пўлатлар юқори эластик ҳамда яхши пластиклик ва қовушоқликка эга бўлса, бундай пўлатлардан

эгиловчан буюмлар тайёрланади. Масалан, пружина ва рессорлар ана шундай пўлатлардан тайёрланади.

Пружина учун пўлатларни (ГОСТ 14959—79) металлургия саноати тасма ёки йўгон сим шаклдаги катта-катта ўрам ҳолатида чиқаради. Бундай тасма ва симлар кичик деформация ($\sigma_{0,002}$) га ҳам қаршилиги катта бўлиб, етарли даражада пластикликка ва қовушоқликка эга бўлган ҳолда чидамлилиқ даражаси юқори ва релаксацион кучланишларга турғунлиги катта (релаксация кучланиши деганда, бирор-бир ўзгармас кучланишда, жисмнинг ички кучланишларини ўз-ўзидан камайиб бориши тушунилади).

Бундай хусусиятларга эга бўлиш учун пўлатдаги углерод миқдори 0,5% дан кам бўлмаслиги керак ва шу билан биргаликда пўлатга албатта тоблаш билан бўшатиш термик ишловлари берилган бўлиши керак. Мисол тариқасида 14-жадвалда бундай пўлатларга бериладиган термик ишлов тартиби ва хоссалари берилган.

Кўпинча пружина ва рессор пўлатлари марганец (0,6...1,2%), кремний (1,6...2,8%), хром (0,2...1,2%), ванадий (0,1...0,25%), вольфрам (0,8...1,26%), никель (1,4...1,7%) элементлари билан легирланади. Бу элементлар пўлатнинг тоблаш чуқурлигини ва тобланувчанлигини оширади, эластиклиги ва релаксацион кучланишга қаршилигини ҳам оширади.

Кремнийли пўлат (55C2, 60C2A, 70C3A) саноатда кўпроқ қўлланилишининг сабаби кремний арзон легировчи элемент бўлиши билан бирга у пўлатнинг тобланувчанлигини оширади ва феррит фазасини мустаҳкамлайди. Бундан ташқари кремнийли пўлатлар (50C2, 55C2, 60C2) нинг оқувчанлик чегарасидаги кучланишлар қиймати катта, яхши эластиклик хоссаларни намоён қилади. Вагонларнинг пружиналари, автомобиль рессорлари ҳамда тарсион валлар тайёрлашда кремнийли пўлатлар кенг ишлатилади. Лекин кремнийли пўлатларга иссиқлигида ишлов берилганда юза қисмида углеродни ёниши ҳисобига унинг миқдори камаяди, графитланиш эса кучаяди, натижада пўлатнинг чидамлилиги камаяди. Кремнийли пўлат қўшимча равишда *Cr*, *Mn*, *W*, *Ni* элементлар билан легирланса бундай камчиликлардан холи бўлиб, хоссалари янада яхши бўлади.

Пружина-рессор пулатларига бериладиган термик ишлов тартиби ҳамда уларнинг хоссалари

Пулат тамғаси	Термик ишлаш		Кузатиладиган энг кам механик хоссалар			
	тоблаш учун қиздириш, °С	бўнатиш учун қиздириш, °С	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ	ψ
			МПа		%	
65	840	480	800	1100	10	35
85	820	480	1100	1150	8	30
50С2	870	460	1100	1200	6	30
55С2А	870	460	1400	1600	6	20
70С3А	860	460	1600	1800	6	25
60С2ХФА	850	410	1700	1900	5	20
65С2ВА	850	420	1700	1900	5	20
60С2Н2А	880	420	1600	1750	6	20

Рессорнинг ишлаш муддатини ошириш учун, юзада қисувчи қолдиқ кучланиш ҳосил қиладиган гидроабразив ёки питра (дробь) сочиб ишлов бериш қўлланилади. Бундай ишловдан кейин чидамлилиқ даражаси 1,5...2 баробар ошади.

Пружина тайёрланадиган симларнинг таркибида 0,65...0,9%С бўлган пулатларга совуқлайин ишлов беришдан олдин (волочирлашдан олдин) патентирлаш деб аталувчи изотермик ишлов ўтказилади. Патентирлаш учун симни юқори ҳароратга қиздириб, аустенит доначалари ўлчамларини бир хиллаштиришга эришилади, сўнгра уни ҳарорати 450...550°С гача қиздирилган туз эритмасидан ўтказилади. Бундай изотермик ишлов натижасида аустенит майда пластинасимон тростит ёки сорбитга парчаланadi. Бундай структура совуқлайин волочирлашда 75% дан катта даражада сиқиш имконини беради. Бунда сим узилиб кетмайди, натижада у юқори мустаҳкамликка ($\sigma_b=2000...2500$ МПа) эга бўлади. Кўпинча пулат 65, 65Г, 70, У8, У10 ларга шундай ишлов берилади. Масалан, 95% деформациядан кейин диаметри 1,4 мм бўлган симнинг мустаҳкамлиги 2600 МПа гача бўлади. Пружиналар ҳосил қилиш учун сим совуқ ҳолда ўралгандан кейин ички кучланишларни олиш ҳамда эластиклигини ва релакса-

цияга турғунлигини ошириш мақсадида 210...320°C га қиздириб бўшатиш берилади.

6. Технологик хусусияти яхшиланадиган пўлатлар

Автомобилсозликда ва умуман машинасозликда совуқлайин штамплаш кенг қўлланилади. Пўлатларнинг юқори штамплаш қобилиятига эга бўлиш учун $\sigma_s/\sigma_{0.2}=0,5...0,65$ ва $\varphi=40\%$ кам бўлмаслиги керак. Пўлатда углерод қанча кўп бўлса, унинг штамплаш қобилияти шунча кам бўлади.

Пўлатнинг пластиклигига легирловчи элементларнинг таъсири ҳар хил. Масалан, кремний мустаҳкамликни оширгани билан штамплаш қобилиятини, айниқса чўзишга бўлган қобилиятини сусайтиради. Шунинг учун совуқлайин штамплашда V ва Al билан микролегирилган ва 9045—80 ГОСТ (2213—80 СТСЭВ) билан белгиланган пўлатлар — 08КП (0,02...0,04% V) ва 08Ю (0,02...0,07% Al) кенг қўлланилади. Лекин пўлат 08кп деформацион эскиришга мойиллиги бор. Ундан холи бўлиш учун юмшатишдан кейин кичик пластик деформация (1...2%) ўтказиш лозим.

Штампланиш хусусиятига пўлат донаторлиги ҳам таъсир кўрсатади. Майда доначали пўлат пружиналаниш хусусиятига эга бўлиб, штампни тез емирилишига олиб келади, йирик доначали бўлса, юзада “чўтир” ҳосил бўлади. Шунинг учун штампланадиган пўлат ўртача донаторликка эга бўлгани яхши.

Штампланган маҳсулот юқори мустаҳкамликка эга бўлиши талаб этилса, унинг структураси юқори пластикликка эга бўлган феррит асосида (матрица) 20...30% қаттиқ мартенсит ёки бейнитдан иборат бўлиши керак. Лекин қаттиқ фаза миқдори ошиб кетса, пластиклик камайиб мустаҳкамлик ошиб кетади. Бундай структурага кам углеродли (0,06...0,12%С) ва кам легирилган пўлатлар (09Г2С, 09Г2, 16ГФР, 10Г2Ф, 12ХН)ни тоблашдан кейин эришиш мумкин. Бундай феррит-мартенситли ёки феррит-бейнитли пўлатлар қўлланилса совуқлайин штамплашда лист қалинлиги ҳисобига металл тежаледи.

Пўлатларни кесилишга ёки кесиб ишлашга қобилияти ҳам унинг муҳим технологик хусусиятларидан бири ҳисобланади. Пўлатнинг яхши кесиб ишланиши иш унумдорлигини оширади, асбоб учун харажат камаяди. Буларнинг ҳаммаси машинасозлик саноатида муҳим иқтисодий аҳамиятга эга. 1414—75 ГОСТ — углеродли конструкцион пўлатларнинг кесиб ишлашга мойиллиги хусусияти ҳамда кимёвий таркиби ва механик хоссаларини белгилайди. Бунда пўлат 45 нинг кесиб ишлашга мойиллиги намуна қилиб олинган. Кўпинча А12, А20, А40Г углеродли автомат пўлатлари ишлатилади. Уларнинг таркибида олтингугурт (0,08...0,3%), фосфор ($\leq 0,05\%$) ва марганец (0,7...1,0%) кўпроқ. Пўлат А40Г да ҳатто марганец миқдори 1,2...1,55% га етади. Бу элементлар пўлатни кесиб ишлаш қобилиятини яхшилайти.

Масалан, фосфор структурада MnS ҳосил қилиб, у жувлалаш йўналишида мўрт толани ҳосил қилади. Натижада пўлат кесиб ишланганда қиринди бўлиниб-бўлиниб ажралади, яъни калта узиладиган қиринди ҳосил қилади. Бундан ташқари MnS мойлаш хусусиятига эга бўлганлиги учун қиринди юзаси билан асбоб юзасида ишқаланиш коэффициентини камайтиради, натижада ишланган юза юқори сифатга эга бўлади.

Ҳозирги пайтда кесиб ишлаш хусусиятлари юқори бўлган Pb , Se , Te , Ca элементлари билан алоҳида ва биргаликда легирланган автомат пўлатлари ишлаб чиқилган. Бу қўшимчалар кесиш жараёнида юзада ишқалашни енгиллаштирадиган юпқа 0,20...0,22 нм қатлам ҳосил қилади, натижада қиринди асбоб юзасига ёпишиб қолмайди ва қиринди ажралишни енгиллаштиради.

Автомат пўлатлардаги қўрғошин майда алоҳида кристалл шаклда бўлиб, тезкесар пўлатлар билан ишлов беришда кесиш жараёнини енгиллаштиради. Масалан, АС12ХН, АС30ХН, АС38ХГМ ва бошқа шунга ўхшаш автомат пўлатларида қўрғошин миқдори 0,15...0,3% га боради. Бундай пўлатларга ишлов беришда кесиш тартиби ўзгармаган ҳолда унумдорликни 20...25% га, кескич турғунлигини эса 2...7 баробар ошириш мумкин. Юқори олтингугуртли (0,06...0,12%) автомат пўлатлари қўшимча равишда селен ($Se=0,4...0,10\%$) билан легирланса, кесув-

чи асбоб 1,5...2,0 баробар тежалиши, унумдорлик эса 20...30% камайиши мумкин. Масалан А45Е, А40ХЕ кўп ишлатилади.

Кесиб ишлаш хусусиятлари юқори бўлган арзон кальцийли автомат пулатлари (АЦ) ҳам кейинги пайтда қўлланила бошланди. Улар углеродли (АЦ20...АЦ60) ва легирланган (АЦ45Х, АЦ40Г, АЦ40Г2, АЦ20ХН3 ва ҳ.к.) бўлиши мумкин.

Суюқ ҳолда оқувчанлиги яхшиланган пулатларнинг кимёвий таркиби ва механик хоссалари 977—75 ГОСТ билан белгиланади. Бундай пулатларнинг технологик хоссаларига олтингугурт, фосфор ҳамда кремний ва марганец элементлари катта таъсир кўрсатади. Олтингугурт зарарли элемент бўлиши билан бир қаторда кўп миқдорда бўлса қуйиш хоссасини ҳам ёмонлаштиради. Фосфор ҳам зарарли элемент, лекин унинг миқдори кўп бўлганда фосфид эвтектикасини ҳосил қилиш ҳисобига қуйиш хусусиятини яхшилади. Шунинг учун бундай пулатларда фосфор миқдори кўпайтирилган бўлади. 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л, 55Л пулатларида марганецнинг миқдори 0,30...0,90% бўлиб, кремний эса 0,20...0,52% ни ташкил қилади. Яъни сифатли углеродли пулатлардагига қараганда бу қўшимчалар миқдори 2...2,5 баробар кўп бўлади.

7. Эскиришда мартенсит ҳосил қиладиган пулатлар

Ҳозирги вақтда юқори мустаҳкамликка эга бўлган материал деганда $\sigma_s \geq 2000$ МПа бўлган материаллар тушунилади. Бундай материалларнинг зарбий қовушоқлиги ҳам 0,2 МЖ/м² дан кам бўлмаслиги керак. Бундай талабларга эришиш учун пулатларни бир йўла бир неча легирловчи элементлар билан легирлаб, деформацион термик мустаҳкамликка эришилади.

Никель, кобальт, титан, молибден, хром элементлар билан легирланган кам углеродли (0,03%) пулатларни мартенситга эскиртирилганда жуда катта мустаҳкамлик (1600...2500 МПа) ва яхши қовушоқлик (0,3...0,5 МЖ/м²)

га эришиш мумкин (15-жадвал). Бундай пўлатлар мартенситга эскирадиган (яъни эскиртиришда мартенсит ҳосил бўлади) пўлатлар дейилади.

15-жадвал

Мартенситга эскирадиган пўлатларнинг таркиби ва механик хоссалари

Пўлат тури	Легирловчи элементларнинг уртача миқдори, %	Эскиришдаги механик хоссалар				
		σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСИ, КЖ/м ²
H18K9M5T	Ni=18; Co=9; Mo=5; Ti=0,9	2100	1900	8	50	0,5
H12K15M10	Ni=12; Co=19; Mo=10;	2500	2400	6	30	0,3
H10X11M2T	Ni=10; Cr=11; Mo=2; Ti=0,2	1600	1550	8	50	0,5

Мартенситга эскирадиган пўлатларнинг мустаҳкамлигини ошиши қаттиқ эритмани легирлаш ва мартенситга эскиртириш $\gamma \rightarrow \alpha$ фаза ўзгариши билан тушунтирилади. Бундай пўлат 800...860°C ҳароратда қиздирилиб, ҳавода тобланади. Натижада Fe_α да эрий олмаган Ti, Be, Cu, Mo, каби легирловчи элементлар Fe_γ темирда эрийди ва совиганда улар ажралиб чиқмайди, балки тўйинтирилган темир-никель мартенситини ҳосил қилади. Бундай мартенсит юқори мустаҳкамлик ва пластикликка эга бўлади.

Ҳавода тобланган пўлат 450...500°C да бўшатиlsa, жуда барқарор асос (матрица) билан боғланган интерметаллит фазалар (Лавес фазалари) ажралиб чиқади. Демак, юмшоқ (феррит ва перлит) асосда қаттиқ фазалар ҳосил бўлади. Қаттиқ фазалар билан асос орасидаги боғланиш юқори мустаҳкамликни, юмшоқ асоснинг ўзи эса пластикликни белгилайди. Мартенситга эскирадиган пўлатлар жуда кичик ҳароратда, яъни газларнинг суяқ ҳолатга айланадиган ҳароратида ҳам юқори мустаҳкамлиги ва қовушоқлигини сақлаб қолади, юқори ҳароратда (500...700°C) ҳам механик хоссалари барқарор бўлади. Бундай пўлатларнинг тоблаш чуқурлиги жуда юқори, уларни тобланган ҳолда кесиб, босим остида ишлаш мумкин, у яхши пайвандланади. Термик ишланганда пўлат деформацияданмайди, яъни термик ички кучланишлар натижасида эгилмайди.

мартенсит
эскиртириш

Мартенситга эскирадиган пўлатлар асосан самолётсозликда, ракета техникасида, кemasозликда ва криоген техникада (газларни суюқлантириш саноатида) кўп қўлланилади.

8. Ишқаланишдаги емирилишга қаршилиги катта бўлган конструкцион пўлатлар

Машина ва ускуналарнинг ишдан чиқишининг асосий сабабларидан бири ишқаланиш жуфтларининг ейилишидир. Ишқаланиш жуфтлари материалларининг сифати ҳам машина ва ускуналарнинг ишлаш сифатини белгилайди.

Ишқаланиб ейилишга қаршилиги катта бўлган бир қатор конструкцион материаллар ишлаб чиқилган. Бунга асосан мавжуд материалларни легирлаш ёки уларга махсус ишлов бериш усули орқали эришилган.

Золдирли ишқаланиш жуфтлари (золдирли подшипниклар)да ташқи ва ички ҳалқа ариқлари бўйлаб золдир айланади, лекин сирпаниб ҳаракат қилиши ҳам мумкин. Шунинг учун бундай материалларнинг чарчаш ва сирпанишдаги емирилишга қаршилиги катта бўлиши керак. Бунинг учун материалнинг қаттиқлиги катта ва структура тузилиши барқарор ҳамда ўзга металлмас қўшимчалардан холи бўлиши керак. Таркиби ва структураси бўйича бундай пўлатлар махсус андоза (стандарт)га эга. Уларнинг таркибидаги углероднинг миқдори 1% атрофида бўлади. Бундай материалнинг тоблаш чуқурлигини ошириш мақсадида унга кўпинча кремний, марганец ва хром қўшиб легирланади. Бундай пўлатлар учун хром асосий легирловчи элемент ҳисобланади. Хромнинг миқдори қанча кўп бўлса, тоблаш чуқурлиги шунча катта бўлади, масалан, ШХ6 пўлат ($C=1,0\%$, $Cr=0,6\%$, $Mn=0,38\%$, $Si=0,25\%$) нинг тоблаш чуқурлиги 10 мм дан ошмайди. ШХ15ГС пўлатнинг тоблаш чуқурлиги 30 мм дан катта. Йирик ишқаланиш жуфтларини тайёрлашда эса тоблаш чуқурлиги катта бўлган 20Х2Н4 пўлат ишлатилади.

Бундай пўлатларни тоблаб, уларга кичик ҳароратли бўшатиш берилса, қаттиқлик даражаси HRC 60...66 га етади. Тажовузкор муҳитда ишлайдиган ишқаланиш жуфт-

лари юқори углеродли зангбардош (маслаан, 95Х18) пўлатлардан тайёрланади. Баъзан ишқаланиш жуфтларининг геометрик ўлчамларини барқарор қилиш мақсадида пўлатларга совуқлайин ишлов (-70°C) берилади.

Кум, тош, тупроқ шароитида зарб кучи таъсирида ишлайдиган машина воситалари, масалан, экскаватор чўмичининг тишлари, тракторларнинг ҳаракатлантирувчи қисмлари, бетон қориштирадиган машина қисмлари кўпинча Г13Л пўлатлардан тайёрланади. Бундай пўлатлардан тайёрланган машина воситаларининг зарбий куч таъсирида структура доначалари пачоқланади (эзилади), натижада мустаҳкамлик ортади (наклёп), ишқаланиб емирилишга қаршилиқ ҳам ортади. Бундай пўлатни кесиб ишлаш жуда оғир, шунинг учун заготовкalar асосан босим остида ишлаш ёки қуйиш усули билан олинади.

Сирпаниб-ишқаланиш жуфтлари ҳам пўлатлардан тайёрланиши мумкин. Лекин бунинг учун таркибида цементни парчалашга етадиган миқдорда кремний тутган юқори углеродли (1,5...2%) пўлат олинishi керак. Қуйма заготовка 840°C гача қиздирилади ва шу ҳароратда 4 соат давомида ушлаб турилади, сўнгра секин ёки поғонали совитилади. Натижада бундай пўлатнинг структураси феррит ва цементитнинг механик аралашмаси ҳамда графитдан иборат бўлади. Пўлат таркибидаги графит ишлаш давомида мойловчи элемент вазифасини бажаради ва ишқаланиш жуфтларини ёпишиб қолишдан асрайди. Бундай графитланган пўлатдан волочирлаш матрицалари, трактор ва экскаваторлар ҳамда танкларнинг ҳаракат узатувчи занжир элементлари ясалади.

Кум-тупроқ шароитида абразив заррачалари таъсирида сирпаниб ишлайдиган ишқаланиш воситаларини тайёрлашда махсус қуйма ва эритиб қопланадиган (наплавочный) материаллардан фойдаланилади.

Бундай материаллардаги углероднинг миқдори 2...3% бўлиб, карбидларни ҳосил қилувчи элементлар билан легирланган бўлади. Бундай қотишманинг структураси аустенит ва мартенситдан тузилган бўлиб, уларнинг ўзаро нисбатини марганец ва никель қўшиш билан бошқариш мумкин. Масалан, У25Х38, У30Х23Р2С2Г, У30Х26Н4С4Г пўлатлардаги “У” ҳарфи углеродли пўлат эканлигини бил-

дириб, ундан кейинги сонлар эса унинг 0,1% аниқликдаги миқдорини кўрсатади.

9. Зангбардош, юқори ҳамда паст ҳароратларга чидамли пўлат ва қотишмалар

Занглатувчи тажовузкор (агрессив) муҳитда ишлай оладиган пўлатлар ва металл асосидаги қотишмаларга зангбардош материаллар деб аталади. Зангбардош пўлатлар хромли ёки хром-никелли бўлиши мумкин. Хромли пўлатлар феррит, мартенсит ёки феррит-мартенсит структурага эга бўлиши мумкин. Хром-никелли пўлатлар эса аустенит-феррит ва аустенит-мартенсит структурага эга бўлиши мумкин.

Хромли зангламас пўлатларнинг структура ва хossalари хром ва углерод миқдорига боғлиқ бўлади. Оксидловчи муҳитда хром сусти (пассив) ҳолатга ўтади, чунки материал юзасида хром оксиди ҳосил бўлади. Хромнинг миқдори 12...14% га етганда турғун хром оксид пардаси узлуксиз ҳосил бўлади. Шунинг учун ўртача 13% хромга эга бўлган пўлат занглатувчи ҳаво муҳити, денгиз суви, ҳатто бир қатор кислота ва ишқорлар ҳамда туз эритмаларида барқарор бўлади. Эвтектоидгача бўлган 12X13 ва 20X13 пўлат юмшатирилган ҳолатда хромли феррит ва перлитдан иборат бўлса, 30X13 эвтектоид структураси, яъни перлитга эга бўлади. Шунинг учун углерод миқдори 0,4% бўлганда пўлат (40X13) эвтектоиддан кейинги структура, яъни перлит-легирилган цементит-хром карбиддан иборат бўлади. Бу пўлатларни тоблаш учун 1000...1500°C да қиздириб мойда тобланади, сўнгра 180...200°C га қиздириб бўшатилади. Шундан кейин бу пўлатлар мартенсит тузилишини сақлаб қолади.

30X13, 40X13 пўлатлардан корбюратор игнаси, пружиналар, уй-рузғор асбоблари, 3X13, 4X13 лардан эса кесувчи ва ўлчов асбоблари ҳамда жарроҳлик асбоблари тайёрланади. X17 ва X28 пўлатлардан кимё заводлари ускуналари тайёрланади. X25T, X28 пўлатлардан тажовузкор муҳитда (масалан, қайнаб турган азот кислотада) ишлай оладиган машина воситалари тайёрланади. Пўлатлар

хром ва никель (ёки марганец) билан бирга легирланганда унинг зангбардошлиги янада ортади. Аустенит синфига (18% Cr, 10% Ni) мансуб пўлатларни суyoқ ҳолдаги oқувчанлиги ёмон ҳамда кесиб ишлаш анча oғир бўлганлиги учун уни босим остида ёки пайвандлаш йўли билан қайта ишлаш осонроқдир. Карбидларнинг эриши ҳисобига бир хил таркибли аустенит структурасини ҳосил қилиш учун пўлат 1100...1150°C да қиздирилади ва шу ҳароратда бироз ушлаб турилгандан сўнг сувда ёки ҳавода совитилади. Агар термик ишлаш жараёни бузилса ёки ишлаб турганда ҳароратнинг рухсат қилгандан юқориоққа кўтарилишига йўл қўйилса, хром-никелли пўлатлар ҳам занглаши мумкин (кристаллараро коррозия рўй беради). Ана шундай занглаш рўй бермаслиги учун пўлатлар қўшимча равишда титан ёки ниобий билан легирланади. Масалан, аустенит синфига мансуб хром-никелли 04X18H10, 08X18H10, 12X18H10T пўлатлар самолётсозлик, кемасозлик, машинасозликда қўлланилади.

Хром-никелли пўлатларнинг камчилиги озгина кимёвий таркиб ўзгарса ҳам унинг механик хоссаларининг кескин ўзгаришидадир. Бундай пўлатларга термик ишлов бериш учун 975°C ҳароратгача қиздирилади, сўнгга минус 50...75°C ҳароратда совуқлайин ишлов берилади, кейин эскиртирилади, ҳосил бўлган структура аустенит ва бўшатишган мартенситдан иборат бўлади.

Хромли ва хром-никелли пўлатларга қўшимча равишда титан, алюминий ва кремний элементлари қўшилса, оловбардош пўлатлар туркуми (40X9C2, 10X13CЮ, 12X18H9T) ни ҳосил қилиш мумкин. Масалан, 40X9C2 пўлатлардан автомобиль ва самолёт двигателларининг клапанлари тайёрланади.

Газ турбиналарининг ишчи қисми, реактив ҳамда ичдан ёнув двигателларининг камералари, нефть-химия саноати ускуналари материаллари юқори ҳароратда берилган вақт давомида мустаҳкамлигини йўқотмасдан ишлай олиши керак. Бундай материалларга юқори ҳароратга (>500°C) чидамли пўлатлар ва қотишмалар киради.

Бундай материаллар асосий талаблардан ташқари оловбардош ва яхши технологик хоссаларга ҳам эга бўлиши керак. Материал оловбардош бўлиши учун юқори ҳаро-

ратда оксидланмаслиги, яъни темир куйиндиси ҳосил бўлмаслиги керак.

Легирловчи элементлар юқори ҳароратда оқувчанлик чегарасидаги кучланишга таъсир қилади, ҳосил бўлаётган майда интерметаллидлар ва карбидлар дислокацияни кўчишига тўсқинлик қилади, натижада материалнинг майда доначали тузилиши ҳисобига мустаҳкамлиги ортади. Қаттиқ эритмаларни легирлаш натижасида атомлар орасидаги боғланиш энергияси ортади, диффузион жараёнлар секинлашади ва рекристалланиш ҳарорати ортади. Шунинг учун пўлат ҳамда никель асосидаги қотишмалар мустаҳкамлигини бирламчи карбидлар (TiC , VC , ZnC , NbC) ва иккиламчи карбидлар (Mn Cn) ҳамда интерметаллидлар ($NiTi$, $NiAl$, $NiNb$ ва ҳоказо) оширади.

Углеродли пўлатлар (15, 20, 25, 30, 40, 45) дан фақат 350...400°C да ишлайдиган машина воситалари тайёрланса, буғ иситкичлар, турбина ишчи юзаларини тайёрлашда 500...580°C га чидай оладиган перлит классидagi (16ХМ, 25ХМ, 12Х1МФ) пўлатлар ишлатилади. Бундай пўлатлар меъёрлашдан (950...105°C) сўнг юқори ҳароратда (650...750°C) бўшатиш, янасаки перлит ҳосил бўлади.

Ракетасозлик ва космик техникасида ҳамда уй-рўзғорда ҳам паст ҳароратдан кенг фойдаланилади. Кислороднинг суюқланиш ҳарорати (—183°C) дан паст ҳарорат криоген ҳарорат деб аталади. Бундай шароитда ишлай оладиган махсус пўлатлар криоген пўлатлари ва қотишмалари деб аталади.

Криоген пўлатлари оддий шароитда ҳам юқори мустаҳкамликка эга бўлиб, паст ҳароратда емирилишга қаршилиги катта бўлиши керак. Лекин кўпинча улардан ҳам зангбардошликка эга бўлишлиги талаб этилади. Кам углеродли никелли аустенит синфидаги пўлатлар ана шундай талабларга жавоб беради. Паст (—196°C гача) ҳароратларда ишлайдиган пайвандланган конструкцияларда кўпинча ОН6А (6...7%Ni) ёки ОН9А (8,5...9,5%Ni) тамғали қотишмалар ишлатилади.

Бундай пўлатларни техникада қўллашда икки маротаба нормалаш (биринчисида 900°C га қиздирилади ва иккинчисида 790°C га қиздирилади) ўтказилади ва 560°C га қиздириб бўшатиш берилади ёки сувда тоблаб (810...830°C),

бушатиш (600°C) ўтказилади. Бундай термик ишловлар натижасида $\sigma_{0.2}$ оддий шароитда $400\ldots 450\text{ МПа}$, -196°C да эса $680\ldots 820\text{ МПа}$ ни ташкил қилади. Пулат ОН9А учун бундан ҳам юқорироқ кўрсаткичларга эришиш мумкин. Зарбий қовушқоқлик кўрсаткичлари -196°C да, масалан $KCU=1,0\ldots 1,3\text{ МДж/м}^2$ ни ташкил қилади.

Бундай пулатлардан ҳарорати -196°C дан паст бўлмаган суьлтирилган газларни сақлайдиган ва уларни ташиш учун мўлжалланган идишлар (резервуарлар) тайёрланади.

Намунавий назорат саволлари

1. Нима учун пулатлардаги углерод миқдори $2,14\%$ билан чегараланган? 2. Пулатларни тамғалаш (маркалаш) услубини тушунтириб беринг. 3. Автомат пулатларига таъриф беринг ва мисоллар келтиринг. 4. Легирилган пулатларда легирловчи элементлар қандай белгиланади? 5. Углеродли конструкцион пулатларда зарарли элементлар миқдори қандай усулда чегарланади? 6. Кам углеродли пулатлар хусусияти ўрта углеродли яхшиланадиган пулатларнинг хусусиятидан, асосан, нима билан фарқ қилади? 7. Ўрта углеродли легирилган пулатларда легирловчи элементлар қандай таъсир кўрсатади? 8. Эскиришда мартенсит ҳосил қилувчи пулатларнинг юқори мустаҳкамликка эга бўлишининг сабаби нимада? 9. Пружина-рессор пулатларининг асосий хусусиятлари нимадан иборат? 10. Патентирлаш маҳоратининг асосий устунлиги нимадан иборат? 11. Штамплаш хусусияти яхши бўлган пулатлар қандай дондорликка эга бўлиши керак? 12. Пулатларнинг кесиб ишлашга мойиллигини қандай яхшиласа бўлади? Суюқ ҳолда оқувчанлигини яхшилаш учун-чи? 13. Пулатларнинг ишқаланиб емирилишга қаршилигини қандай қилиб оширсан бўлади? 14. Пулатдан тайёрланган буюмларни термик ишлашда нима учун улар ўз шаклини ўзгартиради ва синиши мумкин?

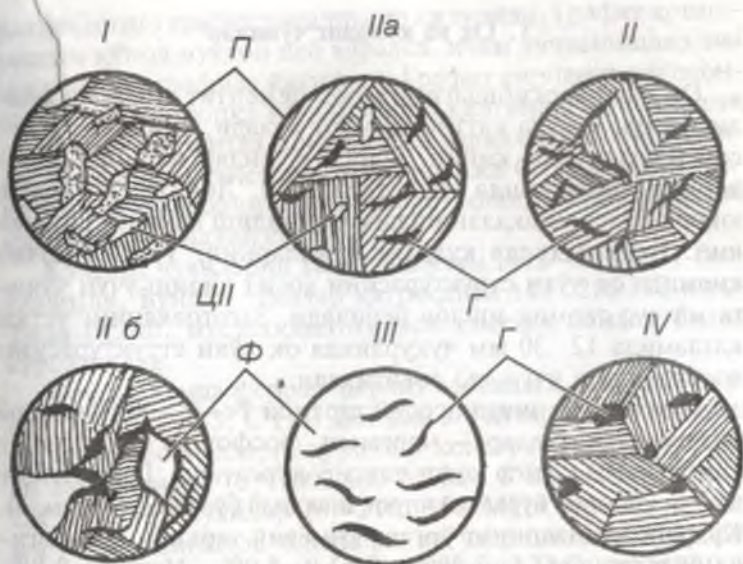
ЧҶҲЯНЛАР

Темир-углерод қотишмаси таркибидаги углерод миқдори 2,14% дан кўп бўлган қотишмалар шартли равишда чўянлар деб аталади. Чўянлар таркибида пўлат таркибига қараганда қўшимчалар (кремний, марганец, фосфор, олтингугурт) кўп бўлади. Чўян хоссалари ана шу қўшимчалар миқдорига боғлиқ бўлсада, қотишма таркибидаги углероднинг ҳолати ва шакли чўян структураси ва хоссаларини белгилайди, ана шунга қараб чўян турлари қуйидагича бўлиши мумкин:

1) агар углерод қотишмада асосан кимёвий бирикма ҳолида бўлса, бундай қотишмалар оқ чўянлар деб аталади; 2) агар қотишмада углерод соф графит ҳолида бўлса, графитнинг шаклига қараб, қотишма кулранг, болғаланувчан ва юқори мустаҳкамликка эга бўлган чўянлар дейилади.

Чўян таркибидаги углерод карбид (Fe_3C), графит (C) ҳамда қаттиқ эритма $Fe(C)$ ҳолатида бўлади. Чўянлар металл асосига кўра перлит, феррит ва перлит-феррит структураларга эга бўлиши мумкин. Демак, чўянларнинг механик хоссалари бир томондан графит шаклига боғлиқ бўлса, иккинчи томондан темир асосига боғлиқ бўлади (93-расм).

Чўян структурасининг ҳосил бўлиши асосан таркиб ҳамда совиш тезлигига боғлиқ. Кремний элементи графитнинг ҳосил бўлишига катта таъсир кўрсатади. Шунинг учун чўяндаги кремний миқдори ҳамда совиш тезлигининг ўзгариши орқали структура бошқарилади (94-расм). Марганец (0,5—1,4%) графитнинг ажралиб чиқишига тўсқинлик қилади, лекин у олтингугуртнинг зарарини камайтиради. Фосфор графитнинг ажралиш жараёнига таъсир кўрсатмайди, лекин эвтектик аралашма ҳосил қилиб, чўяннинг суяқ ҳолдаги оқувчанлигини яхшилади. Лекин олтингугуртнинг зарари катта, чунки у чўкманинг ўлчамини катталаштиради, дарзларнинг ҳосил бўлиш эҳтимолини орттиради, иссиқ ҳолдаги мўртликнинг ортишига сабаб бўлади. Шунинг учун ҳам олтингугуртнинг таъсирини камайтириш мақсадида чўянга кўпроқ марганец қўшилади.

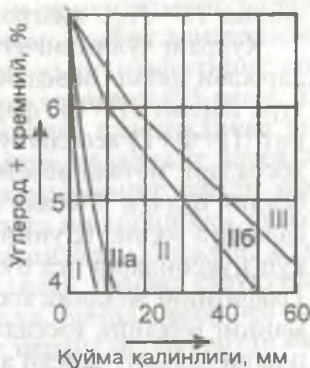


93-расм. Чўян микротузилиши:

I — оқ чўян; II — перлитли кулранг чўян; III — ферритли кулранг чўян; IIa — ярим перлитли ярим оқ (оралиқ) чўян, IIб — феррит+перлитли кулранг чўян; IV — юқори мустаҳкамликка эга чўян.



а



б

94-расм. Чўян таркибдаги кремний ва углерод миқдори (а) ҳамда қуйма қалинлигининг тузилишга таъсири (б).

1. Оқ ва кулранг чўянлар

Оқ чўян таркибидаги углерод цементит ҳолда бўлганлиги учун у жуда қаттиқ ва мўрт бўлади, уни амалда кесиб ишлаш жуда қийин. Бундай чўянлар машина қисмларини тайёрлашда ишлатилмайди. Лекин қаттиқлик юқори бўлса, ишқаланишдаги емирилиш камайиши мумкин. Бундай ҳолда кулранг чўянларнинг устки (ишчи) қисмида оқ чўян структурасини ҳосил қилиш учун чўянга махсус термик ишлов берилади. Заготовканинг устки қатламида 12...30 мм чуқурликда оқ чўян структурасини ҳосил қилиш учун тез совитилади.

Кулранг чўяннинг асосий таркиби $Fe-C-Si$ бўлса ҳам ундаги қўшимчалар — марганец, фосфор ва олтингугурт унинг хоссаларига катта таъсир кўрсатади. Графитнинг шакли кўпинча буралган япроқ шаклида бўлади (95-расм, а). Кулранг чўянларнинг ўртача кимёвий таркиби қуйидагича бўлади: $C=2,4...3,88\%$, $Si=1,0...5,0\%$, $Mn=0,5...0,8\%$, $P=0,2...0,4\%$, $S\leq 0,12\%$. Бундай чўяндан тайёрланган қўяманинг структураси чўяннинг кимёвий таркиби ҳамда термик ишлаш усулига боғлиқ. Агар чўянда кремний кўпроқ бўлса, графит суюқ жисмдан кристалланиш жараёнидаёқ ажралиб чиқа бошлайди. Совиш тезлиги катта бўлганда, графит цементитнинг парчаланиши натижасида ҳосил бўлади. Шунинг учун чўяндаги қайта кристалланиш $Fe-Fe_3C$ диаграммада кўрсатилгандек бўлади.

Кулранг чўяннинг тузилиши бошқа соф графитли чўянлар каби металл асосдан иборат бўлади. Шунга кўра структура перлит ($P+G$), феррит ($F+G$) ҳамда перлит ва феррит ($P+F+G$) асосли бўлиши мумкин. Чўяннинг механик хоссалари металл асоснинг турига ҳамда графит шаклига боғлиқ бўлади. Металл асоснинг хоссалари эса пўлат хоссаларига яқин. Шунинг учун чўянларни жуда қўпол ва қўп нуқсонларга эга бўлган пўлатлар деб қараш мумкин. Графитнинг механик хоссалари паст бўлгани учун у қотишманинг механик хоссаларини ҳам пасайтиради. Ундан ташқари графит, асосан ажралиш юзларида йиғилади. Натижада қотишма мўрт бўлиб қолади. Чўянда графит қанча кам, унинг ўлчами қанча кичик бўлса, хоссалар шунча юқори бўлади. Чўяннинг сиқилишдаги мустаҳкамлиги ва

қаттиқлигига графит унча таъсир қилмайди. Графит қотиш-
мадаги қўпол нуқсон деб қаралса, ички кучланишлар ана
шу нуқсон атрофида йиғилади. Графит сирганишни осон-
лаштирадиган юпқа қатлам ҳосил қилганлиги учун қуруқ
— мойсиз шароитда ишлайдиган ишқаланиш жуфтлари-
ни чўянлардан тайёрлаш яхши натижа беради. Чўян тар-
кибидаги углероднинг соф графит ҳолида бўлиши кесиб
ишлашни осонлаштиради.

Кулранг чўянларни тамғалаш учун 1412—85 ГОСТ бел-
гиланган. Бундай чўянлар қаттиқлиги 143...255 НВ атро-
фида бўлиб, мустаҳкамлиги эса тамғада сонлар билан
кўрсатилади.

Феррит ҳамда феррит-перлит асосидаги кулранг чўян-
лар (СЧ10, СЧ15, СЧ18) дан кам юк кўтарадиган машина
ва ускуна воситалари, қурилиш конструкция элементла-
ри тайёрланади ($\sigma_b=100\ldots180$ МПа), СЧ21, СЧ24, СЧ25,
СЧ30, СЧ35 чўянлар ($\sigma_b=210\ldots350$ МПа ёки $21\ldots35$ кг/
мм²) дан двигатель блоклари ва уларнинг қопқоқлари,
поршень ва цилиндрлар тайёрланади. Машинасозликда
модификацияланган чўянлар (СЧ30, СЧ35, СЧ44) ни қуй-
ишдан олдин унга махсус қўшимчалар — модификатор-
лар қўшиб олинади.

2. Юқори мустаҳкамликка эга бўлган чўянлар

Бундай чўянларда оқ чўяндаги цементитнинг парча-
ланиши натижасида ҳосил бўлаётган графит доначалари-
нинг шакли шарга яқин бўлади, яъни графитнинг со-
лиштира юзаси энг кичик бўлган ҳолатдир (95-расм, б).
Шунинг учун бундай чўянлар юқори пластикликка эга
бўлиб, уларнинг механик хоссалари пулатнинг хоссала-
рига яқинлашади. Графит структурасининг шакли шар
шаклига ўтиши учун суяқ металлга ишқорий ёки ишқо-
рий-ер металллар (0,03...0,07%) қўшилади. Масалан, жуда
оз миқдорда (0,05%) магний қўшилса, графит структура-
сининг шакли шарга яқин бўлади, металл асос эса ол-
динги турдаги чўянлардаги каби перлитли, ферритли ёки
перлит-ферритли бўлиши мумкин. Шунинг учун чўян-
нинг структура таркиби феррит-графит, феррит-перлит-
графит ёки перлит-графитдан иборат бўлиши мумкин.

Графит структураси шар шаклида бўлган чуянларнинг механик хоссалари углеродли қуйма пулатларнинг хоссаларига яқин. Мустаҳкамлиги юқори чуянлар суяқ ҳолда яхши оқувчанликка эга, уларни кесиб ишлаш осон. Бундай чуянларнинг ўртача таркиби қуйидагича бўлади: $C=2,7...3,6\%$; $Si=1,6...2,7\%$; $Mn=0,5...0,6\%$; $P=S\leq 0,1\%$.

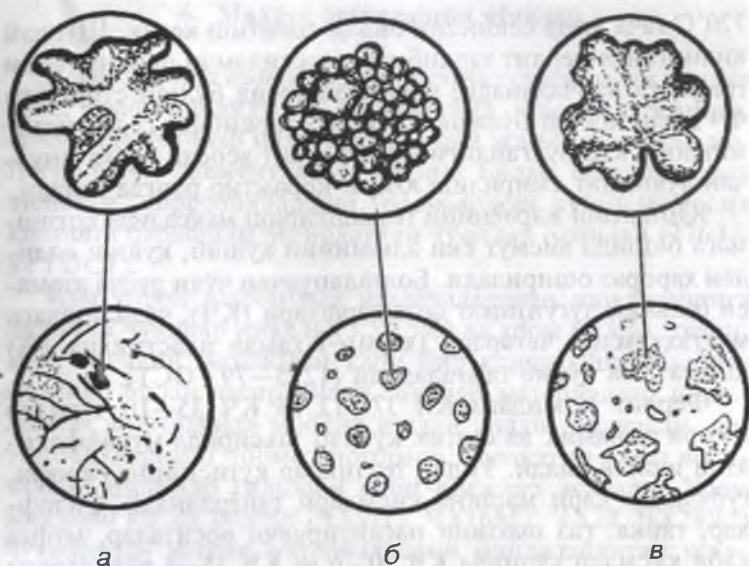
Юқори мустаҳкамликка эга бўлган чуянлар ҳам кулранг чуянлар каби русча номдаги бош ҳарфлар ВЧ (высокопрочный чугу́н) билан белгиланади, сўнгра чузилишдаги мустаҳкамлик (биринчи иккита сон, кг/мм² ва нисбий чузилиш қийматлари (%)) кўрсатилади (7293—79ГОСТ). Машинасозликда, масалан, қуйидаги чуянлар кўп қўлланилади: ВЧ 38—17; ВЧ 42—12; ВЧ 45—5 ҳамда ВЧ 60—2; ВЧ 80—3 ва ҳоказо. Лекин 1985 йилдан бошлаб янги 7293—85 ГОСТ киритилган, унга кўра ВЧ дан кейин иккита сон билан мустаҳкамлик чегараси кўрсатилади (ВЧ38, ВЧ45 ва ҳ.к.).

Юқори мустаҳкамликка эга бўлган чуянларнинг мустаҳкамлигини янада ошириш ҳамда барқарорлаштириш мақсадида уларга термик ишлов берилади. Масалан, мустаҳкамликни ошириш мақсадида уларга тоблаш билан бир қаторда юқори ҳароратда (500...600°C) бўшатиш берилади. Баъзида графитнинг шаклини янада мукаммаллаштириш учун уларга юмшатиш берилади. Бу турдаги чуянларнинг пластиклиги $\delta=2...7\%$ ва қаттиқлиги 150...360 НВ атрофида бўлади.

Юқори мустаҳкамликка эга бўлган чуянлар пулатлар ишлатиладиган соҳада қўлланилиши мумкин, масалан, улардан автомобиль ва трактор воситалари — тирсақли валлар, куч кўтарадиган ғилофлар, пресс траверсалари тайёрланади. Улардан металлургия саноатида жўвалаш ускуналарининг валларини тайёрлаш мумкин.

3. Болғаланувчан чуянлар

Оқ чуянни юмшатиш натижасида цементитни парчалаш мумкин. Оқ чуяннинг ўртача кимёвий таркиби қуйидагичадир: $C=2,4...2,8\%$; $Si=0,8...1,4\%$; $Mn=0,3...0,4\%$; $S\leq 0,8...0,1\%$; $P\leq 0,2\%$. Юмшатиш жараёнида чуян қуймасини секин совитиш учун қумга, шамот ёки металл



95-расм. Графит шаклининг (юқорида) чўян таркибида кўриниши (пастда): а — кулранг чўянлардаги пластинкасимон графит; б — юқори мустаҳкамликка эга бўлган чўянлардаги шарсимон графит; в — болғаланувчи чўянлардаги пагасимон графит.

кукунига кўмилади. Юқори ҳароратда цементитнинг диффузион парчаланиши натижасида ҳосил бўлаётган графит паға-паға шаклда (95-в расм), яъни кулранг чўяндаги графитга қараганда йиғилган бўлади. Бундай чўян шартли равишда болғаланувчан чўян деб аталади, чунки у кулранг чўянга қараганда анча пластик бўлади.

Графитланиш жараёни оқ чўянни 950...970°C гача 20...25 соат давомида секин қиздириш билан олиб борилади. Сунгра шу ҳароратда 10...15 соат ушлаб турилади. Юмшатишнинг биринчи босқичида асосан эвтектикадаги бирламчи ва қисман иккиламчи цементитнинг парчаланишидан графит ҳосил бўлади. Ана шу босқичнинг охирига келиб чўян структураси аустенит-графитдан иборат бўлади. Юқорида келтирилган таркибли оқ чўяндан нисбатан катта пластикликка ($\delta \leq 12\%$) эга бўлган феррит асосли болғаланувчан чўян олинади. Бунинг учун қотишмани графитга парчаланишининг иккинчи даврида эвтектоид ҳарорат атрофида узоқ вақт ушлаб туриш ёки 760°C дан

720°С гача жуда секинлик билан совитиш керак. Шундай қилинганда перлит таркибидаги иккиламчи цементит ҳам графитга парчаланеди, натижада ҳосил бўлган структура $\Phi + \Gamma$ дан иборат бўлади. Қотишма таркибида графитнинг миқдори кўп бўлганлиги учун феррит асосли болғаланувчан чўяннинг емирилиш юзаси қорамтир рангда бўлади.

Юмшатиш жараёнини тезлаштириш мақсадида қотишмага баъзида висмут ёки алюминий қўшиб, қуйиш олди-дан ҳарорат оширилади. Болғаланувчан чўян русча атамаси (ковкий чугуна)нинг бош ҳарфлари (КЧ), чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси (кг/мм²) ҳамда пластиклик (%) қийматини қўйиб тамғаланади (1215—79 ГОСТ).

Феррит асосидаги КЧ 37—12 ва КЧ 35—10 чўянлар юқори динамик ва статик кучлар таъсирида муваффақиятли ишлай олади. Ундан тезликлар қутисининг филофи, гўбачлар каби машина қисмлари тайёрланади. Филофлар, гайка, газ овозини пасайтирувчи воситалар, муфта каби қисмлар кўпинча КЧ 30—6 ва КЧ 33—8 чўянлардан тайёрланади. Ферритли болғаланувчан чўянларнинг қаттиқлиги 160...165 НВ атрофида бўлади.

Оқ чўянни юмшатиш жараёнининг графитга парчаланиш иккинчи босқичида уни тез совитиш билан перлит асосидаги кулранг чўян олинади. Бунда оксидловчи муҳит сифатида металл куйиндиси ёки майдаланган руда қўлланилади. Бунда қотишма 1000°С да 51...58 соат ушлаб турилади. Графитга парчаланиш даврида заготовканинг юза қисмидан тахминан 2 мм қалинликдаги қатлам таркибидаги углерод ёниб кетади. Чўян ҳавода совитилади. Натижада ички кучланишлар камаяди. Ҳосил бўлган графитнинг шакли йиғилган, яъни паға-паға бўлганлиги учун ҳам перлитли болғаланувчан чўян юқори мустаҳкамлик ва пластикликка эга. Масалан, КЧ 50—6 ва КЧ 55—4 чўянлар юқори мустаҳкамлик ва пластикликка ҳамда ишқаланишга барқарор хусусиятларга эга.

Перлит асосидаги чўянларнинг қаттиқлиги 240...270 НВ атрофида бўлади. Бундай чўянлар автомобилсозликда, қишлоқ хўжалиги машиналарининг қисмлари, тўқимачилик саноати ускуналари, ишқаланиш, текис ҳамда ўзгарувчан куч таъсирида ишлайдиган воситаларни тайёрлашда ишлатилади.

4. Махсус легирланган чўянлар

Легирловчи элементлар чўян структураси, яъни металл асос, графит шакли ва ўлчамларига таъсир кўрсатади. Натижада чўянлар махсус хоссаларга эга бўлиши мумкин. Легирловчи элементларни қўшиш билан ишқаланишга чидамли, коррозиябардош, оловбардош куйинди ҳосил қилишга бардошли легирланган чўянлар олинади (7769—82 ГОСТ).

Кумтупроқ шароитида ишлатиладиган ишқаланишга чидамли чўянлар никель (3,5...5%) ва хром (0,8%), титан, мис, ванадий, молибден каби бир қанча қўшимча элементлар билан легирланади. Бундай материаллар ишқаланиш жуфтларида мойсиз ишлай олади. Булардан, автомобилларнинг тормоз ногораси, ҳаракатни улаш воситалари цилиндр гильзаси каби қисмлар ясалади. Хром миқдори 40%гача бўлган (ЧХ9Н5, ЧХ16М2, ЧХ22, ЧХ28Д2) чўянлардан қаттиқ материалларни майдалайдиган ускуна воситалари, ЧН4Х2 чўяндан абразив муҳит шароитида катта кучланиш остида ишлайдиган тегирмон ускуналари ва воситалари тайёрланади.

Оловбардош легирланган чўянлардан (ЧХ2, ЧХ3) металлургия саноатида агломерат машиналарининг колосниклари, кимёвий муҳитда ишлайдиган коррозиябардош ускуналар, трубалар каби қисмлар тайёрланади. Бундай чўянлар 600°C (ЧХ2) ва 700°C (ЧХ3) да ҳам хоссаларини йўқотмай ишлай олади. Бундан ҳам юқори ҳароратларда ишлай оладиган ЧЮХШ (650°C), ЧЮ7Х2 (750°C), ЧХ16 (900°C), ЧЮ30 (1100°C) легирланган чўянлар ҳам мавжуд. Бундай чўянлардан металлургия саноатида печь арматуралари, металлни юпқа жувалайдиган ускуналарнинг воситалари, шиша ишлаб чиқариш саноати ускуналари каби ускуналар тайёрланади.

Юқори ҳароратда мустаҳкамлиги катта бўлган шарсимон графитли ЧНМШ, ЧН11Г7Х2Ш, Ч19Х3Ш чўянлар 500...600°C ҳароратда ишлай олади. Улардан дизел, компрессор ускуналари, газ турбиналари қисмлари тайёрланади.

Кам легирланган Ч1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧН2Х каби чўянлардан ишқорий ҳам коррозияга газ ва ҳаво муҳитида иш-

лайдиган машиналарнинг воситалари тайёрланади (поршень ҳалқаси, ички ёнув двигателларининг блоклари, дизель ва компрессорларнинг воситалари). Айниқса, кислотали ва ишқорий муҳитда кремний билан легирланган (ЧС13, ЧС15, ЧС17) чуян яхши ишлайди. Юқори ҳарорат (1100...1150°C) даги кислота, ишқор, туз эритмалари ёки агрессив газ муҳитларида оғир юк кўтара оладиган машина воситалари ЧХ28, ЧХ34 чуянлардан тайёрланади. Ишқаланиш жуфтларининг материали сифатида кулранг, юқори мустаҳкам ва болғаланувчан, легирланган чуянлар кенг қўлланилади (АЧС—1, АЧС—2, АЧВ—1, АЧВ—2, АЧК—1, АЧК—2).

Намунавий назорат саволлари

1. Темир-углерод қотишмаларида углерод қандай кўринишларда бўлади? 2. Нима учун темир-углерод қотишмаларида углерод миқдори 2,14% ошганда уларнинг хоссаларида сифат ўзгаришлар рўй беради? 3. Чуянлардаги графит шаклининг таъсири қандай? 4. Пулатларда углероднинг графит шаклида бўлиши кузатиладими? 5. Нима учун оқ чуянни юмшатганда механик хоссаларда ўзгаришлар рўй беради? 6. Қандай мақсадларда чуян буюмнинг фақат устки қатламида оқ чуян тузилишини ҳосил қилишади? 7. Болғаланувчи чуянларни совуқтайин ёки иссиқтайин деформацияласа бўладими? 8. Машинасозлик чуянларининг қайси бирида қуйиш хусусиятлари яхши? 9. Чуянни нима учун легирлашади? 10. Юқори мустаҳкамликка эга бўлган антифрикцион чуянларга мисол келтиринг.

14-боб.

АСБОБСОЗЛИК ПУЛАТЛАРИ ВА ҚАТТИҚ ҚОТИШМАЛАР

Асбобсозлик пулатлари синфига углеродли ва легирланган пулатлар киради. Уларнинг қаттиқлиги, чидамлилиги, ишқаланиб емирилишга қаршилиги катта бўлиши керак.

Асбобсозлик пулатлари иссиқбардош, яъни юқори ҳароратда ўз хоссаларини йўқотмасдан ишлай олиши керак. Материални қайта ишлаш учун сарф бўлаётган энергия-

нинг анчагина қисми иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқиб, асбобнинг ишчи юзасида йиғилади. Шунинг учун асбоб материалининг юқори ҳароратда физик-механик хоссаларини сақлай олиши ишлаб чиқариш унумдорлигини белгилайди.

Узоқ вақт ишлайдиган ўлчов асбобларининг ўлчамлари барқарор, яъни унинг materiali қаттиқ ва ейилишга чидамли бўлиши керак. Кукун металлургияси тараққиёти янги асбобсозлик қотишмаларини яратишга имкон беради. Бундай материаллар юқори ҳарорат ($850...1200^{\circ}\text{C}$) да яхши ишлай олади. Ҳозирги вақтда асбобсозликда металл-керамик қаттиқ қотишмалар кенг ишлатилмоқда.

1. Кесувчи асбоблар учун пўлатлар

Бундай пўлатларнинг муҳим хусусиятлари ишқаланишдаги ейилишга чидамлилиги ва иссиқбардошлигидир. Бундай хусусиятга эга бўлган материалнинг қаттиқлиги ишланадиган материалнинг қаттиқлигидан юқори бўлиши керак. Асбоб ясаладиган бу материаллар юқори мустаҳкамлик ва қовушоқликка эга бўлиши керак. Кесувчи асбобнинг иш унумдорлиги унинг иссиқбардошлигига боғлиқ.

Углеродли асбобсозлик пўлатлари сифатли ва юқори сифатли бўлади (1435—74 ГОСТ). Юмшоқ материалларга ишлов бериладиган асбоблар сифатли (У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13) ҳамда юқори сифатли углеродли асбобсозлик пўлат (У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А) ларидан тайёрланади. Тамғалардаги “У” ҳарфи углеродли пўлат эканлигини билдирса, сонлар эса 0,1 аниқликда углероднинг % миқдорини кўрсатади. Углеродли асбобсозлик материалларининг иссиқбардошлиги $180...200^{\circ}\text{C}$ дан ошмайди, уларнинг кесиш қобилиятини яхшилаш учун уларга тоблашдан олдин юмшатиш берилади. Бундай пўлатларни тоблаш учун $760...780^{\circ}\text{C}$ да қиздириб, сувда ёки туз эритмаларида совитилади, сўнгра паст ҳароратда бўшатиш ($150...170^{\circ}\text{C}$) берилади, натижада асбоб ишчи юзасининг қаттиқлиги HRC 62...63 га тенг бўлади.

Углеродли асбобсозлик пўлатларидан ёғочларга ишлов берадиган парма, кескич ҳамда ички, ташқи резьбаларни

очувчи метчик, плашка (У11, У12) каби кесувчи асбоблар ҳамда уй-рузгор асбоблари (теша, болта, арра ва ҳоказолар)ни ясашда фойдаланилади (У8, У9, У10).

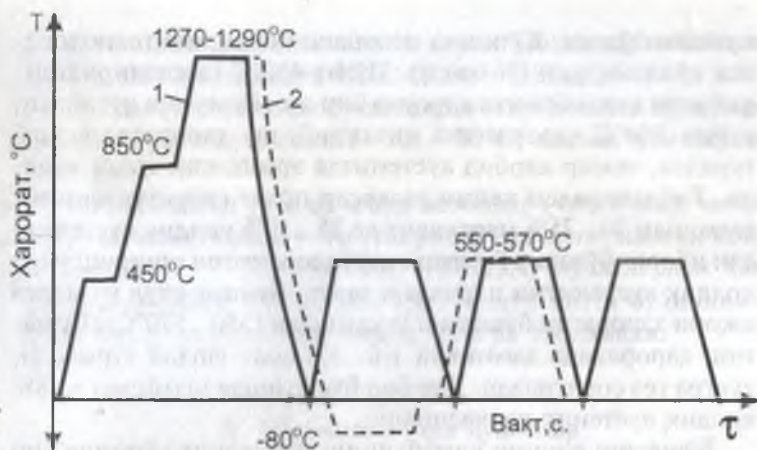
Кундаланг кесими катта бўлган асбобларни ясашда кам легирланган 9ХС, 13Х, 11ХФ, ХВСГ ва ҳоказо асбобсозлик пўлатлари ишлатилади (5950—73 ГОСТ). Уларнинг иссиқбардошлиги 200...260°C га етади. Бундай пўлатларни тоблаш муҳити сифатида кўпинча минерал мой ёки қайноқ туз эритмаларидан фойдаланилади. Улардан зарб таъсирида ишлайдиган темир, тош тарошлаш ва шунга ўхшаш ишларда қўлланиладиган исканасимон асбоблар — зубила, пуансон, искана каби асбоблар тайёрланади. Тоза ишлов берувчи кесувчи асбоблар эса ХВГ дан тайёрланиши мумкин. Кўпинча, ХВГ пўлати олмос ўрнида ишлатилади, чунки бу пўлат таркибидаги жуда қаттиқ вольфрам карбид фазаси амалдаги тоблаш ҳароратида аустенитда эримайди. Шунинг учун тобланган пўлат таркибидаги карбидлар кесувчи асбобнинг ишчи юзаси қаттиқлигини оширади.

Углеродли асбобсозлик пўлатларига карбид ҳосил қилувчи W, Mo, V, Co каби элементлар қўшилса, улар кесиш тезлигини оширади. Айниқса, пўлат таркибидаги вольфрам элементининг миқдори 9...18% гача етказилса, иссиқбардошлик 600...650°C га ортади, яъни уларнинг иш унумдорлиги углерод асбобсозлик пўлатларига қараганда 3...5 марта ортади. Шунинг учун ҳам бундай пўлатлар тезкесар пўлатлар деб аталади (19265—73 ГОСТ). Уларда легирловчи элементларнинг миқдори (16-жадвал) кўп бўлганлиги учун уларнинг тоблаш чуқурлиги катта бўлади.

16-жадвал

Баъзи кўп қўлланиладиган тезкесар асбобсозлик пўлатларининг кимёвий таркиби

Пўлат тамғаси	C	Cr	W	V	Mo
P18	0,7...0,8	3,8...4,4	17,5...19	1,0...1,4	0,5...1,0
P9	0,85...0,95	3,8...4,4	8,5...9,5	2,3...2,7	≤1,0
P6M5	0,82...0,90	3,8...4,4	5,5...6,5	1,7...2,1	5,0...5,5
P18Ф2	0,85...0,95	3,8...4,4	17...19	1,8...2,4	5,0...1,0



96-расм. Тезкесар пўлатларга термик ишлов бериш схемаси: соғуқ ҳароратда ишлов берилмайдиган (1) ҳамда соғуқ ҳароратда ишлов бериладиган (2) усуллари чизмаси.

Тезкесар пўлатларни иссиқбардошлилиги бўйича шартли равишда икки турга бўлиш мумкин: 1) вольфрам ва молибден каби легирловчи элементлар қўшилган тезкесар пўлатлар. Уларнинг иссиқбардошлилиги 620°C дан ошмайди (P9, P12, P18, P6M3, P6M ва ҳоказо); 2) вольфрам, кобальт ва ванадий каби легирловчи элементлар қўшилган тезкесар пўлатлар, уларнинг иссиқбардошлилиги 670°C га етади (P18K5Ф2, P10K5Ф2, P9M4K8 ва ҳоказо).

Иккиламчи карбидларни аустенитда эрийдиган қилиш учун турли пўлатлар турли ҳароратда тобланади. Масалан, тоблаш ҳарорати P18 пўлати учун $1270\ldots1290^{\circ}\text{C}$, P12 пўлати учун $1225\ldots1245^{\circ}\text{C}$, P6M5 пўлати учун $1210\ldots1230^{\circ}\text{C}$ ни ташкил қилади.

Тезкесар пўлатлар ледебурит синфига киради, шунинг учун ҳам у яхши болғаланади. Пўлатларнинг кесиш хусусиятини яхшилаш учун уларни болғалашдан кейин $800\ldots860^{\circ}\text{C}$ гача қиздириб юмшатилади, сўнгра тоблаб, бўшатилади. Натижада пўлат керакли бўлган иссиқбардошликка эга бўлади. Тоблаш учун пўлат туз эритмаларида қиздирилади. Шундай қилинганда асбоб юзасини оксидланишдан сақлаб, секин ёки поғонали қиздириш

мумкин бўлади. Кўпинча поғонали қиздириш технологияси қўлланилади (96-расм). Пулат 450°C га қиздирилганда бутун ҳажм бўйича ҳарорат бир хил бўлгунча қутилади, кейин 850°C ҳароратгача қиздириб, шу ҳароратда ушлаб турилса, темир карбид аустенитда эрийдиган ҳолга келади. Тоблангандан кейин тезкесар пулат структурасининг тахминан 70...75% мартенсит ва 25...30% қолдиқ аустенитдан иборат бўлади. Тоблаш самарадорлигини ошириш учун қолдиқ аустенитни парчалаш зарур. Бунинг учун уч марта юқори ҳароратли бўшатиш ўтказилади (550...570°C). Бўшатиш ҳароратида заготовка 1,0...1,5 соат ушлаб турилади, сўнгра тез совитилади. Ҳар бир бўшатишда тахминан 6...8% қолдиқ аустенит парчаланadi.

Бўшатиш сонини камайтириш мақсадида кўпинча бир марта совуқ ҳароратда (-80°C) ишлов бериб, сўнгра бир ёки икки марта юқори ҳароратли бўшатиш ўтказилади (550...620°C). Шундай қилинганда тезкесар пулатнинг қаттиқлиги HRC 63...65 га етади.

Баъзида, ейилишга чидамлилигини ошириш мақсадида тезкесар пулатлар паст ҳароратда цианланади. Бўшатиш ҳарорати (550...570°C) да буғда ишлов бериш орқали пулатнинг коррозия бардошлилиги оширилади.

2. Ўлчов асбоблари учун пулатлар

Машинасозликда ишлатиладиган ўлчов асбобларининг юзаси теп-текис (тоза) ҳамда термик ишлаш жараёнида деформацияланмаслиги, яхши эластикликка ва коррозиябардошликка эга бўлиши ҳамда узоқ вақт давомида емирилмасдан ишлай олиши, яъни ўлчамларини сақлай олиши керак.

Ўлчов асбобларини ясаш учун кўпинча кам легирланган асбобсозлик пулатлари (Х, ХВГ, ХГ, 9ХС, 12Х1 ва ҳоказо) қўлланилади. Бундай пулатлар тоблаш учун 840...880°C гача қиздирилади, сўнгра мойда тобланади. Қиздириш ҳарорати бундан ошса, ейилишга чидамлилиги камаяди. Тобланган пулат 120...140°C гача қиздириб, шу ҳароратда 12...60 соат ушлаб турилади. Чунки, қолдиқ аустенит миқдори кам бўлса ҳам унинг парчаланishi натижасида асбоб ўлчамлари ўзгармаслиги ҳамда

ички кучланишлар бўлмаслиги керак. Натижада асбоб юза қисмининг қаттиқлиги HRC 62...64 га етади.

Қолдиқ аустенитни бўшатиш мартенситга тула парчалаш учун совуқдайин ($-50...-80^{\circ}\text{C}$) ишлов ҳам бериш мумкин.

Баъзи пайтда узун ва юнқа асбоблар (чизғичлар, метр-ли рулеткалар) ясаш учун углеродли ёки легирланган конструкцион (15, 20, 15х, 20х, 12ХН3А) пулатлардан ҳам фойдаланилади. Бунда юза қаттиқлиги катта бўлишлиги учун пулат цементацияланади, сўнгра тобланади.

3. Штамплар учун пулатлар

Оддий ҳароратда ишлайдиган штампларни тайёрлаш учун ишлатиладиган пулатлар юқори қаттиқликка, мустаҳкамликка, ейилишга чидамликка ҳамда юқори зарбий қовушоқликка эга бўлиши керак. Совуқ ҳолда деформациялашда деформация тезлиги ошиб борган сари асбобнинг ишчи юзаси қизиши мумкин. Шунинг учун бундай материаллар иссиқбардош ($350...400^{\circ}\text{C}$) бўлиши керак. Катта ҳажмдаги заготовкларни штамплашда асбоб ҳам катта қалинликка эга бўлади. Тобланганда бундай штамплар катта тоблаш чуқурлигига эга бўлиши ва геометрик шакл ўзгармаслиги керак.

Ишлаш шароити ҳамда штампнинг ўлчов аниқлигига қараб, Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ каби легирланган ҳамда У10, У11, У12 каби углеродли асбобсоз пулатлардан ҳам фойдаланиш мумкин. Тоблаш чуқурлиги катта бўлиши ($150...200\text{ мм}$) керак бўлган пайтда хромли штамп пулатлари (Х12, Х13М, Х12Ф1) ишлатилади. Бундай пулатларда карбид фаза (Cr_7C_3) мавжу бўлгани учун уларнинг ишқаланиб емирилишга чидамлилиги катта бўлади.

Штамп қаттиқ, мустаҳкам ва ейилишга чидамли бўлиши учун пулат турига қараб термик ишлов берилади. Кам легирланган асбобсозлик пулатларини тоблаш учун уни $1050...1100^{\circ}\text{C}$ гача қиздириб, мойда тобланади, сўнгра бўшатиш учун $100...120^{\circ}\text{C}$ гача қиздириб, ҳавода совитилади. Пулатни иссиқбардош қилиш учун тоблаш ҳарора-

ти бир оз юқориқоққа кўтарилади ва бир неча марта (3...4) юқори ҳароратли (500...570°C) бўшашиш ўтказилади. Вольфрам ҳамда кремний билан қўшимча легирланган хром-ли штамп пўлатлар (4ХВС2, 5ХВС2, 6ХВС2, 4ХС, 6ХС)га ана шундай термик ишлов берилганда жуда яхши зарбий қовушоқликка эга бўлади. Бундай легирловчи элементлар пўлатдаги углерод миқдорини камайтиришга, бўшашиш ҳароратини оширишга имкон беради.

Иссиқ ҳолда деформациялаш пўлатни рекристалланиш ҳароратидан юқорида олиб борилганлиги учун штамплар ана шу ҳароратда ўз хоссаларини йўқотмасдан, оксидланмасдан ва коррозияланмасдан узоқ муддат ишлай олиши керак. Йирик штампларни тайёрлашда бўшашишдаги II тур мўртликка эга бўлмаган пўлатлар ишлатилади.

Бундай пўлатларнинг таркибида 0,3...0,6% углерод бўлиб, улар хром, никель, молибден ҳамда кремний билан легирланган бўлади. Бу пўлатлар тоблангандан кейин юқори ҳароратда бўшашиш ўтказилади (550...680°C). Масалан, 5ХНМ пўлат мураккаб шаклдаги штампларни тайёрлашда ишлатилади. 500°C да ҳам ўз хоссаларини йўқотмасдан узоқ вақт ишлай олади. Ўртача катталиқдаги штамплар 5ХГМ, 5ХНВС пўлатлардан тайёрланади. 5ХНВ пўлатдан тоблаш чуқурлиги унча катта бўлмаган кичикроқ ўлчамдаги штамплар тайёрланади.

Бундай пўлатлар 820...880°C гача тобланади. Бу жараён оксидланиш ва углерод куйишининг олдини оладиган муҳитларда олиб борилади. Кейин ҳавода ёки 750...780°C дан бошлаб мойда совитилса ҳам бўлади, яъни тоблашнинг поғонали усули қўлланилади.

Штампларнинг ишлатилиш шароитларига қараб, бўшашиш ҳарорати ҳам ҳар хил бўлади. Кичикроқ ўлчамли штамплар жуда қаттиқ ва ейилишга чидамли бўлиши учун улар 480...520°C ҳароратгача қиздирилиб бўшатилади. Баъзи пайтда мураккаб шаклдаги жуда катта штамплар қовушоқ бўлиши учун юқори ҳароратли (450...580°C) бўшашиш ўтказилади.

Штамп пўлатлари таркибидаги хром миқдорининг оширилиши (4...5%) куйинди ҳосил бўлишининг олдини олади ҳамда емирилишга мустаҳкамликни оширади (4Х5ФС, 4Х5В2ФС, 4Х4ВМФС).

Пластмассаларни қайта ишлашда (айниқса қуйма усулда) штамп юзаларига катта талаблар қўйилади: юза юқори микротозалик (силлиқлик)ка эга ҳамда коррозиябардош бўлиши ва юзанинг геометрик ўлчамлари ўзгармас бўлиши керак. Пластмассаларни қуйиш учун мўлжалланган металл қолиплар 4ХВС2, Х12, 7Х13, 8Х3, 40Х, 30ГС пулатлардан тайёрланиб, кўпинча юза қисмига ҳар хил кимёвий-термик ишлов (азотлаш, цианлаш ва ҳоказо) берилади.

4. Асбобсозлик қаттиқ қотишмалари

Қийин эрийдиган металлларнинг кукун ҳолдаги карбидлари жуда катта қаттиқликка эга. Асоси метали бўлган кукун ҳолдаги карбидлар билан тўйинтирилган материалга металл-керамик қаттиқ қотишмалар (3882—74 ГОСТ) дейилади.

Кукун ҳолдаги WC , TiC ва TaC аралашмасини металл ҳолатдаги кобальт боғловчи (у ҳам кукун ҳолда) элемент билан аралаштириб, қолипларга солинади ва босим остида ишлангандан кейин кобальтнинг суюқланиш ҳароратидан юқорироқ ҳарорат ($1450...1550^{\circ}C$)да пишитилади. Бундай металл-керамик қотишмаларнинг таркиби умумий ҳолда қуйидагичадир:

$$a\% WC + b\% TiC + c\% TaC + d\% Co.$$

Қаттиқ қотишмани ҳосил қилишда қатнашаётган карбидларнинг миқдорига қараб, вольфрамли ($b=v=0$), титан-вольфрамли ($b=0$) ҳамда титан-тантал-вольфрамли қаттиқ қотишмалар бўлиши мумкин.

Бундай қаттиқ қотишманинг структураси карбидлардан иборат бўлиб, карбидлар эса ўзаро кобальт элементи билан боғланган бўлади.

Вольфрам карбидли (ВК) қаттиқ қотишмаларнинг иссиқбардошлилиги $800^{\circ}C$ гачадир. Бунда доначалар қанча майда ва боғловчи элемент (C_0) қанча кам бўлса (ВК3, ВК6), қотишмаларнинг ейилишга чидамлилиги шунча катта, лекин қовушоқлиги эса кичик бўлади (тамгадаги ВК дан кейинги бутун сонлар кобальтнинг % миқдорини

кўрсатади). Қотишма таркибида кобальт элементи қанча кўп бўлса, қотишма шунча қовушоқ бўлади (BK8, BK10, BK20). Бундай қотишмаларнинг қаттиқлиги 84...89 HRA га, эгилишдаги мустаҳкамлиги эса 1400...1600 МПа га тенг.

Титан-вольфрам карбидли (ТК) қотишмаларнинг иссиқбардошлилиги 900...1000°C га етади. Бундай қотишманинг таркибида TiC ва WC карбидлар бўлганлиги учун унинг қаттиқлиги ВК туркумига кирувчи қотишмалар қаттиқлигига қараганда анча катта бўлади, структурасининг тузилиши эса таркибидаги карбидларнинг нисбати-га боғлиқ бўлади. Агар қотишма таркибида TiC кўп бўлса, структурада қарийб (TiW)C ҳосил бўлади. Бундай структура кесиш тезлигини оширишга имкон беради. Масалан, икки карбидли T15K6, T5K10 қотишмалар металлга бирламчи ишлов берилишида қўлланилади, T30K4 каби қотишма тоза ишлов беришда қўлланилади.

Титан-тантал-вольфрам карбидли (ТТК) қаттиқ қотишма вольфрам карбид (WC) билан учламчи карбид (Ti , Ta , W) C ли қаттиқ эритмани ҳосил қилади. Шунинг учун бу қотишма жуда катта қаттиқлик HRA (90...92) ва юқори иссиқбардошликка (1100°C) эга. Уч карбидли (ТТ7, K12, ТТ10K8-Б) қотишмалар ҳам пўлатларга ишлов беришда ишлатилади.

Қаттиқ қотишмаларни фақат жилвирлаш мумкин, улар жуда қаттиқ бўлганлиги учун кесиб ишланмайди. Кейинги вақтда бор нитрид асосидаги жуда қаттиқ поликристалл материаллар — композициялар асбоб материали сифатида қўлланилмоқда. Эльбор деб аталувчи бундай композициялар юқори иссиқбардошликка эга. Бундай материаллар токарлик ҳамда фрезерлик ишларида қўлланилади.

Вольфрам камёб материал, уни тежаб ишлатиш зарур. Шунинг учун вольфрамсиз қаттиқ қотишмалар ҳам ишлаб чиқилган. Масалан, $TiC+Ni+Mo$ (ТН-20) ва титан карбонитриди асосидаги $Ti(NC)+Ni+Mo$ (ТНТ-16) қотишмалар ишлаб чиқилган. Тамғалардаги сонлар Ni ва Mo ларни умумий миқдорини кўрсатади ва улар боғловчи (матрица) вазифасини бажаради. Бундай қотишмалардан кескичлар, фрезалар ясаиб, рангли металлларга ярим тоза ва тоза ишлов беришда ишлатилади.

Саноатда кўп қиррали чархланмайдиган пластинка шаклидаги кесувчи асбоблар қўлланилади. Бундай асбоблар кўпинча ВК6, ТТ7К12, ТТ10К8-Б қотишмалардан тайёрланиб, усти ишқаланишга бардошлиги юқори бўлган карбидли (TiC) ва нитридли (TiN) юнқа қоплама билан қопланган бўлади. Бундай қопламалар асбобнинг ишлаш муддатини 3...4 марта оширади.

Олмослардан ҳам кесувчи асбоблар ясалади. Маълумотларга қараганда қазиб олинаётган табиий олмосларнинг қарийб 80% ва сунъий олмосларнинг ҳаммаси техникада кесувчи асбоб сифатида ишлатилмоқда. Олмосларнинг асосий қисми (70% га яқини) кукун сифатида қайта ишланиб, улардан асосан жилвир тошлар — притир, хон, эгов (надфил) каби металлларга тоза ишлов бериш учун асбоблар ясалади. Улар қаттиқ тоғ жинсларини кесишда ҳам ишлатилади. Масалан олмосли кесувчи асбоб билан қаттиқ қотишмалардан ясалган кесувчи асбобга тоза ишлов беришда бошқа қўллаш мумкин бўлган асбобларга қараганда иш унумдорлигини 2...4 марта, асбобнинг ишлаш муддатини эса 2...3 марта оширади.

Олмосли кесувчи асбоблар, асосан чарх тош сифатида тайёрланиб, боғловчи элемент сифатида бакелит ёки металлдан фойдаланилади. Баъзида олмос кескичлар сифатида ҳам ишлатилади. Масалан, соатсозликда кесувчи автомат дастгоҳларида олмос кескичлар кўп ишлатилади. Юқори қаттиқликка эга бўлган ва қимматбаҳо металллардан сим чўзишда кирьялар тайёрланади (чивик кирьядан ўтказилиб сим ясалади).

Намунавий назорат саволлари

1. Кесувчи асбоб тайёрлаш учун пўлатта қандай талаблар қўйилади? 2. Пўлатнинг иссиқбардошлиги бушатиш учун қиздириладиган ҳароратдан катта бўлиши мумкинми? 3. Вольфрам пўлат хоссаларига қандай таъсир кўрсатади? Бошқа легировчи элементлар-чи? 4. Тезкесар пўлатни тоблангандан кейин қолдиқ аустенитни қандай йўқотиш мумкин? 5. Ўлчов асбоблари учун пўлат танланг. 6. Штамплар учун пўлат танланг. 7. Қаттиқ қотишмаларнинг юқори иссиқбардошлиги ва қаттиқлигига сабаб нима?

МАХСУС ФИЗИК ХУСУСИЯТЛИ ҚОТИШМАЛАР

Махсус хусусиятларга эга бўлган қотишмаларга эҳтиёж борган сари ортиб бормоқда. Бошқариладиган ўтказувчанликка, жуда кичик солиштирма электр қаршилиikka, ярим ўтказгич ва магнит хоссаларига, ўзининг аввалги шаклига қайтиш хусусиятларига эга бўлган қотишмалар ҳозирнинг ўзида жуда кенг қўлланилмоқда. Бундай хусусиятларга эришиш учун қотишма таркибидаги элементларнинг нисбатини танлаш, элементларнинг махсус ҳамда структура тузилишларини бошқариш қонуниятларини билиш керак.

Металл ва қотишмаларни қайта ишлашнинг янги технологиясини қўллаш, уларнинг юқори тезликда кристалланиш усулларини яратишга олиб келди. Аморф ҳолатдаги металллар кристалл ҳолатдаги металлларга қараганда юқори мустаҳкамликка эга ҳамда актив коррозияловчи муҳитда барқарордир. Суюқ металлни ўта совитиш натижасида барқарор (квазистабил) махсус ҳолатга эга бўлган аморф структура ҳосил бўлади. Ҳозирги вақтда махсус хусусиятларга эга бўлган янги материалларни яратишда кукун металлургиясининг ўрни муҳимдир.

1. Электр ўтказувчанлиги турлича бўлган материаллар

Нуқсонлар ва қўшимчалар миқдори кам бўлганда ўтказувчанлик хусусиятининг кескин ошиши металлларга хос бўлган хусусиятдир. Бундай хусусиятли металллар асосан электр энергиясини узатиш ёки улаш материаллари сифатида ишлатилади.

Кумуш қимматбаҳо материал бўлганлиги учун фақат коррозияланиши мумкин бўлмаган электр ўтказгичларда, юқори ва жуда юқори тебранишли электр токида ишлайдиган электр асбобларида ҳамда нозик микросхемаларнинг улаш материаллари сифатида ишлатилади.

Мис кумушга қараганда арзон ҳамда жуда яхши ўтказувчанликка эга бўлганлиги учун машинасозлик ва электр

саноатида асосий ўтказувчан материал сифатида ишлатилади. Вакуум усулида олинган мис ноёб хусусиятларга эга. Баъзан юқори тебранишли ток ўтказгичлари (мис)нинг сиртини коррозиядан асраш учун кумуш билан қопланади.

Юқори мустаҳкамликка эга бўлган ўтказувчан элементларда латунлар ва кадмийли ҳамда бериллийли бронзалар ишлатилади (сирпаниш контактлари, мембраналар ва шунга ўхшаш ток ўтказувчи элементлар).

Алюминий ҳам юқори механик хусусиятларга эга бўлган яхши ўтказувчан материал. Мисга қараганда алюминий табиатда кўпроқ учрайди, унинг коррозиябардошлилиги ҳам мисга қараганда юқорироқдир.

Ҳарорат пасайиб борган сари ўтказгичларнинг электр қаршилиги камайиб боради, баъзи металлар абсолют нолга яқин ҳароратда ўтаўтказувчанликни намоён қилади, солиштирама электр ўтказувчанлик жуда камаяди (10^{-25} Ом/м га яқин). Ана шундай материаллар ўтаўтказувчан материаллар деб аталади. Ўтаўтказувчанлик қарама-қарши импульслар ва спинларнинг ҳосил бўлиши билан боғлиқ, яъни ҳарорат абсолют нолга яқинлашганда электронларнинг кристалл панжарадаги ионлар билан таъсири йўқолади, электрон жуфтлари ҳосил бўлиб, юқори электр ўтказувчанликка эга бўлган фаза ҳосил бўлади. Ҳозирги вақтда анчагина металл (*W, Be, Cd, Zr, Zn, Mo, Al* ва ҳоказо)ларда ўтаўтказувчанлик хусусияти борлиги маълум.

Ўтаўтказувчанликка металлар таркибидаги қўшимчаларнинг таъсири катта, лекин металл қўшимчалари ўтаўтказувчанликнинг критик ҳароратига кам таъсир кўрсатади. Ўтаўтказувчан металларнинг қотишмалари ҳам ўтаўтказувчанликка эга бўлади. Бундай қотишмаларга қуйидаги материалларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин: *Ne—Zn, Nb—Ti, V—Ti, Ta—Ti*.

Ўтаўтказувчан материаллардан ясалган воситаларни кўплаб ишлаб чиқаришда кукун металлургиясидан фойдаланилади. Масалан, шу усул билан ҳар хил ўлчамлардаги симлар ишлаб чиқарилади ёки металл асосидаги ана шундай қотишмалардан махсус қопламалар олинади.

Ўтаўтказувчан материаллар ҳисоблаш техникасида, магнит қурилмаларида, лазер ҳамда элементар заррачаларни тезлатиш қурилмаларида кенг қўлланилади.

Солиштирама электр ўтказувчанлиги металлларникидан кичик, лекин диэлектрикларникидан катта бўлган материаллар *ярим ўтказгичлар* деб аталади.

Ярим ўтказгичларнинг муҳим аҳамияти шундан иборатки, металллардан фарқи ўлароқ, электр ўтказувчанликнинг ҳарорат коэффициенти мусбат бўлади. Ноль ҳароратда ярим ўтказгичлар ток ўтказмайдиган материалларга (изоляторга) айланади.

Ярим ўтказгичларнинг солиштирама электр ўтказувчанлиги ва ўтказувчанлик даражасини бошқариш учун улар легирланади, легирловчи қўшимчаларнинг ўзи донор ёки акцептор вазифасини бажариши мумкин.

Кимёвий таркиби бўйича ярим ўтказгичлар икки хил бўлади: 1) таркиби биргина элементдан иборат бўлган оддий ярим ўтказгичлар (*B, C, Si, Ge, Sn, P, As, S, Se, Te*); 2) турли хил кимёвий элементлар бирикмасидан ёки қотишмалардан иборат бўлган ярим ўтказгичлар (*CuO, ZnO, Ag₂Se, PbS* ва ҳоказо). Янада мураккаброқ — уч ва ундан ортиқ элементлардан иборат бўлган ярим ўтказгичлар ҳам бор (*CuFeS₂, AgFeTe₂* ва ҳоказо).

Энг қўн тарқалган ярим ўтказгичлардан бири германийдир (легирилган ёки тоза бўлиши мумкин). Ундан ўзгарувчан токни тўғриловчи элементлар, транзисторлар, фотодиодлар, инфрақизил нурлар учун линзалар тайёрлашда ва бошқа соҳаларда фойдаланилади.

Германийли асбоблар 70...85°C да ишлай олади. Кремний асосида ишлайдиган ярим ўтказгич асбоблар нисбатан юқори ҳароратда (120...150°C) ҳам ишлай олади. Кремнийли ярим ўтказгичлар кучли, катта қувватга эга бўлган токни тўғриловчи асбобларда, кучланишни барқарорлаштирувчи ускуналарда ҳамда қуёш батареяларида ва бошқа шунга ўхшаш ускуналарда ишлатилади.

Лазер техникасида мураккаб ярим ўтказгичлар қўлланилади. Масалан, ярим ўтказгич ҳарорат регисторини тайёрлашда оксидлардан фойдаланилади (*CuO, MgO, Al₂O₃*).

2. Магнит материаллари ва парамагнитлар

Магнит пўлатлари ва қотишмалари магнитни сингдириш, коэрцитив куч H_c ва қолдиқ индукция B_r хусусиятларига кўра магнит-юмшоқ, магнит-қаттиқ ҳамда парамагнит турларга бўлинади.

Бундай материаллар ишлаб чиқаришнинг технологик хусусиятларига қараб, деформацияланган (совуқ ёки иссиқ ҳолда босим остида ишланган) ҳолда қуйиш ва кукун технологияси бўйича пиширилган ҳамда пресс-магнитлар ҳолида ишлаб чиқарилади.

Магнит-юмшоқ материалларни учта синфга бўлиш мумкин: 1. Юпқа тунука ёки ҳар хил геометрик шаклга эга бўлган легирланмаган электротехника пўлатлари (3836 ГОСТ ва 11036—75 ГОСТ). 2. Кремнийли электротехника пўлатлари (214270—75 дан 121427.3 ГОСТ гача ва 21427.4—78 ГОСТ). 3. Магнитни сингдириши юқори бўлган қотишмалар (10160—75 ва 10994—74 ГОСТ).

Магнит-юмшоқ материаллар трансформатор ва генераторларда, токни улайдиган ускуналарда, электр ўлчов асбобларини ясашда ишлатилади.

Техник тозаликка эга бўлган темир — ўзгармас ток магнит ўтказгичлари — электромагнит, реле каби ускуналар тайёрлашда ишлатилади. Тоза темирдан фойдаланишда ўрама тоқлар (Фуко токи) ҳисобига қувват кўп йўқотилади (бу ток қайта магнитлашда ҳосил бўлади). Бундай камчиликни тузатиш учун темирга кремний қўшилади, натижада қувват йўқотилиши камаёди, лекин унинг миқдори 3% дан ошиб кетса, материалда мўртлик ҳосил бўлади. Кремний магнит сингишини ҳамда индукцияни оширади, коэрцитив куч ҳамда гистерезис ҳолатидаги йўқотишларни камайтиради.

Қаттиқ магнитли материаллардан ҳар хил доимий магнетиклар тайёрланади. Бундай материаллар таркибида углероднинг миқдори кўп бўлади (~1%), улар хром ёки бирданига хром, кобальт, молибден билан легирланган бўлиб, қуйидагича тамғаланади (6862—71 ГОСТ); ЕХ3, ЕХ5К5, ЕХ9К15М2 (бунда Е — магнит пўлати эканлигини билдиради). Легирловчи элементлар асосан магнит ҳамда коэрцитив энергияни оширади, доимий магнитларни ҳарорат ва механик хоссаларини муқобиллашти-

ради. Хром ва кобальт билан легирланган пўлатларни кесиб ҳамда босим остида ишлаш анча осон, лекин нисбатан кам магнит энергиясига эга. Бундай пўлатларга бериладиган термик ишлов магнит хоссаларини оширади. Масалан, EX5K6 ва EX9K15M2 пўлат нормалланади, юқори ҳароратда бўшатилади, кейин тобланади ҳамда паст ҳароратда бўшатилади.

Мураккаб ҳамда жавобгарлиги юқори бўлган магнетикларни (масалан, магнит ленталари, дисклар ва ҳоказо) ишлаб чиқаришда кам углеродли деформацияланган қотишмалар ишлатилади. Масалан: Fe—Co—Mo (комол), Cu—Ni—Co (кунико), Fe—V—Co (виколай) ва ҳоказолар.

Ўлчамлари унча катта бўлмаган электрон ҳисоблаш машиналарида ҳамда тезда эслаб қолиш ускуналарида юқори ферромагнит қотишмалар ишлатилади. Бундай материалларни қайта магнитлашда жуда кам, яъни ўндан бир секунддан бир неча секундгача вақт сарф бўлади.

Электротехника ва электр ўлчов асбобларида, кemasозликда ҳамда техниканинг махсус соҳаларида магнит хоссаларига эга бўлмаган (паромагнит) пўлатларни ишлатиш керак бўлади. Ана шу мақсадлар учун аустенит синфига оид 17X18H9, 12X1810T, 55G9H9X3, 50Г18Х4, 40Г14Н9Ф, 40Х14Н9Х3ЮФ2 каби паромагнит пўлатлар ишлаб чиқилган.

Бу пўлатларнинг оқувчанлик ($\sigma_{ок}$) чегарасидаги кучланиш кичик бўлади. Шунинг учун бундай пўлатлардан юқори куч остида ишлайдиган машина воситаларини тайёрлаб бўлмайди. Лекин деформациялаш ҳамда майда структура ҳосил қилиш орқали у пўлатларнинг мустаҳкамлигини ошириши мумкин. Ишқаланиш жуфтларида ишлайдиган воситаларни (40Г14Н9Ф2, 40Х14Н9Х3ЮФ2 каби пўлатлар) азотлаш орқали емирилишга чидамлиликни ошириши мумкин.

3. Аввалги шаклига қайтиш хусусиятига эга материаллар

Агар материалларни юқори ҳароратда пластик деформациялаш орқали маълум шаклга эга бўлган буюм олинса, у совитилиб паст ҳароратда қайтадан пластик дефор-

мацияланса, буюм шакли ўзгаради. Кейин буюм яна қайтадан қиздирилса, у юқори ҳароратда ўз-ўзидан пластик деформацияланиб, олдинги шаклига қайтади. Материалларнинг бундай хусусиятлари механик шаклни “эслаб қолиш” хусусияти дейилади.

Материалларни юқори ҳароратда деформациялаш жараёни барқарор фаза ҳарорати чегарасида олиб борилади. Паст ҳароратда деформациялаш эса фаза ўзгариш ҳароратида ёки унга яқинроқ ҳароратда олиб борилади. Ҳосил бўладиган термоэластик мартенсит бу материалларнинг энг муҳим таркиби ҳисобланади. Термоэластик мартенситнинг ҳосил бўлиши учун мартенсит ва асосий фазанинг элементар кристалл панжаралари когерент боғланган бўлиши керак. Фазалараро чегарада когерентлик бузилиши билан мартенсит кристалларининг ўсиши тўхтайди. Одатда тизим эркин энергиясининг камайиши билан янги фазалар ўса бошлайди. Агар эластик деформация энергиясининг ошиши кимёвий соф энергиянинг камайишига тўғри келса, тизимнинг соф энергияси нолга тенг бўлади, яъни у мувозанатда бўлади. Бундай ҳолда мартенсит кристалларининг ўсиши тўхтайди, яъни термоэластик ҳолат вужудга келади. Бундай қотишмаларда мартенситга парчаланишнинг ҳарорат гистерезиси унча катта бўлмайди.

Материалларнинг механик шаклни “эслаб қолиш” хусусияти деформация натижасида кристалл панжаралардаги аксланиш жараёнининг содир бўлишига боғлиқ бўлиб, қиздирилганда бу хусусият йўқолади. Лекин деформациянинг шундай критик қиймати борки, ундан катта куч остида деформацияланганда қиздириш билан аксланиш йўқолмайди. Унинг йўқолиши учун материал қайта кристалланиш (рекристалланиш)и лозим.

Ti—Ni, Ti—Au, Ti—Pd, Ti—Pt, Au—Cd, Ag—Cd, Cu—Zn.

Тизимлар берилган шаклни эслаб қолиш хусусиятларига эга бўлган қотишмаларга мисолдир. Материалнинг механик шаклни “эслаб қолиш” хусусиятининг ҳосил бўлиш ҳарорати материалнинг турига боғлиқ. Масалан, натипол (*Ti—Ni*)нинг бу ҳарорати 500—600°C га тенг. Унинг эластиклик модули (E) 66,7...72,6 МПа, силжиш модули

(G) 22,5...24,5 МПа га, мустаҳкамлиги (σ) 735...970 МПа га, пластиклиги (δ) 2,0...27% га, солиштирма электр қаршилиги (ρ) 65...75 мк. Ом. см га, эриш ҳарорати (T_s) 1250...1310°C ва зичлиги (γ) 6640 кг/м³ га тенг.

Бундай материаллар космик кемаларнинг антенналарини тайёрлашда ишлатилади. Антенналар фазога чиққанда эслаб қолган шаклга қайтиб, ўз-ўзидан очилиши керак. Яна улар ўт ўчириш ускуналари муфталарини тайёрлашда ҳам ишлатилади.

4. Юқори электр қаршиликка эга бўлган материаллар

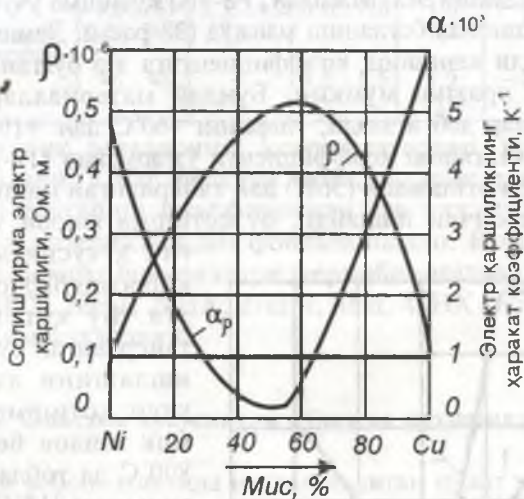
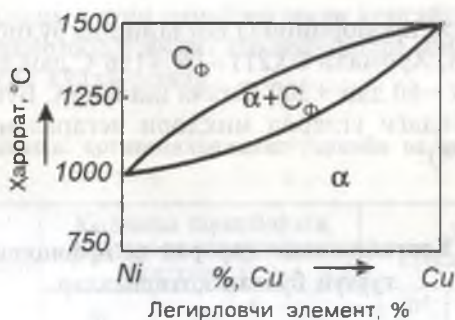
Одатда қаттиқ эритмалар юқори электр қаршиликка эга бўлиб, унинг қиймати эритма компонентларининг ўзаро нисбатига боғлиқ бўлади. Ўрин аламашиш қаттиқ эритмасининг электр қаршилиги катта бўлади ва сингувчи элемент миқдорининг ортиб бориши билан электр қаршилик ўзгариб боради. Бу ўзгариш экстремал характерга эга бўлиши (97-расм) мумкин. $Cu-Ni$ қотишма резистор ва иситиш элементлари ҳамда тензо ва терморезисторларни тайёрлашда қўлланилади.

Иситиш элементлари юқори ҳароратда (1100...1150°C) куйинди ҳосил қилмасдан узоқ муддат шундай ишлай олиши керак. Шунинг учун улар алюминий, хром, никел, кремний каби элементлар билан легирланади.

Иситиш элементларини тайёрлашда нихром (Х20, Н80, Х15, Н60), фехраль (Х13Ю4, Х25Ю5Т) каби материаллар, резистор элементларини тайёрлашда константин (МнМц 40—1,5), никелин (МнМц 30—1,5), манганин (МнМц 3—12) каби қотишмалар қўлланилади.

Қотишма таркибидаги хром ва алюминий миқдорининг ортиб бориши билан қотишманинг куйинди ҳосил қилишга чидамлилиги ортиб боради ва юқорироқ ҳароратда ишлай олади. Нихромларнинг пластиклиги ва технологик хусусиятлари яхши, фехромлар арзон бўлгани билан мўрт ва уларнинг технологик хусусиятлари юқори эмас.

Маълумки, машина ва конструкцияларнинг механик ва термик деформацияларини ўлчаш керак бўлади. Ўлчаш



97-расм. Никель-мис тизимининг ҳолат диаграммаси (а) ҳамда солиштирма электр қаршилик (ρ) ва электр қаршилик ҳарорат коэффиценти (α_p)ларининг қотишма таркибига боглиқлик графиги (б).

учун тензорезисторлар қўлланилади. Бу тензорезисторлар кўпинча константан, фехраль, нихромлардан, яъни терморезистор электр қаршилиги ҳарорат коэффиценти юқори бўлган материаллардан тайёрланади. Масалан, Н50К10 (50...52% Ni, 10...11% Co, қолгани Fe) қотишма кенг қўлланилади. Бу қотишманинг электр қаршилиги ҳа-

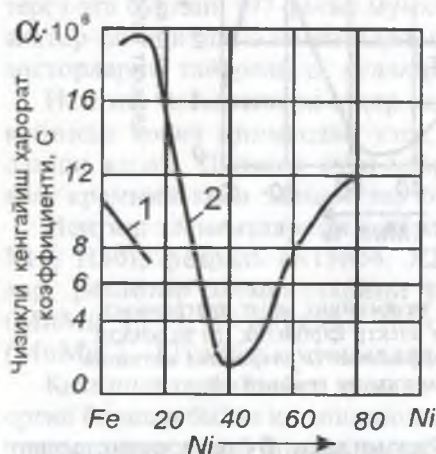
роратга тўғри пропорционал боғланишда бўлиб, 20...200°C да ишлайди. Хромаль ОХ211—09 — 196°C дан +480°C гача, константан —60 дан +300°C гача ишлайди. Бундай пулатлар таркибидаги углерод миқдори чегараланган бўлади (0,06...0,12%).

5. Кенгайишнинг ҳарорат коэффиценти тургун бўлган қотишмалар

Қаттиқ эритма ҳосил қилувчи қотишмаларнинг чизиқли кенгайиш коэффиценти қотишма таркиби билан экстремал боғланишга эга. Масалан, Fe—Ni қотишма учун мураккаб функционал боғланиш мавжуд (98-расм). Демак, керакли чизиқли кенгайиш коэффицентига эга бўлган материални яратиш мумкин. Бундай материаллар инвар қотишмалар деб аталади, уларнинг -60°C дан +100°C гача чизиқли кенгайиш коэффиценти ўзгармайди (17-жадвал).

Инвар қотишмаси (36Н) дан тайёрланган машина қисмлари ишончли ишлайди, бу қотишма юқори техноло-

гик хусусиятларга ва коррозиябардошликка эга. Бу қотишмадан тайёрланган буюмнинг ишлашини яхшилаш учун қотишмага термик ишлов берилади: 800°C да тоблаб буша-тиш учун 315°C да қиздирилади, сўнгра эскиртирилади. Шундай қилинганда деярли ички кучланишлар ҳосил бўлмайди. Қотишма кобальт билан легирланса, суперинвар ҳосил бўлади. Ўлчов асбобларининг металл қисмига шиша ёпиштириш учун инвардан



98-расм. Темир-никель тизимидаги қотишмаларнинг чизиқли кенгайиш ҳарорат коэффицентининг қотишма таркибига боғлиқлик чизмаси: 1—α-фаза, 2—γ-фаза.

фойдаланилади, чунки унинг чизикли кенгайиш коэффициенти шишаникига яқин. Иссиқбардош шишалар учун ковар (29НК) қўлланилади.

17-жадвал

Темир-никель қотишмаларининг таркиби ва хоссалари

Қотишманинг тури	Қотишма таркибидаги элемент миқдори, (қолгани Fe)			Хосса кўрсаткичлари	
	Ni	Co	Cu	$\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	температура $^\circ\text{C}$
36Н (инвар)	35...37	—	—	1,5	—60...+100
32НД (супер-инвар)	3,5...33	3,1...4,2	0,6...0,8	1,0	—60...+100
29НҚ(ковар)	8,5...29,5	17...18	—	1,5	—70...+420
47НД (платенит)	46...48	—	4,5...5,5	9,9 11,0	—70...+440

Иссиқлик релеларини, компенсаторлар, ўт учиреиш қурилмалари, хабар берувчи мосламаларни тайёрлашда чизикли кенгайиш коэффициенти ҳар хил бўлган икки қатламли материаллардан фойдаланилади. Бундай материаллар ҳарорат биметаллари (термобиметаллар) деб аталади. 19НХ, 20НТ, 24НХ, 27НМ, 46Н, 45НХ каби қотишмалар биметаллардир.

6. Эластик хусусиятли пулат ва қотишмалар

Ўлчов асбобсозлигида ишлатиладиган пулат ва қотишмалар махсус эластиклик хусусиятига эга бўлиши керак. Бу эластиклик маълум ҳароратда барқарор бўлиб, мустаҳкамлик сақланади. Ўлчов асбобларининг сезгир элементлари — мембраналар, сильфонлар, анероид (металл барометр) қутичалари ана шундай қотишмалардан тайёрланади (42НХТЮ, 36НХТЮ, 17ХНГТ, 68НХВКТЮ, 95НЛ, 95НМЛ). Бундай қотишмалар яхши технологик хоссаларга эга, эскиртирилгандан кейин эса юқори эластикликка эга бўлади. Мустаҳкамликнинг ошиши эса γ — фазанинг ажралиб чиқиши ва унинг аустенит кристалл панжараси билан когерент боғланишда бўлишига боғлиқдир.

Ҳарорат 300°С гача бўлган шароитларда ишлайдиган асбоб элементлари 36НХТЮ дан тайёрланиши мумкин. Катта ҳарорат оралиғида (–196+500°С) ишлайдиган асбоб элементи 68НХВКТЮ дан тайёрланади.

Бериллийли бронзалардан ҳам махсус эластик хоссаларга эга бўлган асбоб элементлари тайёрланади. Бронзаларни термик ишлаш орқали бундай хоссаларга эришилади. Масалан, бронзанинг БрБ2 тури тоблаш (780...790°С) дан кейин эскиртирилса (350°С), эластиклик чегарасидаги кучланиш ($\sigma_{0.002}$) 120 дан 760 МПа гача ортади. Бу қотишма қўшимча равишда титан, никель бром ($\leq 0,1\%$) ва магний ($\leq 0,1\%$) билан легирланса, унинг хоссалари янада яхшиланади. Термомеханик ишлов берилганда бериллийли бронзаларнинг эластиклик чегарасидаги кучланишни 1060 МПа гача кўтариш мумкин. Бу элементларни коррозияловчи муҳитдан сақлаш мақсадида уларнинг устки қатлами кадмий ёки никель билан қопланади.

Электр токи таъсирида ишлайдиган эластик элементлар никель ва кобальт асосидаги қотишмалардан тайёрланади, чунки бундай қотишмалар юқори ҳароратда (800°С) ҳам ишлаш қобилиятини узоқ сақлаб қола олади.

Намунавий назорат саволлари

1. Металларнинг электр ўтказувчанлиги ҳароратга боғлиқми? 2. Ярим ўтказгичлар металлардан ва диэлектриклардан қандай фарқ қилади? Диэлектрикларнинг ўтказувчанлик даражаси нималарга боғлиқ? 3. Ярим ўтказгичларга мисоллар келтиринг ва уларнинг хоссалари нималарга боғлиқ? 4. Магнит материалларнинг синфларини кўрсатинг? 5. Магнит хоссаларига эга бўлмаган (паромагнит) пўлатлар қаерда қўлланилади? 6. Олдинги шаклни эслаб қолувчи пўлатларни яратишнинг принципал усуллари нималардан иборат? Унинг металл турига боғлиқлигини кўрсатинг. 7. Иситиш элементлари қотишмаларида легирловчи элементларнинг аҳамиятини кўрсатинг. 8. Инвар қотишмасидан тайёрланган машина қисмларининг ишончли ишлаганига сабаб нимада? 9. Ҳарорат биметаллари (термобиметаллар) қандай тайёрланади? 10. Бронзалардан ҳам эластик машина воситалари тайёрланидими? Мисоллар келтиринг.

АЛЮМИНИЙ ВА УНИНГ АСОСИДАГИ ҚОТИШМАЛАР

Машинасозлик технологияси ҳамда электротехника саноатида алюминий кенг доирада ишлатилади. Алюминий машинасозлик материаллари ичида ўзининг муҳим хусусиятлари (солиштирма мустаҳкамлиги, электр ва иссиқлик ўтказувчанлиги ҳамда коррозиябардошлиги) билан ажралиб туради. Алюминийнинг физик ва механик хоссалари уни легирлаш орқали яхшиланади. Конструкция материаллар сифатида алюминий қотишмалари дуралюминий, силуминий ва магналинлар, кукун қотишмалар кенг қўлланилади.

Алюминий қотишмалари ишлаб чиқариш технологияси ва термик ишлангандан кейин мустаҳкамлигининг ошишига қараб турли синфларга бўлинади. Алюминий қотишмалари машинасозлик материали сифатида келгусида кенг ишлатилади. Айниқса, кукун металлургияси усули билан олинадиган алюминий қотишмаларининг аҳамияти жуда каттадир. Бундай материаллар юқори мустаҳкамликка, коррозиябардошликка, оловбардошликка эга. Бундай материаллар жавобгарлиги катта бўлган машина воситаларини тайёрлашда кенг қўлланилмоқда ва бир йўла чиқиндисиз технологияни қўлашга имконият яратмоқда. Алюминий қотишмаларини термик ишлаш натижасида унинг мустаҳкамлиги ва технологик хусусиятларини ошириш мумкин.

1. Тоза алюминий ва унинг техникада ишлатилиши

Алюминий оқ-кумуш рангдаги металл бўлиб, ёқлари марказлашган куб катакча асосдаги кристалл панжарага эга ва унинг муҳим хусусиятларидан бири ўртача зичлигининг камлиги ($\gamma=26$. г/см³) ҳамда юқори пластиклик ва электр ўтказувчанликка эгалигидир. Алюминий яхши пайвандланади, босим остида осон ишланади, фақат уни кесиб ишлаш қийин. Суюқ алюминийнинг оқиш хусусиятлари ҳам яхши, бироқ қуймада катта ўлчамдаги чўкма-

ларни ҳосил қилади. Алюминий ҳавода тез оксидлангани учун ундан пўлат устидаги коррозиябардош қопламалар олинади. Алюминийнинг оксидланишидан Al_2O_3 ҳосил бўлади, ундан ҳаво (кислород)нинг ичкарига диффузияланиши қийин. Юзадаги оксид қатлами тез кўчади, аммо алюминийнинг оксидланиши осон бўлганлиги учун дарҳол янги оксид қатлами ҳосил бўлади. Шунинг учун оксид қатлам остидаги юза узоқ вақт оксидланишдан сақланиши мумкин. Унинг механик хоссалари таркибидаги ўзга қўшимчаларнинг миқдорига боғлиқ. Энг тоза ёки махсус тозаликка эга бўлган алюминий таркибида 0,001% қўшимча бўлади (А999), юқори тозаликка эга бўлган алюминий таркибидаги қўшимчаларнинг миқдори 0,005...0,5% бўлади (А995, А99, А97, А95).

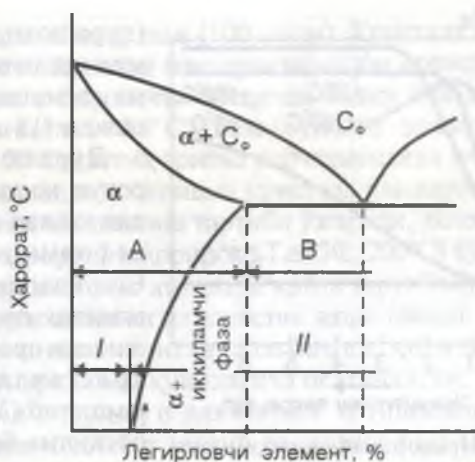
Алюминий машинасозликда ток ва иссиқлик ўтказадиган ҳамда унча катта бўлмаган ҳажмли коррозиябардош воситаларни тайёрлашда қўлланилади. Алюминий юқори механик хусусиятларга эга бўлмаганлиги учун ундан ташқи куч таъсирида ишлайдиган воситалар деярли тайёрланмайди. Қуйма алюминийга қараганда деформацияланган алюминийнинг хоссалари юқори бўлади. Саноатда 2 турдаги деформацияланган (АД ва АД1) алюминий ишлаб чиқарилади.

Техник тозаликка эга бўлган алюминий юпқа тунукасимон (лист), қувур, сим ва бошқа ҳар хил шаклларда чиқарилади. Юқори кучланишга чидамли кабелларни тайёрлашда ҳамда электр ўтказгич тармоқларида алюминийдан жуда самарали фойдаланилади. Озиқ-овқат саноати учун алюминий қотишмаларидан турли идишлар тайёрланади, маҳсулотларни ўраш учун қоғоз (фольга) ўрнида ҳам ишлатилади.

2. Алюминий қотишмалари

Алюминий қотишмалари тоза алюминийга нисбатан яхши механик ва технологик хоссаларга эга. Шунинг учун машинасозлик, самолётсозлик, кемасозлик, қурилиш ва қишлоқ хўжалигида алюминий қотишмалари кенг қўлланилади.

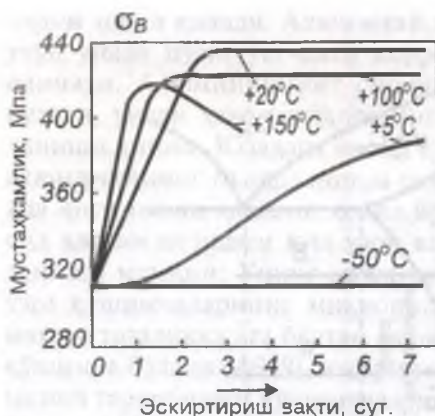
Алюминий легирловчи элементлар билан бир хил кўринишдаги ўзгарувчан таркибли қаттиқ эритмаларни ҳосил



99-рasm. Алюминий-легирловчи элемент тизими ҳолат диаграммасининг умумий кўриниши: A — деформацияланадиган қотишмалар; B — қуйма қотишмалар.

қилади. Шунинг учун улар ҳолат диаграммаси бўйича синфларга ажратилади (99-рasm).

Деформацияланадиган алюминий қотишмаларининг аксарияти яхши технологик хоссаларга эга, пластиклиги юқори ва уларни кесиб ишлаш осон. Шунинг учун улардан турли шаклдаги ярим фабрикатларни ишлаб чиқариш мумкин, масалан, қоғозлар (фольга), листлар, чивиклар, трубалар, қобирғали панеллар, турли кўндаланг кесимдаги симлар, болғалаш ва штамплаш маҳсулотлари. Бундай заготовкalar материални совуқлайин ёки иссиқлайин босим остида ишлаш усули билан олинади (пресслаш, экструзердан ўтказиш, болғалаш, штамплаш, жувалаш ҳамда волочирлаш). Заготовкalarни пластик деформациялаш йўли билан олиш самарали технологик жараён бўлибгина қолмай, балки алюминий қотишмаларини мустаҳкамлигини ошириш усули ҳамдир. Лекин деформацияланадиган алюминий қотишмаларининг ичида термик ишлов натижасида мустаҳкамлиги ошмайди-ган (I) ва ошадигани (II) ҳам бор (99-рasmнинг A қисми). Масалан, $Al-C-Mg-Mn$ туркумга кирувчи қотишмалар



100-расм. Дуралюминий мустаҳкамлиги (σ_b) нинг эскиртириш вақти ва ҳароратга боғлиқлиги графиги.

(дуралюминий) термик ишланганда уларнинг мустаҳкамлиги ошади (18-жадвал).

Дуралюминийлар совуқ ҳолда ҳам, иссиқ ҳолда ҳам яхши деформацияланади. Совуқлайин деформациялаш одатда жараённинг орасида қайта кристаллаш билан юмшатиб ($350...370^\circ\text{C}$), босқичма-босқич олиб борилади.

18-жадвал

Дуралюминийларнинг таркиби ва хоссалари

Қотишма-нинг тури	Қотишма таркибидаги элементлар, %			Термик ишловдан кейинги механик хоссалар		
	Cu	Mg	Mn	$\sigma_{0.2}$	σ_b , МПа	δ , %
Д1	4,3	0,6	0,6	240	400	20
Д16	4,3	1,5	0,6	330	410	18
Д19	4,3	2,0	0,75	310	425	18

Мис алюминийда эрийди ҳамда CuAl_2 оралиқ фазани ҳам ҳосил қилади. Оддий ҳароратда мис 0,2% гача эриса, юқори ҳароратда қарийб 5,6% гача эрийди. Дуралюминийларни термик ишлаш усули билан мустаҳкамлаш учун улар тоблаб, эскиртирилади. Бунинг учун қотишма $495...505^\circ\text{C}$ гача қиздирилади ва сувда совитилади, сўнгра 5...6 кун уй ҳароратида ушлаб турилади, яъни табиий эскиртирилади. Эскиртириш натижасида мустаҳкамлик янги тобланган қотишмага қараганда қарийб 70...75% га ошади. Тобланган дуралюминий мустаҳкамлигининг эскиртиш ҳароратига ва вақтига боғлиқлиги 100-расмда кўрсатилган.

Миснинг алюминийдаги қаттиқ эритмасининг (α — қаттиқ эритма) эскиртириш жараёнида парчаланиши натижа-

сида мустаҳкамлик ортади (100-расм). Кристалл панжарада бир текисда жойлашган мис атомларининг қотишмадан ажралиб чиқиши бир нечта босқичда содир бўлади. Табиий эскиртиришда ($+20^{\circ}\text{C}$) ёки сунъий эскиртиришда ($T < +100 \dots 150^{\circ}\text{C}$) қаттиқ эритма парчаланмайди (оралиқ фаза ажралиб чиқмайди), қотишма кристалл панжарасидаги мис атомларининг жойлашиш тартиби ўзгаради, холос. Агар эскиртириш ҳарорати юқори ($T \geq 150 \dots 200^{\circ}\text{C}$) бўлса, кристалл панжарадаги мис атомлари қайта тартибланади. Бунда коррозиябардошлик ва пластиклик яхшиланади.

Деформацияланадиган алюминий қотишмаларини тамғалаш (маркалаш) қуйидагича белгиланган: “Д” ҳарфи дуралюминий туридаги алюминий қотишмасига ишора, ундан кейинги сонлар тартиб рақамини белгилайди: “А” ҳарфи белгиси билан бошланадиган тамғалар (АД, АДІ) — техник алюминий эканлигини билдиради; “АК” — болгаланадиган (ковочный) алюминий қотишмаси; агар тамғада алоҳида “В” ёки “А” ҳарфи билан биргаликда “В” ҳарфи ҳам келса қотишма юқори мустаҳкамликка эга эканлигини билдиради. Баъзида тамғанинг охирида қотишма ҳолатини билдирувчи белгилар қўйилади. Масалан “М” қўйилса қотишма юмшоқ (юмшатирилган)лигини билдиради (Масалан Д 16М); “Т” — термик ишланганлиги (тоблаб, эскиртирилган); “Н” — пластик деформацияланган (нагартовка ўтказилган, масалан Д16Н) ва ҳ.к. 19-жадвалда деформацияланадиган алюминий қотишмаларига мисоллар келтирилган.

Дуралюминийлар самолётсозликда кенг қўлланилади, масалан, Д1 қотишмадан самолёт винтелларининг парраклари, Д16 дан эса фюзеляжларнинг юк кўтарувчи қисмлари ясалади.

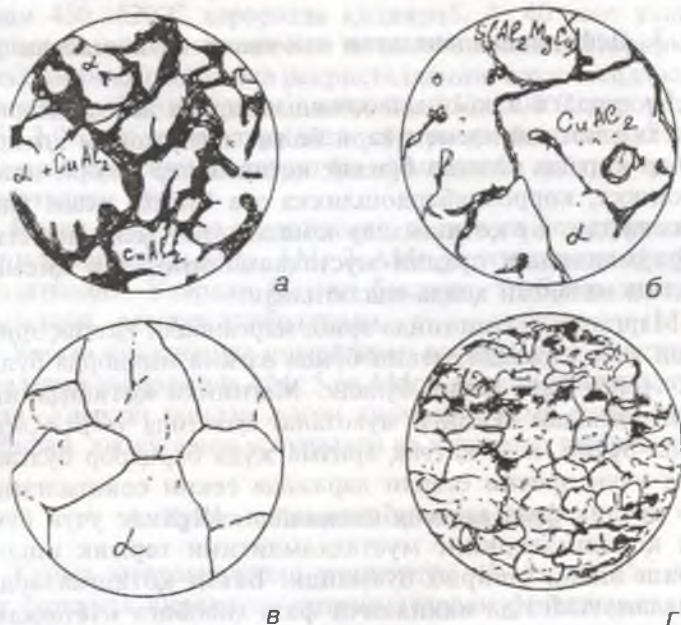
Юқори мустаҳкамликка эга бўлган алюминий қотишмаси (В95, В96 мураккаб таркибли қотишма бўлиб, Al—Zn—Mg—Cu туркумга кириди. Қўшимча равишда улар яна марганец ва хром билан легирланади. Бундай қотишмалар $460 \dots 480^{\circ}\text{C}$ га қиздирилиб, сўнгра сунъий эскиртирилади ($120 \dots 140^{\circ}\text{C}$). Бунда мустаҳкамлик σ_b $600 \dots 700$ МПа га етади. Бу қотишмаларнинг мустаҳкамлиги дуралюминийга қараганда юқори бўлса ҳам, пластиклиги анча кам, ички кучланишнинг йиғилиши ва коррозияга мойиллиги

Деформацияланадиган алюминий қотишмаларидан мисоллар

Қотишма тэмгеси	Легирловчи элементлар миқдори, %						тоблаб, эскиртирилгандан кейинги механик хоссаеси			
	Cu	Mg	Mn	Si	бошқа элементлар		МПа			б, %
							σ_{b2}	$\sigma_{0.2}$	σ_{-1}	
Дуралюминийлар: Д1, Д16	3,8...4,8 3,8...4,9	0,4...0,8 1,2...1,8	0,4...0,8 0,3...0,9	—	—	—	320 400	490 540	— 125	14 11
Аниал қотишмасы (қавс ичинда босқич остида ишланган) АВ	0,1...0,5	0,45...0,9	0,15...0,35	0,5...1,2	—	—	300(200)	380(260)	—	12(15)
Юқори мустаҳкам қотишма В95	1,4...2,0	1,8...2,8	0,2...0,6	—	5...7 Zn 0,1...0,25 Cr	—	530...550	560...600	156	8
Болғаланмадиган қотишмалар Ах6 Ах8	1,8...2,6 3,9...4,8	0,4...0,8 0,4...0,8	0,4...0,8 0,4...1,0	0,7...1,2 0,6...1,2	—	—	300 380	420 480	—	12 10
Оловбардош қотишма АК4—1 Д20	1,9...2,5 6...7	1,4...1,8 —	— 0,4...0,8	0,35 —	0,8...1,4 Fe 0,8...1,4 Ni 0,02...0,17 Ti 0,1...0,2 Ti	—	280 250	430 400	—	13 12

ҳам бор. Шунинг учун уларнинг коррозиябардошлигини ошириш учун юзалари $Al+1\% Zn$ билан қопланади. Юқори мустаҳкамликка эга бўлган қотишмалар ҳарорат ($T>120^{\circ}C$) таъсиридаги ташқи муҳитда ишлайдиган конструкцияларни тайёрлашда ишлатилади.

Юқори ҳарорат таъсирида хоссаларини йўқотмасдан узок вақт ишлайдиган алюминий қотишмалари ҳам бор. Термик ишланадиган бундай қотишмаларга оловбардош (АК—4, АК 4—1) қотишмалар киради. Улар мураккаб таркибга эга ва $300^{\circ}C$ гача ишлай олади. Қотишмалар таркибидаги темир, никель, мис ва бошқа элементлар қотишманинг мустаҳкамловчи фазаларини, яъни интерметаллит ($CuAl_2$, $CuMgAl_2$, Al_2MnCu ва ҳоказо)ларни ҳосил қилади (101-расм). Қотишма мис, марганец, титан элементлари билан легир-



101-расм. Алюминий қотишмалари микротузилиши. а— $Al-Cu$ туркумидаги қуйма алюминий (α — қаттиқ эритма, $\alpha+CuAl_2$ автэктик механик аралашма ҳамда $CuAl_2$ интерметаллит; б — Д16 қуймаси (α — қаттиқ эритма ва $S(Al_2MgCu)$ интерметаллит); в — деформацияланадиган Д16 қотишмаси тоблангандан кейин (α — тўйинтирилган қаттиқ эритма); г — Д16 қотишмани тоблаб, сўнгра эскиртирилгандан кейинги ҳолати.

ланганда диффузион жараёнларни тўхтатиш ҳисобига оловбардошликка эришилади. Оловбардош қотишмалардан тайёрланган машина воситалари тобланиб, сўнгра сунъий эскиртирилгандан кейин ишлатилади.

Болғалаш ва штамплаш усули билан ишлов бериладиган қотишмалар (АК6, АК8) яхши пластикликка эга. Уларга босим остида иссиқлайин ишлов берилганда дарзлар ҳосил бўлмайди. Бундай қотишмалар $Al-Cu-Mg$ туркумига киради. Уларга қўшимча сифатида кремний қўшилади. Уларни $450...475^{\circ}C$ да қиздириш билан болғаланади ва штампланади. Улардан ўрта кучланишда ишлайдиган машина воситалари тайёрланиб, тобланади ва эскиртирилади, кейин ишлатилади.

3. Деформацияланадиган алюминий қотишмалари

Бу турдаги алюминий қотишмаларига асосан марганец ёки магний элементлари билан легирланган қотишмалар киради. Одатда бундай қотишмалар юқори пластикликка, коррозиябардошликка эга бўлиб, яхши пайвандланади. Бу қотишмалар юмшатиш ҳолда пластик деформациялаш орқали мустаҳкамланган ёки қисман мустаҳкамланган ҳолда ишлатилади.

Марганец алюминийда эриб, марганецли қаттиқ эритмани ҳосил қилади, лекин бунда озгина миқдорда бўлса ҳам Al_6Mn фаза ҳосил бўлади. Магнийли қотишманинг совитилгандан кейинги мувозанат ҳолатида $\alpha+\beta(Al_3Mg_2)$ ҳосил бўлиб, α — қаттиқ эритма жуда барқарор бўлганлиги учун эритма етарли даражада секин совитилганда ҳам оралиқ фаза ажралиб чиқмайди. Шунинг учун бундай қотишмаларнинг мустаҳкамлигини термик ишлов бериш билан ошириб бўлмайди. Баъзи қотишмаларда, масалан, $AMg5$ да иккиламчи фаза ҳисобига мустаҳкамлик ошиши мумкин (20-жадвал), Алюминий — магний қотишмасини қўшимча равишда марганец билан легирланганда майда доначали Al_6Mn нинг ҳосил бўлиши ҳамда доначанинг майдаланиши ҳисобига мустаҳкамлик ошиши мумкин. Бу жадвалдаги қавс ичидаги сонлар пластик деформациядан кейинги мустаҳкамликни кўрсатади.

**Термик ишлов натижасида мустаҳкамлиги ошмайдиган
алюминий қотишмалари**

Қотишма- нинг тури	Қотишманинг* таркиби, % ҳисобида		σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
	Mn	Mg			
АМц	1,0...1,6	—	130 (170)	50 (130)	23(10)
АМг 2	0,2...0,6	1,8...2,8	200 (150)	100 (200)	23(10)
АМг 3	0,3...0,6	3,2...3,8	200	110	20
АМг 5	0,3...0,6	4,6...5,8	300	150	20
АМг 6	0,5...0,6	5,8...6,8	300 (400)	150 (300)	13(10)

Бундай қотишмалардан қуймалар ҳам олиш мумкин. Лекин бунда дендрит ликвациясини йўқотиш учун қуймани 450...520°C ҳароратда қиздириб, 4...40 соат ушлаб турилади, сўнгра ҳавода ёки печда совитилади. Деформацияланган қотишма эса рекристалланиш натижасида юмшатилади. Бунинг учун заготовка 350...500°C ҳароратда 0,5...2,0 соат ушлаб турилади, сўнгра ҳавода совитилади. Шундай қилинганда структура мувозанатга қайтиб, майда дончалари бўлади.

Енгил шароитда ишлайдиган восита ва конструкциялани тайёрлашда АМц, АМг 2, АМг 3 қотишмалар кўпроқ ишлатилади. Улардан бензин баклари, трубалар, палуба қисмлари, ромлар тайёрланади.

Ўртача қучлинишда ишлайдиган воситалар ва конструкцияларни тайёрлашда АМг 5 ва АМг 6 қотишмалар ишлатилади. Улардан ромлар, вагон қисмлари, кема анжомлари, лифтлар, юк кўтариш ускуналари ва ҳоказолар тайёрланади.

4. Қуйма алюминий қотишмалари

Қуйма заготовкаларни олиш учун $Al-Si$, $Al-Cu$, $Al-Mg$ туркумга кирадиган қотишмалардан фойдаланилади. Қотишманинг механик хоссаларини яхшилаш учун у қўшимча равишда титан, цирконий, бор, ванадий элементлари билан легирланади. Қуйма алюминий қотишмаларининг муҳим хусусияти — суёқ ҳолда яхши оқиши, қотгандан кейин кам чўкма ҳосил бўлишлиги ҳамда яхши механик хоссаларга эга бўлишидир.

Куйма алюминий қотишмаларига бериладиган термик ишлов натижасида механик хоссалар ортади, кесиб ишлаш осонлашади. Алюминий қотишмаларига термик ишлов бериш технологиясини бир неча тур (туркум)ларга бўлиш мумкин. Бу туркумлар бажариладиган тартибга кўра шартли равишда $T_1, T_2, \dots T_8$ деб белгиланади.

Қотишма механик хоссаларини ошириш ҳамда технологик хоссаларини яхшилаш мақсадида 175°C ҳароратда 5...20 соат ушлаб турилади (T_1) Кристалланиш жараёнида вужудга келган термик ички кучланишларни йўқотиш ва қотишма пластиклигини ошириш мақсадида (300°C да 5...10 соат давомида) юмшатиш ўтказилади (T_2). Мустақамликни ошириш мақсадида тоблаб, эскиртирилади. Бундай термик ишловни T_3, T_4, T_5, T_6 туркумдаги режаларда ўтказиш мумкин. Бу туркум режаларининг ҳаммасида ҳам тоблаш ҳарорати $510\text{...}545^\circ\text{C}$ га тенг, бу режалар эскиртириш ҳарорати ва вақти билан бир-биридан фарқ қилади ($150\text{...}200^\circ\text{C}$, 2...5 соат). Структура ва ҳажмни барқарорлаштириш учун қотишма тобланиб, ($230\text{...}250^\circ\text{C}$ да 3...10 соат) бўшатилади (T_7). Пластикликни ошириш ҳамда ўлчамларни барқарорлаштириш учун қотишма бирданига ҳам тобланади ($240\text{...}260^\circ\text{C}$ ҳароратда 3...5 соат ушлаб турилади), ҳам бўшатилади.

Кремнийли қотишма амалиётда кўп қўлланилади. Алюминийнинг кремний билан ҳосил қилган қотишмаси силуминийлар деб аталади (21-жадвал). Бундай қотишмаларнинг структурасида эвтектика бўлгани учун суяқ ҳолда яхши оқади, натижада қолини яхши тўлдиради, яъни қуйманинг геометрик ўлчамлари аниқлиги ортади ҳамда чўкманинг ҳажми кичик бўлади. Силуминийлар яхши кесиб ишланади, уларни пайвандлаш ҳам мумкин. Бу қотишмалар майда ва йирик заготовкаларни олишда ишлатилади. Силуминийлар АЛ2 (10...13% Si); АЛ4 (8...10% Si) деб белгиланади. Баъзи $Al-Si$ туркумдаги қуйма алюминий қотишмалари (АЛ7 ва АЛ19) термик ишлангандан кейин юқори механик хоссаларга эга. Бу қотишма кичик ва нисбатан юқори ҳароратда яхши ишлай олади, лекин технологик хоссалари унча яхши эмас (катта ҳажмли чўкма ва дарзлар ҳосил қилади). Шунинг учун бу қотишмалардан асосан майда заготовкalar олинади.

Al—Mg туркумдаги қотишмалардан ҳам қуйма заготов-калар олиш анча қийин. Лекин бундай қотишмаларнинг коррозиябардошлилиги яхши, улар юқори механик хос-саларга эга, яхши кесиб ишланади. Масалан, АЛ8 ва АЛ27 қотишмалар нам ҳаво шароитида ишлайдиган қуйма за-готовкалар олишда (кемасозликда, самолётсозликда) ишлатилади. Қуйма олингандан кейинги структура α — қаттиқ эритма билан Al , Mg_2 оралиқ фазадан иборат бўла-ди. Лекин қаттиқ қушимча доначаларнинг чегарасида жойлашгани учун қотишма мурт бўлади. Шунинг учун АЛ8 ва АЛ27 лардан фойдаланиш учун қотишма тобла-ниб, эскиртирилади. Термик ишлаш учун қотишма $430^{\circ}C$ гача қиздирилиб, шу ҳароратда 12...20 соат ушлаб тури-лади, ана шундай қилинганда Al, Mg_2, α — қаттиқ эритма-да эрийди, натижада бир хил таркибли қаттиқ эритма ҳосил бўлади. Агар АЛ—Mg туркумдаги қотишмага 1,5% гача кремний қушилса (АЛ 13, АЛ 22), уламчи эвтектика ҳосил бўлади, натижада қотишманинг қуйиш хусусиятлари ях-шиланади. Бу қотишмалар ҳам кемасозликда, самолётсоз-ликда кенг қўлланилади.

Оловга чидамли қотишмалардан (АЛ 1, АЛ 20, АЛ 21) ички ёнув машиналари поршенлари, блоклари, блок қоң-қоқлари тайёрланади. Бу қотишмалар $275...350^{\circ}C$ ҳаро-ратда ўз хусусиятларини сақлаган ҳолда ишлай олади. Бундай қотишмалар мураккаб таркибга эга, қуйма струк-тураси таркибида α — қотишма билан бир қаторда $Al_2 Si$, Mg , $Al_6 Si$, Ni ва алоҳида оралиқ фазалар (S — фаза) ҳам бўлади. Қуйма заготовкалар тобланади ва эскиртирилади (T_7). Масалан, поршенлар тайёрлаш учун қотишма тоб-ланиб, $290^{\circ}C$ да эскиртирилади. Натижада S — фаза α — қаттиқ эритмада эриб, бир хил таркибли структурани ҳосил қилади.

Оловга чидамли алюминий қотишмалари қушимча ра-вишда Fe, Ti, Mn лар билан легирланса, технологик ва механик хоссалар яхшиланади (АЛ20 АЛ21). Масалан, ана шундай мураккаб легирланган АЛ21 қотишмадан $300...350^{\circ}C$ да ташқи куч таъсири остида узоқ муддат ишлай оладиган йирик ва мураккаб шаклдаги заготовкalar тай-ёрланади. Уларни $525^{\circ}C$ да сувда тоблаб, барқарорлашти-риш учун $350^{\circ}C$ да эскиртирилади (T_7), механик хоссалар яна ҳам яхшиланади.

Қуйма алюминий қотишмаларининг таркиби ва хоссалари (ГОСТ 2685—75)

Қотишма тэмјәси	Элементлар микдори, %						Термик иш- лаш тури	Механик хоссалар		
	Mg	Si	Mn	Cu	бошқа элементлар			σ_s	$\sigma_{0.2}$	δ , %
Al—Si қотишмәси АЛ2 АЛ4 АЛ9	— 0,177...0,3 0,2...0,4	10...13 8...10,5 6...8	— 0,25...0,5 —	— — —	— — —	— $\leq 0,15 Ti$ $\leq 0,1 Be$ $\leq 0,15 Ti$ $\leq 0,1 Be$	T2 T1 T6 T4 T5	180 180 260 200 220	90 140 200 140 160	5 2 4 5 3
Al—Cu қотишмәси АЛ7 АЛ19	— —	— —	— 0,6...1	4...5 4,5...5,3	— —	— 0,2 Ti 0,15—0,35 Ti	T4 T5 T4 T5	240 260 320 360	160 200 180 250	7 3 9 5
Al—Mg қотишмәси АЛ8 АЛ27	9,5...11,5 9,5...11,5	— —	— —	— —	— —	$\leq 0,07 Ti$ 0,05...0,15 Ti 0,05...0,22 Zr 0,05...0,15 B	T5 T4	350 360	170 180	10 18
Однobarнон қотишмәлар АЛ11 АЛ21 АЛ33	1,25...1,75 0,8...1,3 —	— — —	— 0,15 0,25 0,6...1,0	3,75—4,5 4,6...6 5,5...6,2	— — —	Ni=1,75...2,25 Cr=0,1...0,25 Ni=2,6...3,6 Ni=0,8...1,2 Zr=0,05...0,2 Ge=0,15...0,3	T5 T7 T2 T7 T7	260 220 210 220 280	200 180 — 200 180	0,6 1,2 1,2 1,5 2,0

5. Алюминий кукуни қотишмалари

Кукун металлургияси асосида олинган — алюминий қотишмалари мустаҳкамлиги, хоссаларининг юқори ҳароратга барқарорлиги ҳамда коррозиябардошлилиги жиҳатидан қуйма алюминий қотишмаларидан устун туради.

Пишитилган алюминий кукуни материали кукун алюминий билан алюминий оксид (Al_2O_3) нинг аралашмасидир. Кукун алюминий суюқ алюминий металлани азотли муҳитга сенишдан ҳосил бўлган шарчаларни махсус тегиримонда майдалаш усули билан олинади. Майдалаш жараёнида ҳосил бўлаётган кукун заррачаларининг устки қисми 0,01—0,1 мкм қалинликда оксид парда билан қопланади. Пишитиш учун ишлатишга тайёр бўлган кукуннинг таркибида 6...22% Al_2O_3 бўлиши керак.

Кукун ҳолдаги материалларни совуқдайин босим остида ишлаб, чала маҳсулот ҳосил қилинади. Пишитиш 590...620°C да катта босим (260...400 МПа) остида олиб борилади. Ана шундай усул билан олинган маҳсулот бир хил таркибли структурага эга, яъни бир текис жойлашган Al_2O_3 доначаларини Al бириктириб туради. Демак, алюминий богловчи материал вазифасини бажаради. Оксид доначалари дислокациянинг кўчишига тўсқинлик қилади. Шунинг учун бундай материалларнинг мустаҳкамлиги юқори бўлади. Бундай материаллар пишитилган алюминий кукуни (САП) дейилади (22-жадвал).

Пишитилган алюминий кукуни материалларидан ишлаш ҳарорати 500°C дан ошмайдиган шароитларда ишлайдиган коррозиябардош, мустаҳкам машина воситалари тайёрланади.

Кукун қотишмалари таркибида алюминий ва унинг оксидидан ташқари бир қатор легировчи элементлар ҳам бўлади (темир, никель, хром, марганец, мис ва ҳоказо). Қуйма алюминий қотишмаларига қараганда кукун қотишмаларнинг хоссалари юқори ҳароратда устун тургани билан пластиклиги кам; САП—1 пишитилган кукун қотишманинг таркибида 25...30% Si ва 7% Ni бўлиб, у машина-созликда, ўлчов асбобсозлигида кенг ишлатилади ($\sigma_b=220...240$ МПа, $\sigma_T=210...230$ МПа, $\delta=0,5\%$).

**Пиштилган алюминий кукунининг (САП) таркиби
ва хоссалари**

Намунавий назорат саволлари

Материал- нинг тури	Материал тарки- бидаги Al_2O_3 миқдори, %	Синаш ҳарорати, °C	Хосса курсаткичлари		
			σ_s , МПа	σ_t , МПа	δ %
САП—1	6...9	20	290	220	7
		350	150	130	8
		500	70	55	2,5
САП—2	9,1...13	20	350	280	4
		350	170	140	3
		500	100	70	2,5
САП—3	13,1...17	20	410	320	3
		350	190	150	1,5
		500	120	90	1,5
САП—4	18...22	20	450	370	1,5
		500	130	100	1,3

1. Алюминийнинг асосий хоссалари нималардан иборат? Тоза алюминийни ишлатиш соҳаларидан мисоллар келтиринг.
2. Деформацияланадиган ва қуйма алюминийлар қандай фарқланади? 3. Деформацияланадиган алюминийга термик ишлов бериладими? 4. Деформацияланадиган алюминий қотишмаларига нима мақсадда юмшатиш берилади? 5. Деформацияланадиган алюминий қотишмасига бериладиган тоблаш маҳоратини кўрсатинг. 6. Дуралюминий қандай тамғаланади? Мисоллар келтиринг. 7. Қуйма алюминийга термик ишлов бериладими? 8. Пиштилган алюминий қотишмаларининг юқори мустаҳкам ва оловбардошлигининг сабаби нимада?

17-боб.

МАГНИЙ ВА УНИНГ АСОСИДАГИ ҚОТИШМАЛАР

Магний жуда енгил металл бўлиб, оч кулранг кўри-нишга эга, унинг зичлиги эса $1,74 \text{ г/см}^3$ га тенг. Гексого-нал кристалл панжарага эга бўлиб, кимёвий фаоллиги кат-та, ҳатто ҳавода ўз-ўзидан ёнади. Техник тозаликка эга бўлган магнийнинг учта тамғаси маълум: Мг 90 (99,90% Mg), Мг 95 (99,95% Mg) ва Мг 96 (99,96% Mg). Қуйма

магнийнинг механик хоссалари қуйидагича: $\sigma_b=115$ МПа; $\sigma_{0.2}=25$ МПа, $\delta=8\%$, HB=110 МПа. Деформацияланган (прессланган чивик) — магнийнинг механик хоссалари қуйидагича; $\sigma_b=200$ МПа; $\sigma_{0.2}=90$ МПа; $\delta=11,5\%$; HB=40 МПа.

Магнийнинг Al, Zn, Mn, Zr билан ҳосил қилган қотишмалари маълум. Магний қотишмаларининг ҳолат диаграммалари алюминий қотишмалариникига ўхшаш бўлиб, улар ҳам деформацияланадиган ва қуйма қотишмаларга бўлинади. Шунинг учун термик ишлов туркумлари алюминий қотишмаларига бериладиган термик ишлаш туркумига ўхшаш. Магний қотишмаларига тоблаш ва эскиртириш берилгандан кейин мустаҳкамлик бир оз ошади. Қотишмаларни тоблаш учун 380...420°C, эскиртириш учун эса 200...300°C қиздирилади.

Магний қотишмаларини термик ишлаш хусусияти шундан иборатки, уларда диффузион жараён секин борганлиги учун, тоблаш ҳароратида кўпроқ (4...24 соат) ушлаб туришга тўғри келади. Эскиртириш ҳароратида ҳам узоқ вақт (16...24 соат) ушлаб турилади. Бунинг натижасида деформацияланган қотишманинг σ_b кўрсаткичи 10...30% ва қуйма қотишманики 30...60% га ошади.

Магний қотишмаларидан автомашина, самолёт, йигирув ва тўқимачилик дастгоҳлари воситаларини тайёрлашда кенг қўлланилади.

1. Магний қотишмалари

Магний қотишмалари алюминий қотишмалари каби зичлиги кам, юқори мустаҳкамликка эга, тебранишни яхши ютадиган материаллардир. Шунинг учун бу материаллар авиация ва ракета техникасида кенг қўлланилади. Лекин қотишманинг эластиклик модули кичкина (43000 МПа) ва коррозияга қаршилиги ҳам кам (23-жадвал). Шунингдек, уларни босим остида ва қуйиш усули билан қайта ишлаш қийин. Магний қотишмаларини фақат муҳофаза муҳити сифатида инерт газлар ёрдамида электр ёй ёки контакт усули билан қониқарли даражада пайвандлаш мумкин, яхши кесиб ишланади. Кўпроқ маг-

ний алюминий ($\leq 10\%$), цинк ($\leq 5...6\%$) марганец ($\leq 2,5\%$), цирконий ($\leq 1,5\%$) каби элементлар билан легирланади.

Марганецдан бошқа легирловчи элементлар α — қаттиқ эритма ва интерметаллитлар ($Mg, Al_3, MgZn_2$) ҳисоби-га механик хоссаларни оширади. Марганец магний қотишмаларининг пайвандлаш хусусиятини яхшилайдиган ва коррозиябардошлигини оширади. Цирконий ҳам коррозиябардошлигини оширади, лекин доначаларни майдалаш ҳисобига механик хусусиятларни яхшилаш устун туради. Магнийга бошқа легирловчи элементлар жуда кам миқдорда қўшилганда қўшимча равишда хоссаларини яхшилаши мумкин. Масалан, торий элементи оловбардошлигини оширади, жуда оз миқдорда ($0,005...0,012\%$) бериллий қўшилса магнийни эритишда, қуйма олишда, термик ишлашда оксидланишини камайтиради.

Магний қотишмаларини қайта ишлаш маҳоратига кўра уларни икки гуруҳга бўлиш мумкин: 1) Қуйиш учун муҳажалланган қотишмалар: улардан шаклдор қуймалар олинади ва уларни “МЛ” тамга (русум) билан белгиланади; 2) Деформацияланадиган қотишмалар: улардан преслаш, жувалаш, болғалаш, штамплалаш ва бошқа босим остида ишлаш усуллари билан буюмлар ишлаб чиқарилади ва “МА” русум берилган. Магний қотишмаларига, алюминий қотишмалари каби термик ишлов берилади. Бундай термик ишловларга диффузион юмшатиш (гомогенлаш), тўла юмшатиш, тоблаш ва эскиртириш киради. Йирик қуймалар ва шаклдор буюмлар қуйма усулида олинганда диффузион юмшатиш берилади. Бунинг учун қуйма печларда $400...490^\circ\text{C}$ атрофида қиздирилиб, шу ҳароратда $10...24$ соат ушлаб турилади, сўнгра печь билан биргаликда совитилади.

Гомогенлашдан асосий мақсад, доначаларнинг ажралиш юзларида тўпланиб қолган ортиқча фазаларни эритиш ҳисобига бутун ҳажм бўйича таркибни барқарорлаштиришдан иборат. Натижада механик хоссалар, ошиб, барқарорлашади ва кесиб ишлаш осонлашади.

Босим остида ишлашда ҳосил бўладиган пачоқланиш (наклеп) ни ҳамда механик хоссаларнинг анизотропиясини йўқотиш учун магний қотишмаларига $250...350^\circ\text{C}$ да қиздириб, рекристаллизацион юмшатиш берилади.

Бир қатор магний қотишмаларига тоблаш ва эскиртириш берилади. Диффузион жараёнларнинг секин бориши магний қотишмаларига хос бўлганлиги учун уларда фаза ўзгариши секин боради. Шунинг учун ҳам тоблаш учун (4...24 соат) ва эскиртириш учун қиздирилганда (15...20) соат кўп вақт сарф қилинади ва шу сабабли ҳам ҳавода тоблаш мумкин бўлади. Магний қотишмаларидан олинган кўпгина қуймаларда ёки иссиқлайин босим остида ишланганда ҳавода совитилса тоблаш жараёни ўтади, шунинг учун ҳам қўшимча қайта қиздириш талаб этилмаган ҳолда сунъий эскиртириш ўтгандай бўлиб, мустаҳкамлик ортади. Гомогенлаш ва тоблаш ўтказиш учун 380...540°C (Т4) ва сўнгра эскиртириш ўтказиш учун эса 150...200°C (Т6) га қиздириш керак бўлади.

Эскиртириш натижасида магний қотишмаларини мустаҳкамчилигини атиги 20...35 фоизга ошириш мумкин. Пластиклиги эса сезиларли даражада камаёди, шунинг учун баъзида фақат, механик хоссаларини яхшилайдиган гомогенлаш ва тоблашнинг ўзи билан чегараланади.

2. Қуйма магний қотишмалари

23-жадвалда магний қотишмалари таркиби, механик хоссалари ҳамда қўллаш соҳасига мисоллар келтирилган. Қуймалар олишда кўпроқ юқори механик ва технологик хоссаларга эга бўлган МЛ5, МЛ6 қотишмалари кенг қўлланилади. Бу қотишмаларда ўлчамлари катта ва юқори кучланишга ишлайдиган буюмлар тайёрланади. Лекин МЛ5 га қараганда МЛ6 нинг суяқ ҳолда оқувчанлик хусусияти яхшироқ.

Бу қотишмаларнинг гомогенлаш усули билан механик хоссаларини кўтариш мумкин. Бунинг учун қотишмани 420°C қиздириб, шу ҳароратда 12...14 соат ушлаб турилади ва ҳавода тобланади (Т4). Янада юқори механик хоссага эга бўлиш учун МЛ5 қотишмани қўшимча 175°C да ва МЛ6 учун 190°C да 4...5 соат ушлаб эскиртириш бериш керак (Т6). МЛ 10 оловбардош қотишма бўлиб, 300°C ҳарорат атрофидаги шароитда ишлайдиган буюмлар тайёрланади. Бундай қотишма гомогенлангандан кейин

593°C га қиздириб тобланади ва сўнгра 200°C қиздириб (12...16 соат) сунъий эскиртирилади (Т6).

МЛ12 яхши механик хусусиятларга эга бўлиш билан биргаликда яхши коррозиябардош ва қуйиш хусусиятларига эгадир. Термик ишлаш (Т6) натижасида унинг хоссаларини янада ошириш мумкин. Қуйма магний қотишманинг доначалари қанча майда бўлса, механик хоссалари яхши бўлади. Масалан, алюминийли қотишманинг доначаларини майдалаш учун ўта қиздириш зарур ёки 1% гача мел, айрим ҳолда магнезит қўшиб легирлаш керак. Бунда суюқликда эриши қийин бўлган, қаттиқ эритманинг кристалланиши учун тайёр марказ ролини бажарувчи заррачалар (Al_3Fe , Al_4C_3) ҳосил бўлади.

Магний қотишмаларини эритишда ва қуймалар олишда қотишма ёниб кетмаслиги учун зарур чоралар қўриш керак. Бунинг учун қотишма темир қозон (тигель)да эритилиб, эритма флюс (купик) остида бўлиши керак, қуйиш вақтида эса оқиб тушаётган суюқлик устига олтингугурт кукунни сепилса, ҳосил бўлаётган олтингугурт гази уни ёнишдан сақлайди. Қум тупроқли қолипларга қуйиляётганда оксидланишни камайтириш учун қум тупроқ таркибига махсус қўшимча, масалан алюминийнинг фторли тузи қўшилади.

3. Деформацияланадиган магний қотишмалари

Деформацияланадиган қотишмаларни жувалашда, тунука, шаклдор буюмлар олишда, поковка ва штамплашда иссиқлайин пластик деформацияланади. Гап шундаки, магний қотишмаларининг кристалл тузилиши гексогонал панжарага эга бўлиб, паст ҳароратда мустаҳкамлиги кам, чунки силжиш фақат базис текислигидаги (0001) юзалар бўйича бўлади. Агар қотишмаларни 200...300°C га қиздириб босим остида ишланса, қўшимча равишда силжиш юзалари (1011) ва (1120) пайдо бўлади, натижада пластиклик ортади. Шу сабабли қотишмаларни юқори ҳароратда босим остида ишланади. Лекин деформация тезлиги қанча кам бўлса, магний қотишмаларининг технологик пластиклиги шунча юқори бўлади. Қотишма таркибига қараб, масалан прес-

слашни 300...480°C, жувалашни эса 340...440°C да бошлаб 220...250°C да тамомлаш керак. Штамплаш ёпиқ штамп-ларда ўтказилиб, қотишмани 480...280°C га қиздириш керак. Лекин бунда механик хоссаларнинг катта анизотропиясига эга бўлинади. Совуқлайин пластик деформациялаш-да эса кўплаб оралиқ рекристаллизацион юмшатиш ўтказишга тўғри келади.

Деформацияланадиган магний қотишмалари (23-жадвал) ичида МА1 юқори технологик пластикликка эга, яхши пайвандланади ва коррозиябардошдир. Лекин механик хоссалари бўйича мустаҳкамлиги кам қотишмалар қаторига киради. Бу қотишмага қўшимча равишда 0,2%Ge (МА8) қўшилса, майда донаторликка эга бўлади, механик хоссалар ҳам ошади, совуқ ҳолда деформациялаш мумкин бўлади.

МА2-1 қотишма $Mg-Al-Zn$ туркумига кириб юқори механик хоссаларга эга, яхши пайвандланади. Лекин жўвалаш ва лист штамплаш осон бўлган ҳолда кучланиш ҳолатида коррозияланишга мойиллиги бор.

МА14 қотишма ҳам юқори механик хоссага эга бўлиб, 250°C дан пастда оловбардош ҳисобланади ва кучланиш ҳолатида коррозияга мойиллиги йўқ (коррозиябардош). Лекин иссиқлайин жўвалашда дарзлар ҳосил бўлиши мумкин. Қотишмани 160...170°C қиздириб эскиртириш (Т5) орқали хоссаларини яхшилаш мумкин. Бирламчи тоблаш-ни пресслаш ҳароратидан ҳавода совитиш мумкин. Коррозияга бардошлиги кам бўлганлиги учун магний қотишмаларидан тайёрланган буюмларнинг устки қисми оксид қатлами билан қопланади. Оксидланган қатлам юзаси полимер бўёқ билан қопланади.

Намунавий назорат саволлари

1. Магнийнинг муҳим хусусияти ва унинг қуйиш хоссаларини кўрсатинг. 2. Магнийнинг қандай қотишмаларини биласиз? Легирувчи элементлар тури ва уларнинг таъсирини кўрсатинг. 3. Магний қотишмаларини деформациялаш ва қуйиш хоссалари муаммоларини кўрсатинг. 4. Магний қотишмаларини термик ишлаш усуллари хусусиятларини кўрсатинг. 5. Магний қотишмаларининг русумлари, хоссалари ва қўллаш соҳаларини кўрсатинг.

МИС ВА УНИНГ ҚОТИШМАЛАРИ

Мис ва унинг асосидаги қотишмалар муҳим техник аҳамиятга эга бўлган материаллардир. Олтингугуртли руда, мис колчедани ва бошқа рудалар тоза миснинг табиий манбаи ҳисобланади. Миснинг хусусиятлари узга табиий қўшимчаларнинг тури ва миқдорига боғлиқ. Мисдаги узга қўшимчалар унинг совуқ ва иссиқ ҳолда деформацияланиши ва кесиб ишлаш хусусиятларини яхшилаши, мустаҳкамлигини ошириб, коррозияга қаршилигини камайтириши мумкин.

Умуман олганда, миснинг иссиқлик ва электр ўтказувчанлиги, пластиклиги, коррозиябардошлилиги унинг энг муҳим хусусиятлари ҳисобланади. Тоза миснинг технологик хусусиятлари (қуйиш хусусиятлари, кесиб ишланиш хоссалари) ва мустаҳкамлиги яхши эмас. Шу камчиликларни йўқотиш ва миснинг махсус хоссаларини ҳосил қилиш мақсадида мис, рух, қалай, қўрғошин ва шунга ўхшаш бошқа элементлар билан легирланади. Мис қотишмаларидан энг муҳими латунь ва бронзалардир. Айниқса, томпак латунлари ва махсус бронзалар — мельхиорлар, рейзильберлар, куниаллар, копеллар муҳим аҳамиятга эга. Латунь ва бронзалар коррозиябардошлилиги юқори бўлган машина воситалари ҳамда ишқаланиш жуфтларини тайёрлашда муҳим машинасозлик материаллари ҳисобланади.

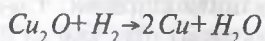
1. Тоза мис ва узга қўшимчаларнинг таъсири

Миснинг суюқданиш ҳарорати 1083°C га тенг. Унинг кристалл катакчаси ёқлари марказлашган куб шаклига эга бўлиб, унинг ёқлари ўлчами $0,36074\text{ нм}$ ни ташкил қиладди. Мис оғир металл бўлиб, зичлиги $8,94\text{ г/см}^3$ га тенг. Миснинг электр ўтказувчанлиги 100% (солиштирма намуна) деб қабул қилиниб, бу қиймат бошқа металллар учун эталон ҳисобланади. Тоза мис таркибидаги қўшимчаларнинг миқдорига қараб, мис МОО ($99,99\%\text{ Cu}$), М1 ($99,5\%$

Cu), M0 (99,9% Cu), M2 (99,7% Cu), M3 (99,5% Cu) ва M4 (99,0% Cu) деб тамғаланади. Мис таркибидаги ўзга қўшимчаларнинг миқдори миснинг электр хоссаларига катта таъсир кўрсатади. Шунинг учун ҳам қўшимчаларнинг миқдори тамғалаш принципининг асосини ташкил қилади.

Ўзга қўшимчаларнинг мис хоссаларига таъсирини ҳисобга олган ҳолда уларни икки синфга ажратиш мумкин: 1) қаттиқ эритмалар ҳосил қиладиган қўшимчалар: *Ni, Zn, Sb, Sn, Al, As, Fe, P* каби элементлар. Бундай қўшимчалар биринчи навбатда мустаҳкамликни оширади, лекин иссиқлик ва электр ўтказувчанликни (айниқса S_b ва A_s элементлар) кескин камайтиради. Шунинг учун электр ўтказувчан материаллар (M0, M1) да $S_b \leq 0,002\%$ ва $A_s \leq 0,002\%$ бўлиши керак. Бундан ташқари сурьма ҳам зарарли элемент ҳисобланиб, иссиқлайин босим остида ишлашни ёмонлаштиради; 2) мисда мутлақ эримайди-ган қўшимча элементларга кўргошин, висмут ва бошқалар ки-ради. Бу элементлар донача чегараларида жойлашиб, осон эрийдиган эвтектик механик аралашмани ҳосил қилади. Шунинг учун улар иссиқлайин босим остида ишлашни ёмонлаштиради.

Мис таркибидаги висмутнинг миқдори жуда кам ($0,005\%$) бўлса ҳам, металл иссиқлайин босим остида ишланганда сочилиб кетади, яъни мўртлашиб қолади. Висмутнинг миқдори оширилса, совуқ ҳолда ҳам мўртлиги ортади. Лекин мисда эримайди-ган элементлар унинг электр ўтказувчанлигига унча таъсир кўрсатмайди. Миснинг кислород ва олтингугуртли бирикмалари (Cu_2O , Cu_2S) эвтектик механик аралашма таркибига ки-ради. Лекин улар ҳам электр ўтказувчанликка кам таъсир кўрсатади. Олтингугурт совуқ ҳолда мўртликни оширса ҳам кесиб ишлаш хусусиятини яхшила-йди. Айниқса, кислород миснинг хоссаларига ёмон таъсир қилади. Агар мис таркибида кислород бўлса, мис чала оксид (Cu_2O) ҳосил бўлади. Бу “водород касаллиги”ни келтириб чиқаради. Мис 400°C дан юқори-роқ ҳароратда водородли муҳитда қиздирилса, водород намуна-нинг ичига диффузияланади ва Cu_2O билан ўзаро таъсирлашиб, сув бугини ҳосил қилади:



Натижада ички кучлар вужудга келади ва баъзи жойларда дарзлар ҳосил бўлиши мумкин. Бу металлни муддатидан илгари емирилишига олиб келади.

Мис яхши коррозиябардош материал ҳисобланади, ҳаво, оқар сув ва денгиз сувлари ҳамда шунга ўхшаш тажовузкор муҳитлар таъсирига барқарор, лекин аммиак ва олтингургурт газлари таъсирида коррозияга қаршилиги йўқдир.

Куйма миснинг механик хоссалари унча юқори эмас: $\sigma_b = 220 \dots 240$ МПа, $\sigma_{0.2} = 70 \dots 95$ МПа, $\delta = 45 \dots 50\%$. Пластик деформация натижасида миснинг мустаҳкамлиги ошади: $\sigma_b \leq 400$ МПа, $\sigma_{0.2} \leq 340$ МПа, $\delta \leq 45\%$. Совуқ ҳолда пластик деформациялаш ва сўнгра рекристаллаш каби бир неча марта термик ишловни такрорлаш усули билан (масалан, сим олишда) мустаҳкамликни (σ_b) 450 МПа га етказиш мумкин, лекин бунда пластиклик камаяди ($\delta \leq 8\%$).

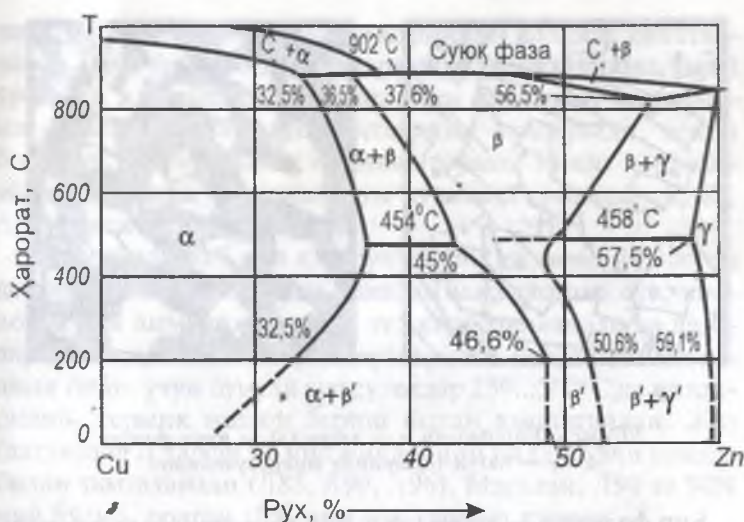
Мисни легирлаш усули билан унинг мустаҳкамлигини, технологик хоссаларини, антифрикцион ва бошқа махсус хусусиятларини бошқариш мумкин. Шу мақсадларда рух, қалай, алюминий, кремний, бериллий, марганец, никель каби элементлар кўпроқ қўлланилади.

Машинасозликда кенг қўлланилаётган мис қотишмалари жез (латунь) ва бронзалар ҳамда мис-никель қотишмалари муҳим аҳамиятга эга. Уларни технологик хусусиятлари бўйича қуйма ва деформацияланадиган қотишмалар, термик ишлаш натижасида мустаҳкамлиги ошадиган ва ошмайдиган қотишмаларга ажратиш мумкин.

Мис қотишмаларида рух асосий легирловчи элемент бўлса, бундай қотишмалар жез (латун)лар деб аталади. Қотишмада легирловчи элемент сифатида қалай, алюминий, бериллий, кремний, қўрғошин каби кўп элементлар ишлатилса, бундай қотишмалар бронзалар деб аталади. Лекин бронзаларда ҳам рух бўлиши мумкин, лекин у кўшимча легирловчи элемент ҳисобланади.

1. Жез (латун)лар ва уларнинг хоссалари

Жезлар юқори механик ва технологик хусусиятларга эга бўлган муҳим машинасозлик материалдир. Жезларнинг структура тузилишларини $Cu-Zn$ диаграммада кўриш мумкин (102-расм). Рух мисда 39% гача эриб, бир



102-расм. Мис-рух тизимининг ҳолат диаграммаси.

хил таркибли α — қаттиқ эритмани ҳосил қилади. Демак, жезлар қаттиқ эритма бўлиб, яхши пластикликка эга.

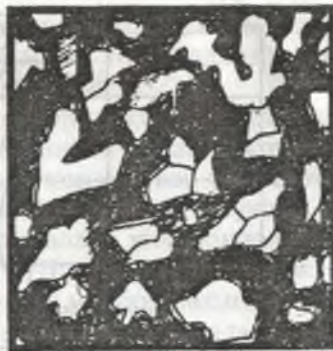
Мис рух билан α — қаттиқ эритмадан ташқари бир қатор β -, γ — каби фазаларни ҳосил қилади. Лекин амалиётда қўлланиладиган жез структураси кўпинча бир фазали α — қаттиқ эритмадан ёки ($\alpha + \beta$) — фазадан иборат бўлади (103-расм).

Юқори ҳароратда β — фаза (CuZn) нинг элементар кристалл панжарасида Zn атомлари тартибсиз жойлашган бўлади. 454...468°C дан кичик ҳароратда атомларнинг жойлашиш тартиби ўзгаради, яъни CuZn кристалл панжара асосида тартибли сингдириш қаттиқ эритмаси ҳосил бўлади, натижада пластиклик камаяди. Бундай фаза β' деб белгиланади. Қаттиқ эритма юқорида кўрсатилган ҳароратдан бошлаб совитилса, рухнинг мисда эриши ҳам камаяди.

β — фаза пайдо бўлиши билан пластиклик камаяди ва қотишмадаги рухнинг миқдори 45% га етгунча мустаҳкамлик ошиб бораверади. Рух миқдори ундан ошса, қотишманинг мўртлиги ошиб, мустаҳкамлиги кескин камаяди. Шунинг учун техникада қўлланиладиган жезларда рухнинг миқдори 45...50% дан ошмайди.



а



б

103-расм. Бир фазали α — латун (а) ва икки фазали $\alpha + \gamma$ — латун (б)ларнинг микротузилиши.

Бир фазали α — латунлар иссиқ ва совуқ ҳолда пластик деформацияланади. Икки фазали ($\alpha + \beta'$) жезлар совуқ ҳолда унча пластик эмас, улар иссиқ ҳолда пластик деформацияланади, бунинг учун қотишмани қиздириш ҳарорати ($\alpha + \beta$) — фаза ҳосил бўлгунча оширилиши керак. ($\alpha + \beta$) жезларнинг мустаҳкамлиги α — жезникидан катта, ишқаланиб емирилишга эса чидамли, пластиклиги камдир.

Икки фазали жезларнинг хоссаларини янада яхшилаш учун улар қўшимча *Al*, *Fe*, *Ni*, *Sn*, *Mn*, *Pb* ва бошқа элементлар билан легирланади. Бундай жезлар махсус ёки мураккаб таркибли материаллар ҳисобланади. Жезларга қўшимча легирловчи элементлар қўшилса (бундан никель мустасно), рухнинг мисда эриши камаяди ҳамда β — фазанинг вужудга келиши осонлашади. Никель рухнинг мисда эришини кўпайтиради. Агар никель қотишмада етарли даражада бўлса, структурада ($\alpha + \beta'$) ўрнига бир таркибли қаттиқ эритма ҳосил бўлади. Легирловчи элементлар мустаҳкамликни оширади, лекин пластикликни камайтиради (қўрғошин бундан мустасно).

Қўрғошин жезларни кесиб ишлашни осонлаштиради, уларнинг антифрикцион хоссаларини яхшилайди. Қўрғошинни бир фазали ёки икки фазали жезларга ҳам қўшиш мумкин. Лекин қўрғошин $\alpha \rightleftharpoons \beta$ полиморф ўзгаришга эга. Жезларда эса бундай ўзгариш рўй бермайди. Бундай по-

лиморф ўзгариш натижасида қўрғошин алоҳида кристалланиб, мис ёки жез доначаларининг (чегараларида эмас) ўртасига жойлашади. Шунинг учун қўрғошин қотишманинг кесиб ишлаш хусусиятларини яхшилайти, лекин босим остида ишлашни ёмонлаштиради. Унинг коррозиябардошлигини ошириш учун қўшимча равишда *Al*, *Zn*, *Si*, *Ni* элементлар қўшилади.

Таркибида 20% дан кўп рух бўлган жезлардан пластик деформация усули билан олинган маҳсулотлар сув, кислород ёки аммиак муҳитида тез коррозияланади ва дарзлар ҳосил қилади. Ана шу дарзларнинг кенгайишини олдини олиш учун бундай маҳсулотлар 250...300°C да қиздирилиб, термик ишлов бериш билан юмшатилади. Жез (латун)лар Л ҳарфи ва мис миқдорини билдирувчи сонлар билан тамғаланади (Л85, Л90, Л96). Масалан, Л90 ва 90% мис бўлиб, қолган 10% ини рух ташкил қилади.

Қотишма таркибидаги рухнинг миқдори 10% дан кам бўлса, бу қотишма томпақ, рухнинг миқдори 10...20% орасида бўлса, у материал ярим томпақ материал дейилади. Бундай қотишмалар юқори пластиклик ҳамда иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлиб, коррозиябардошлилиги ҳам яхши. Таркибидаги рухнинг миқдори кўнайтиб борган сари латунлар арзонлашиб боради (Л59, Л62). Бундай қотишмалар бир қатор яхши хусусиятларга эга, уларнинг мустаҳкамлиги юқори, кесиб ишланади, лекин коррозияга қаршилиги кам.

Кўп элементли мураккаб легирланган латунларда Л ҳарфидан кейин легирловчи элементлар русча номларининг бош ҳарфи, сўнгра уларнинг % миқдорларини кўрсатадиган сонлар қўйилади (ЛАЖ60—1—1, ЛМцА57—3—1, ЛО60—1, ЛК80—3 Л ва ҳоказо). Масалан, ЛАНКМц75—2—2,5—0,5—0,5, яъни бундай латун таркибида 75% мис, 2,0% алюминий, 2,5% никель, 0,5% кремний ва 0,5% марганец бор.

Технологик кўрсаткичларга кўра латунлар деформацияланадиган ва қўйма олиш учун мўлжалланган (ЛК 80—3) бўлиши мумкин.

Алюминийли латунларнинг механик хоссалари ва коррозиябардошлилиги яхши. Деформацияланадиган қотишмаларда 40% гача, қўйма қотишмаларда эса 7% гача алю-

миний бўлади. Бундайларга мисол қилиб, қуйидаги қотишмаларни кўрсатиш мумкин: ЛА85—0,5, ЛА77—2, ЛАМц77—2,05.

Кремнийли қотишмалар денгиз суви ва очиқ ҳаво таъсирида коррозияланмайди. Агар таркибида кремний 3% дан ошмаса, қотишма пластиклик ва юқори механик хоссага эга, лекин кремний миқдори 4% дан ошса, унинг қаттиқлиги ошиб, пластиклиги камаяди. Машинасозликда ЛК80—3, ЛКС65—1,5—3 каби латунлар кўп ишлатилади.

Кемасозликда кўпроқ марганец билан легирловчи латунлар ишлатилади: ЛМ58—2, ЛМ57—3. Бундай қотишмалар совуқ ва иссиқ ҳолда босим остида яхши деформацияланади, механик хоссалари яхши ҳамда сув буғи ва денгиз суви каби тажовузкор муҳитга чидайди.

Никелли жезлар яхши механик хоссага эга, иссиқ ва совуқ ҳолда яхши деформацияланади. Машинасозликда латунларнинг ЛН65—5 ва бошқа турлари кўп ишлатилади.

Қалайли латунлар тажовузкор муҳитда яхши ишлайди, шунинг учун кемасозликда кўпроқ ЛО90—1, ЛО70—1, ЛО62—1 латунлар ишлатилади. Улар яхши кесиб ишланиши билан биргаликда етарли даражада антифрикцион хусусиятларга ҳам эга. Бундай хусусиятлар қўрғошинли латунларда яхши намоён бўлади. Уларга ЛС63—3, ЛС74—3, ЛС60—1 ларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

3. Бронзалар

Асосий таъсир қилувчи легирловчи элементга қараб бронзалар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: қалайли, алюминийли, бериллийли, қўрғошинли ва ҳоказо бронзалар. Лекин уларни икки асосий синфга, яъни қалайли ва махсус (қалайсиз) бронзаларга бўлиш анча қулайликка эга.

Қалайли бронзалар жуда яхши антифрикцион хусусиятга эга, ишқаланиш натижасида қизиб кетмайди, совуққа ҳам яхши чидайди. Қуйма заготовкларнинг кристалланишида ғоваклар, майда тешикчаларнинг ҳосил бўли-

ши бронзаларнинг муҳим камчилиги ҳисобланади. Уларнинг суяқ ҳолдаги оқувчанлиги ҳам яхши эмас, ликвидус ва солидус чизиқларининг ҳарорат оралиги жуда кичик бўлгани учун суяқ масса тезда қотиб қолади.

Мис-қалай тизими ҳолат диаграммасида қалайнинг мисдаги қаттиқ эритмаси (α — фаза) ва бир қатор оралиқ фазалар ҳосил бўлади. Реал шароитда бронза структураси α — қаттиқ эритма билан ($Cu_{21}Sn_8$) оралиқ фазадан иборат бўлади. Техника амалиётида қўлланиладиган бронзаларнинг таркибидаги қалай миқдори 10...12% дан ошмайди. Чунки қалайнинг миқдори бундан ошса, бронза жуда мўрт бўлиб қолади. Бронзалар тез совитилганда унинг структураси йирик, қўпол дендритлардан иборат бўлади.

Қалайли бронзалар қўшимча равишда рух, қўрғошин, никель, фосфор билан легирланади (БРОЦСН 3—7—5—1, БрОФ 6,5—1,5 ва ҳоказо). Бу элементлар бронзанинг қўшимча равишда механик ва технологик хоссаларини яхшилайти. Масалан, никель уларнинг коррозиябардошлилигини оширади, фосфор эса кристалланиш жараёнига таъсир этишдан ташқари антифрикцион хоссаларини яхшилайти. Қўрғошин бронзанинг механик хоссаларини бироз камайтиради, зичлигини оширади, антифрикцион хоссаларини яхшилайти, кесиб ишлашни осонлаштиради. Рух ҳам бронзаларнинг технологик хоссаларини яхшилайти.

Қайта ишлаш технологиясига кўра бронзалар деформацияланадиган ва қуйма бронзаларга бўлинади (24-жадвал).

Деформацияланадиган бронзалардаги (5017—70 ГОСТ) қалайнинг миқдори 8% дан кам бўлади (БрОФ6,5—0,15, БрОЦ4—3, БрОЦС4—4—2,5). Бундай бронзалардан мураккаб шаклдаги буюмлар, ҳатто пружиналар ҳам тайёрланади. Қуйма бронзалар (613—79 ГОСТ)даги қалайнинг миқдори 6% га тенг, ёки ундан кам бўлади. Бундай бронзалар юқори антифрикцион хоссаларга ва етарли даражада мустаҳкамликка эга; улардан арматуралар ҳамда ишқаланиш жуфтлари тайёрланади (БрОЦС4—4—2,5 БрОЦСН3—7—5—1 БрОЦС4—4—17).

Деформацияланадиган ва қўйма бронзаларнинг механик хоссалари ва қўллаш соҳаси

Бронза тамғаси	σ_b , МПа	δ , %	Қўллаш соҳаси
<i>Деформацияланадиган бронзалар (ГОСТ 5017—74) юштирилган ва қавс ичида босим остида ишланган</i>			
БрОФ6,5—0,15	400 (750)	65 (10)	Пружиналар, барометр қутиси, мембраналар, антифрикцион буюмлар.
БрОЦ4—3	330 (550)	40 (4)	Ясси ва айлана пружиналар.
БрОЦС4—4—2,5	350 (650)	35 (2)	Антифрикцион буюмлар.
<i>Қўйма бронзалар 613—79 ГОСТ қўм тупроққа қўйилган қўймалар</i>			
БрОЦС3—12—5	200 (170)	5 (8)	Арматуралар (чивиқ, синтлар).
БрОЦС5—5—5	175 (150)	4 (6)	Антифрикцион буюмлар, подшипник вкладыши (алмашинавчи қисми), арматуралар.
БрОЦС4—4—17	150 (150)	12 (5)	Антифрикцион буюмлар (втулкалар, подшипниклар, алмашинавчи қисмлар, червяк жуфтлари ва х.к.)

**Қалайсиз бронзаларнинг механик хоссалари ва қўллаш соҳаси
(ГОСТ 493—79, 18175—78 ГОСТ)**

Бронза тамғаси	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Қўллаш соҳаси
<i>Алюминийли бронзалар</i>				
БрАЖ9—4	600	40	110	Босим остида ишланадиган буюмлар (чивиқлар, қурурлар, листлар).
БрАЖН10—4—4	650	35	150	
БрАЖ9—3Л	490 (392)	12 (10)	98 (98)	Арматура, антифрикцион буюмлар
БрАЖмЦ10—3—2 (қавс ичида қўм-тупроққа қўйилган. Қавсга олинмагани металл қолипга қўйилгани)	490 (392)	12 (10)	117 (98)	

Бронза тамгаси	σ_b , МПа	δ , %	НВ	Қўлланиш соҳаси
<i>Кремнийли бронзалар</i>				
БрКМц3—1	380	35	80	Чивиклар, тасмалар, пружиналар учун симлар.
<i>Бериллийли бронзалар</i>				
БрБ2 (тоблаб эскиртириш утказилган).	500	(950) 45 1...2	100 (250)	Эли тасмалар, чивиклар, симлар.
<i>Қўрғошинли бронзалар</i>				
Бр30	600	4	24,5	Антифрикцион буюмлар.

Махсус бронзалар машинасозлик материаллари сифатида ишлатилади. Бундай бронзаларнинг таркибида алюминий, никель, кремний, темир, бериллий, хром, қўрғошин ва бошқа элементлар бўлади, яъни улар мураккаб таркибга эга. Бронзаларда қайси элемент муҳим легирловчи элемент бўлса, бронза шу элемент номи билан аталади. Бундай бронзалар ичида алюминийли бронзалар (БрАЖ9—4, БрАЖН10—4—4 ва ҳоказо) энг кўп тарқалган бўлиб, юқори механик хоссаларга эга, уларнинг антифрикцион ва коррозиябардошлилик хоссалари ҳам яхши. Алюминийли бронзаларнинг чуқма ҳосил қилиш хусусиятларини камайтириш ҳамда оксидланиш ва газ нуфакларини ҳосил қилиш хусусиятларини камайтириш мақсадида улар темир, никель, марганец билан қўшимча легирланади (БрАЖМц10—3—2). Улар қуйма ёки деформацияланган ҳар хил шаклдаги яримфабрикат ҳолда чиқарилади. Бундай бронзалар ҳарорат таъсири остида ишқаланиш натижасида ейиладиган, асосан, жавобгарлиги катта бўлган машина воситаларини тайёрлашда ишлатилади (25-жадвал).

Кремнийли бронза (БрКМц3—1) коррозиябардош ва антифрикцион хоссаларга эга бўлиш билан бир қаторда эластиклик хусусиятларига ҳам эга. Кремний мисда эриб, α — қаттиқ эритмани ҳосил қилади, у босим остида яхши ишланади, яъни юқори пластикликка эга. Технологик ҳамда ишлаш хусусиятларини ошириш мақсадида бундай бронзалар бошқа элементлар билан ҳам легирланади: цинк

қуйиш хоссаларини яхшилайдди, марганец ва никель эса мустаҳкамлик, коррозиябардошлиликни ошириш билан бир қаторда антифрикцион ва кесиб ишлаш хоссаларини ҳам яхшилайдди. Кўпинча кремнийли бронзалар қалайли бронзалар ўрнида антифрикцион воситаларни, пружиналар, асбоб ва ускуналарнинг мембраналарини тайёрлашда кўп қўлланилади.

Қўрғошинли бронзалар кўпроқ ишқаланиш жуфтларини тайёрлашда ишлатилади (БрС30). Юқорида айтганимиздек, қўрғошин мисда эримайди. Шунинг учун структура мис ва қўрғошин кристалларидан иборат бўлади. Бундай структура эса юқори антифрикцион хусусиятларга эга бўлиб, иссиқликни яхши тарқатади. Шунинг учун бундай бронзалардан юқори тезликда катта куч таъсирида ишқаланиб ишлайдиган машина воситалари тайёрланади. Масалан, БрС30 дан тайёрланган ишқаланиш жуфтининг қалайли бронза БрОЦС4—4—2,5 га қараганда иссиқлик ўтказувчанлиги 4 баробар катта. Бундай қотишмаларнинг механик хоссалари ва коррозиябардошлилигини ошириш мақсадида улар никель ва қалай билан қўшимча легирланади.

Бериллийли бронзалар (БрБ2) ҳам муҳим антифрикцион хусусиятларга эга, улар катта кучланиш ва тезликда ишлайдиган машина воситаларини тайёрлашда ишлатилади. Бундай қотишмаларнинг алоҳида хусусиятларидан бири иссиқбардошлилигидир, улар 800°C гача ўз хусусиятларини йўқотмасдан ишлай олади.

Бронзаларнинг нархини пасайтириш мақсадида улар марганец, титан, кобальт ва ҳоказо элементлар билан легирланади.

Намунавий назорат саволлари

1. Мисга ўзга қўшимчаларнинг таъсири қандай? 2. Мисни легирлашда нимага эришилади? 3. Жезларнинг техникадаги аҳамияти нималардан иборат? 4. Нима учун жезларни кесиб ишлаш қийин? 5. Бронзалар жезлардан нима билан фарқ қиладди? 6. Қайси қотишманинг — жезними ёки бронзани антифрикцион хусусиятлари яхши?

ҚИЙИН СУЮҚЛАНАДИГАН МЕТАЛЛ ВА ҚОТИШМАЛАР

Ишлаб чиқаришнинг махсус хоссали металл ва қотишмаларга бўлган талаби борган сари ортиб бормоқда. Бу техниканинг такомиллашиб боришидан далолат беради. Юқори солиштирма мустаҳкамликка эга бўлган, катта куч таъсирида юқори тезлик ва ҳароратда ишлай оладиган материаллар талаб этилади. Қийин эрийдиган металллар ва улар асосидаги қотишмалар шундай материаллардан ҳисобланади. Ҳозирги вақтда бундай қотишмалар илғор техникада кенг қўлланилмоқда. Кўп материалларнинг солиштирма мустаҳкамлигини ошириш машинасозлик технологияси муаммоларидан биридир.

Самолёт ва космик кемаларни яшаш техникасида ҳамда атом энергетикасида суюқланиш ҳарорати юқори бўлган металллар ва улар асосидаги қотишмалардан фойдаланилади. Титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден, рений, осмий, родий қийин суюқланадиган металлларга киради. Платина синфига кирувчи металлларнинг ҳам суюқланиш ҳарорати юқоридир, лекин бу металллар ноёб металллар синфига киради.

Гафний, родий, осмий, рений, кам учрайдиган элементлардир. Вольфрам, молибден, тантал, цирконий элементлари техникада кенг қўлланилади.

Қийин суюқланадиган металллар кўпроқ самолёт воситалари ва ускуналарини ясашда, ракетасозликда, электровакуум ва иситтич асбобларни ясашда, электр контактлари каби соҳаларда ишлатилади. Бундай металл ва қотишмалар бир қатор механик, электр ва физик хусусиятларнинг йиғиндисига эга.

Қийин суюқланадиган металлларнинг хоссалари ҳам ўзга қўшимчаларнинг тури ва миқдорига боғлиқ бўлади. Масалан, N_2 , C , O_2 , H_2 каби қўшимчалар вольфрам, тантал, молибден, ниобий элементларининг мўртлигини оширади.

Ишлай олиш ҳарорати, термоэмиссия, ток зичлиги ҳамда солиштирма электр қаршилиқ қийин эрийдиган металлларнинг муҳим иш хусусиятларини белгилайди. Масалан, радио ва электрон ускуналар хоссаларининг

барқарорлиги ана шу металлларнинг вакуумда маълум ҳароратдаги бугланиш тезлигига боғлиқ. Қийин эрийдиган металллар ана шу шароитларда яхши ишлай олади ҳамда бундай металллардаги эмиссия токи катта зичликка эга бўлади. Шунинг учун ҳам бундай материаллар ёритгич ускуналаридаги катта энергия тарқатадиган қизиш катодларини ясада ҳамда рентген техникасида кенг ишлатилади.

Электроэррозион емирилишга катта қаршилиқ кўрсатадиган қотишмалардан ($W-Mo$, $W-Cu$, $W-Ag$) юқори кучланишда ишлайдиган электр контактлари ясадади.

Вольфрам муҳим механик хоссалар ва юқори суюқланиш ҳароратига ($3410^{\circ}C$) эга бўлгани учун қаттиқ қотишмаларни ишлаб чиқаришда, машинасозлик пўлатларини легирлашда кўпроқ ишлатилади. Масалан, легирлашда $W-Fe$ (ферровольфрам) қотишмадан кенг фойдаланилади.

Асбобсозлик пўлатлари ва қотишмаларини ишлаб чиқаришда ҳамда кўпроқ атом техникаси, электротехника, радиоэлектротехникада, шунингдек оловбардош пўлатларни ишлаб чиқаришда ниобий элементи ишлатилади.

Тантал жуда яхши коррозиябардошликка эга. Ана шу хусусияти бўйича у фақат ноёб материаллардан кейин туради. У коррозиябардошлилиги ва ишқаланишга бардошлилиги юқори қотишмаларни ишлаб чиқаришда ишлатилади. Масалан, тантал карбид қаттиқ қотишма ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Цирконий коррозиябардош ҳамда яхши технологик хусусиятларга эга бўлганлиги учун кенг қўлланилади. Масалан, атом энергетикасида рух, темир, хром ва никель билан легирланган цирконий қотишмаси қўлланилади.

Кейинги пайтда қийин суюқланидиган металллар асосидаги кўп қатламли конструкцион материаллар ишлаб чиқарилмоқда. Бундай материаллар оксидланишга йўл қўймайдиган муҳофазали муҳитда жувалаш усули билан олинади. Масалан, ана шундай усул билан $Ta-Nb-To$, $Nb-Mo-Nb$ таркибли кўп қатламли тасмаларни олиш мумкин. Коррозиябардош пўлатлар ва қийин суюқландиган металллар асосидаги ана шундай композицион материаллар ҳам ишлаб чиқилган.

Қийин суюқланадиган металллар, одатда, кукун металлургияси асосида қайта ишланади. Қайта ишлаш энергияси сифатида электр ёйидан, электрон-нур дастасидан ҳамда лазер нуридан кенг фойдаланилади.

Умуман олганда тоза металлларнинг оловга чидамлилиги унча юқори эмас. Қийин эрийдиган металллар асосидаги қотишмалар кучли оловга чидамликка эга. Уларнинг оловга чидамлилигини легирлаш орқали янада ошириш мумкин. Бунинг учун легирловчи элементлар юқори суюқланиш ҳароратига эга бўлиши ва ўрин алмаштириш қаттиқ эритмасини ҳосил қилиши керак. Бунда ҳосил бўладиган карбидлар (ZrC , TiC , $(TiZr)C$ ва бошқалар), оксидлар (масалан, ZrO) ҳамда нитридлар ($ZrNi$, TiN ва бошқалар) ҳисобига дисперсион мустаҳкамликни таъминлаш самарадорликни янада оширади. Аммо легирлаш қотишманинг шластиклигини камайтиришини ҳисобга олмоқ керак.

Оловга чидамлилик деганимизда юқори ҳарорат таъсирида деформацияга қаршилиги тушунилган ҳолда, оловбардошлик эса юқори ҳароратда ҳар хил газларнинг таъсирида занглаб емирилиши, зангбардошлиги тушунилади. Ҳамма қийин суюқланадиган металлларнинг оловбардошлиги юқори эмас. Шунинг учун юқори ҳароратда уларнинг занглашини олдини олиш керак. Масалан, бундай буюмларнинг устини зангбардош металл, интерметаллид ва керамика қопламалари билан қоплаш яхши самарадорликка эга. Лекин қийин суюқланадиган металллар оловга чидамли материал сифатида зангламас муҳитларда — вакуумда, водородли, инерт газ каби муҳитларда кенг ишлатилади.

Ракетасозликда, космик кемасозликда, ядро реакторларида ҳамда энергетик қурилмаларда кенг қўлланиладиган қийин суюқланадиган металл қотишмаларининг 26-жадвалда баъзи бир хоссалари келтирилган.

Намунавий назорат саволлари

1. Қийин суюқланадиган металлларга мисоллар келтиринг.
2. Қийин суюқланадиган металлларнинг асосий хусусиятларинималардан иборат?
3. Қийин суюқланадиган металл қотиш-

Кўпчилик титан қотишмалари таркибида алюминий бўлади. Икки фазали титан қотишмаларининг термик ишлаш йўли билан мустаҳкамлигини ошириш мумкин. Қотишма таркибида қанча легирловчи элементлар кўп бўлса, унинг мартенситга парчаланиш ҳарорати шунча паст бўлади. Қотишманинг эскиртириш ҳароратини кутариш ($400\text{--}550^\circ\text{C}$) билан унинг мустаҳкамлиги ва қаттиқлигини ошириш мумкин.

Пластик деформацияланган титан қотишмалари (BT5, BT5—1) га $670\text{--}800^\circ\text{C}$ да қайта кристалланиш юмшатиши берилса, ички кучланишлар йўқолиб, β — фазанинг барқарорлиги ортади.

Титан қотишмалари қуйиш учун мўлжалланган (BT5Л, BT20Л, BT21Л) ёки деформацияланадиган (BT5, BT9, BT16) турларга бўлинади. Титан қотишмаларини механик хоссалари бўйича ҳам синфларга бўлиш мумкин: ўртача ва юқори мустаҳкамликка эга бўлган, оловбардош, юқори пластикликка эга бўлган қотишмалар. Структурага қараб титан қотишмаларини термик ишлаш натижасида мустаҳкамлиги ошадиган ёки ошмайдиган турларга ҳам бўлиш мумкин.

Титан қотишмалари ҳозирги вақтда самолётсозликда, ракетасозликда, кемасозликдаги жавобгарлиги катта бўлган воситаларни яшашда жуда қўл келмоқда. Лекин титан қотишмаларини хоссаларини яхшилаш билан боғлиқ бўлган муаммоларнинг кўпи ҳали ечилган эмас.

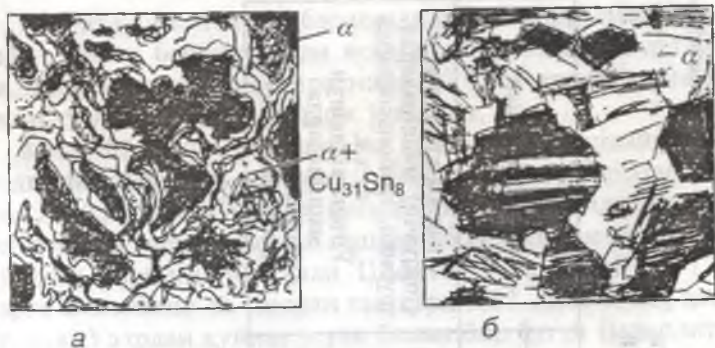
Намунавий назорат саволлари

1. Титанга зарарли қўшимчаларнинг таъсири қандай? 2. Қандай титан қотишмаларини биласиз? 3. Титан қотишмаларига қандай термик ишлов берилади? 4. Титан қотишмаларига ми-соллар келтиринг ва қўллаш соҳасини кўрсатинг.

21-б о б.

ҚАЛАЙ, ҚЎРҒОШИН ВА РУХ АСОСИДАГИ АНТИФРИКЦИОН ҚОТИШМАЛАР

Илгаритдан қўлланилиб келинаётган қалай ва қўрғо-шин асосида олинадиган қотишмалардан оғир юкланган машиналар подшипникларининг ейилувчи қисми (вкла-



104-расм. Қалайли бронза микротузилиши схемаси: а — қуйма;
б — деформацияланиб, юмшатишган.

дишлар) қўйилади. Бу қотишмалар баббитлар (1320—74 ГОСТ) деб аталади (28-жадвал). Махсус хоссаларга эга бўлиш учун баббитлар таркибига легирловчи қўшимчалар киритилади. Масалан, мис қаттиқлик ва зарбий қовушоқликни, никель қовушоқлик, қаттиқлик, ишқаланишдаги едирилишга бардошлиликни, кадмий элементи мустаҳкамлик ва коррозиябардошлиликни, сурма эса мустаҳкамликни оширади.

Юқори антифрикцион хоссаларга эга бўлган баббитларнинг асоси α — қаттиқ эритма бўлиб, унинг таркибида қаттиқ қўшимчалар сифатида интерметаллитлар $SnSb$ бўлади (104-расм). Бундай қотишмалар юқори тезлик ва катта куч таъсири остида [$V=50$ м/с, $P=10\ldots 20$ МПа, $PV=(50\ldots 75)$ МПа·м/с] ишлайдиган ишқаланиш жуфтларини яратишда ишлатилади. Масалан, улардан оғир юк кўтарадиган машиналар, юқори қувватли боғ турбиналари ва насосларнинг ишқаланиш жуфтлари тайёрланади. Автомобиль, қишлоқ хўжалиги техникасида ҳамда шунга ўхшаш машиналарда ($V=30$ м/с, $P=90$ МПа) кўргошинли баббитлар кенг қўлланилади (Б16, Б21, БС6).

Баббитлардан тайёрланадиган подшипниклар биметалл ҳолда, яъни қаттиқ асосга юпқа баббит қатламини қуйиб олинади. Шунинг учун бундай подшипникларнинг ишлаш қобилияти баббит қатламининг қалинлигига боғлиқ: қатлам қанча кичик бўлса, подшипник шунча яхши ишлайди.

Қалайли подшипник қотишмаларидаги легирловчи
элементлар таркиби ва қўлаш соҳасига мисоллар

Қотишма русми	Элементлар миқдори, %					Қўлаш соҳаси
	Sb	Cu	Cd	Sr	бошқа элементлар	
Б88 Б83 БН Б16 БС6	7,3...7,8 10...12 13...15 15...17 5,5...6,5	2,5...3,5 5,5...6,5 1,5...2,0 1,5...2,0 0,1...0,3	0,8...1,2 — 0,1...0,7 — —	қолгани қолгани 9...11 15...17 5,5...6,5	0,15...0,25 Ni — 0,1...0,5 Ni 0,5...0,9 As —	Оғир юк қўтарувчи (тортувчи) машиналарда, трубина, труба насосларда ва Ҳ.К. Ўртача юкланган машиналарда Автомобиль юриткич (двигатель)ларида.

Баббитларнинг иссиқбардошлилиги юқори эмас. Масалан, баъзи баббитлардан ясалган ишқаланиш жуфтларида ҳарорат ишлаш жараёнида 70°C га етганда унинг антифрикцион хусусиятлари ўзгаради.

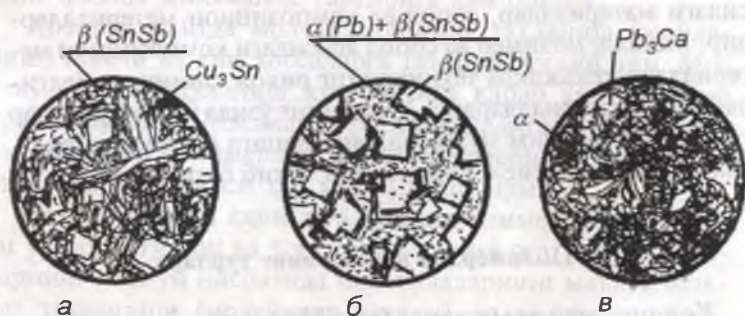
Катта бўлмаган тезликда ва кучланишда ишлайдиган подшипниклар рух асосидаги баббитлардан тайёрланади ($V \leq 3$ м/с; $P \leq 20$ МПа). Бу қотишмалар таркибида асосий легирловчи элементлардан ташқари бошқа элементлар ҳам бўлиши мумкин. Масалан ЦАМ10—5 ва ЦАМ9,5—1,5 ларда алюминий ва мисдан ташқари 0,03...0,06 % Mg ҳам бўлади. Улардан қуйиш усули билан бир бутун (монолит) вклядишлар, втулкалар олинади.

ЦАМ9,5—1,5 дан пўлат ва алюминий қотишмалари билан биргаликда жўвалаш усули билан кўп қатламли (би-металлар) композитлар олинади. Сўнгра улардан штамплаш усули билан ишчи қисм вклядишлар тайёрланади.

Техникада алюминий асосидаги антифрикцион (подшипник) қотишмалари ҳам ишлатилади (ГОСТ14113—78). Уларнинг таркибида Sn (2...4% дан то 17...23% гача), Cu (0,8...1,2% дан то 2,0...5% гача), Ni (0,3...0,5% дан то 2,7...3,3% гача) ва Si (0,3...0,7% дан то 1,7...2,0% гача).

Қалай таркибида қалай қанча кўп бўлса, шунча антифрикцион хусусияти ҳам яхши бўлади, агар 10...12% дан ошса юқори ҳароратда чарчашга қаршилиги камаяди ва ейилишга қобилияти ҳам кучаяди.

А03—1 ва А09—2 қотишмалар 10 мм гача бўлган вклядишлар ва втулкалар қуйишга мўлжалланган. А020—1 ва



105-расм. Баббитларнинг микротузилиши:

а — Б83; б — Б16; в — БКА.

АН2,5 лардан жўвалаш усули билан биметаллар олиниб, уларда вкладиш ва втулкалар штампланади.

АМ_nМгК—1 қотишма таркибида *Mg, Si, Ti, Mn* ва *Sn* бор. Бу қотишма ишқаланиш коэффициентини 0,007...0,01 алюминийли қотишмага нисбатан ейилишга турғунлиги 1,5...2,5 баробар юқори.

Намунавий назорат саволлари

1. Антифрикцион қотишмаларга қандай талаблар қўйилади?
2. Қалайли ва қўрғошинли баббитларга мисоллар келтиринг.
3. Баббитларнинг камчилиги нимада?
4. Қатламли (биметалл) подшипникларнинг камчилиги нимада?
5. Рух асосидаги баббитлар қачон ишлатилади, уларнинг камчилиги нимада?

22-б о б.

МЕТАЛЛ БЎЛМАГАН КОНСТРУКЦИОН МАТЕРИАЛЛАР

Мавжуд конструкцион материаллар захирасини ҳосил қилиш учун, биринчидан, уларни тежаб ишлатиш, структуранинг хоссаларга таъсирини ошириш талаб қилинса, иккинчидан, янги хом ашё турларини излаб топиш ҳамда уларнинг асосида конструкцион материалларни ишлаб чиқариш талаби қўйилмоқда. Ана шундай материаллар ичида энг муҳимлари пластмассалар, резиналар, целлюлоза асосидаги материаллар, сопол ва композицион материаллардир. Металл, полимер ва сопол асосидаги композицион материаллар келажакда техниканинг ривожланишини белгилайдиган материаллардир. Ҳозирнинг ўзида бу материаллар техникадаги муҳим муаммоларни ечишга ёрдам бермоқда, уларга бўлган эҳтиёж борган сари ортиб бормоқда.

1. Полимерлар ва уларнинг турлари

Кейинги вақтда материалларга бўлган эҳтиёжларни қондириш учун материалларни сунъий равишда ишлаб чиқариш кашф қилинди. Ёғоч, чарм, жун, ипак, ойна, каучук

каби материалларнинг ўрнини боса оладиган сунъий материаллар ишлаб чиқарила бошланди. Улар учун нефть маҳсулотлари ва газни қайта ишлаш натижасида олинadиган қўшимча маҳсулотлар ҳам ашё бўлиб хизмат қиладди. Металлмас материаллар келиб чиқишига қараб табиий ва сунъий материалларга бўлинади.

Содда кимёвий бирикмалар ёки алоҳида элементлардан мураккаб бирикмаларнинг ҳосил бўлиш жараёнига синтез деб аталади. Синтетик полимерлар мураккаб жисм бўлиб, уларни ҳосил қилиш табиий полимерларнинг молекуляр тузилиши ва уни ҳосил қилувчи элементларнинг реакцияга киришиш хусусиятларини чуқур билишга асосланган.

Сунъий полимерлар табиий полимерларни модификациялаш усули билан ҳам олинади. Масалан, целлюлозани нитратлаш усули билан сунъий полимер — нитроцеллюлоза олинади.

Полимер материаллари ҳарорат остида ўз хоссаларини ўзгартиради. Ана шу хусусиятга кўра полимерлар терморектив ва термопластик полимерларга бўлинади.

Терморектив полимерлар қаттиқ ҳолатда юқори ҳароратгача қиздирилганда суюқланмайдиган ва ҳеч қандай суюқликда эрмайдиган бўлиб қолади. Бошқача қилиб айтганда, юқори ҳароратда бундай полимерлар суюқланмасдан ёниб кетади, яъни қайта ишланмайди.

Термопластик полимерларни эса бир неча марта қайта қиздириш ва суюқ ҳолда қайта ишлаш мумкин.

Полимерларнинг кимёвий тузилиши унинг хоссаларини тула ифодаламайди. Унинг хоссалари молекулаларнинг фазода жойлашиш тартибига ҳам боғлиқ.

Ҳозирги пайтда молекулаларнинг таҳлили (жойланиш) шакли ва уни хоссаларга таъсири ўрганилган. Молекулаларни таҳлили хусусиятига қараб ҳам турларга бўлиш мумкин. Масалан, кристалланадиган ва кристалланмайдиган полимерлар. Битта полимернинг ўзида кристалланиш даражаси ҳар хил бўлиши мумкин.

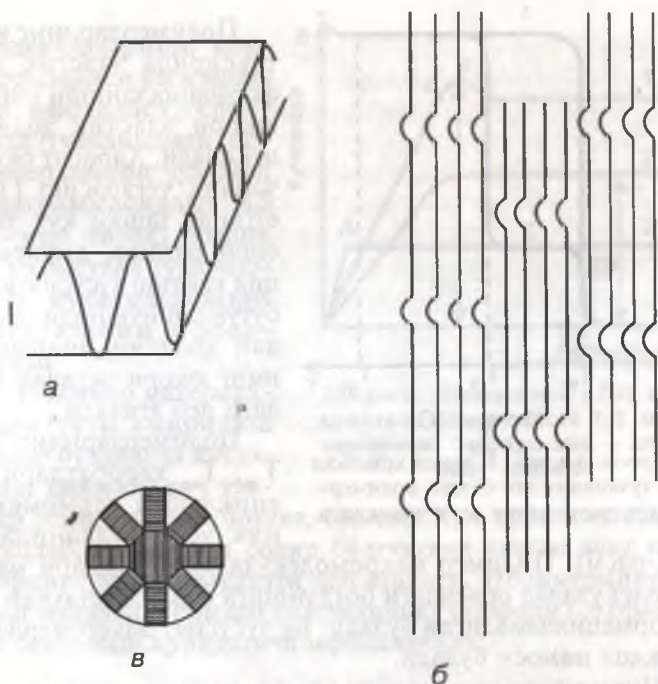
Бир-бирларига яқин жойлашган полимер молекулалари ўзаро интилиш ва тортишиш кучига эга. Ана шу кучларнинг маълум нисбатида молекулаларнинг маълум шаклда таҳлили (молекуляр қатлам), яъни структура ву-

жудга келади. Полимер молекулалари жуда узун ва эластик бўлгани учун бу куч молекула ҳажми бўйича ҳар хил бўлади, яъни макромолекулаларнинг тузилишида тартибланган ва тартибсиз қисм вужудга келади. Бу эса ўз навбатида ички энергиянинг камайишига олиб келади. Тартибли қисмларнинг барқарорлиги асосан ҳароратга боғлиқ, улар йўқолиб яна бошқатдан вужудга келиши мумкин. Полимер тузилишидаги бундай тартибли ҳажмлар энг содда шаклдаги структура тузилишидир.

Молекулалари тартибсиз жойлашган полимер структурасида тартибли тузилишларнинг вужудга келиши, кристалл марказлари вазифасини ўтайди. Яқин тартибдаги тузилишлар бирикишиб, катга (мураккаб) тартибдаги тузилишларни вужудга келтиради. Ҳар хил шаклга эга бўлган тузилишлар доимо пайдо бўлиб туради. Кристалл структуранинг фазода ҳар тарафга қараб эркин ўсиши сферолитларни вужудга келтиради. Олдинига тўғри геометрик шаклдаги сферолитлар сонининг кўпайиши уларнинг бири-бирини ўсишига ҳалақит бериб, кўп қиррали шаклга айланади. Кристалл тузилишлардаги кўпчилик нуқсонлар сферолитларда ҳам бўлиши мумкин. Сферолитга кирган макромолекулаларнинг бир қисми тартибга солинмаган ҳам бўлиши мумкин. Сферолитларнинг ўзи ўзаро оралиқ молекулалар ёки уларнинг тўдаси билан боғланган бўлади. Шунинг учун эластик молекулали полимерлар тўла кристаллана олмайди. Бундай полимерлар аморф — кристалл полимерлар деб аталади. Полимерлардаги кристалл тузилишларнинг баъзи бир шакли 106-расмда келтирилган.

Полимерлар тўртта физик ҳолатда бўлиши мумкин: кристалл, шишасимон, юқори эластик ва қовушоқ оқувчан ҳолатлар. Полимерларнинг суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши иккита тартибда содир бўлади: кристалланиш ва шишага ўхшаб қотиш.

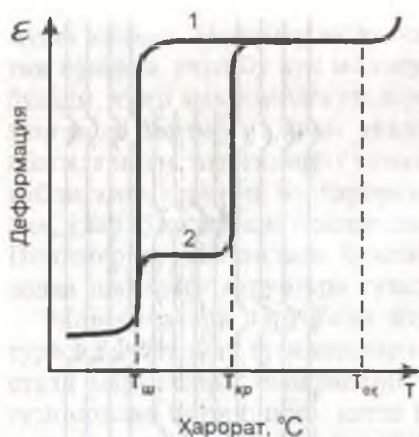
Полимерларда кристалланиш (T_g) маълум ҳарорат оралиғида рўй беради. Полимер совитилганда қаттиқ жисмга ўхшаш физик тусга киради. Бундай ҳолатни шишасимон қотиш дейилади ва уни қайта қиздирилганда яна суюқ ҳолатга қайтиши мумкин. Шишасимон ҳолатдан суюқ ҳолатга қайтиш ҳам маълум ҳарорат оралиғида



106-расм. Полимер кристалл тузилишининг ҳосил бўлиш схемаси: *a* — пластинкали монокристалл; *б* — тугунли кристалл (фибриллар); *в* — сферолит.

(10...30°C) рўй беради. Бу ҳарорат полимернинг шишасимон ҳолатга ўтиш ҳарорати ($T_{ш}$) дейилади.

Ҳарорат $T_{ш}$ дан кичик бўлса, бошланғич тартибдаги сегментлар ҳарорати камаяди ва мўртлик ҳарорати ($T_{м}$) га етганда полимер материали емирилади, бу қаттиқ жисмининг мўрт емирилишига ўхшаш бўлади. Ҳарорат ($T_{ш}$) дан катта бўлса, тартибли сегментларнинг ҳаракати ҳам ошади, макромолекулаларнинг тартибланиши ҳам ортади. $T > T_{ш}$ да эластик макромолекулаларнинг чўзиқ ҳолатидан кўра ўралган ҳолати энергетик жиҳатдан қулайдир. Шунинг учун бундай полимерларга ташқи куч таъсир эттирилса, ўралган молекулалар тўғриланади (катта деформация рўй беради), ташқи куч олинганда, макромолекула яна аввалги ўралган ҳолатига қайтади (деформациянинг қайтиши рўй беради).



107-расм. Аморф (1) ҳамда кристалл (2) тузилишга эга бўлган полимернинг термомеханик эгри чизиклари.

Полимерларнинг куч таъсирида эластик деформацияланиши унинг юқори эластик ҳолати дейилади. Ҳарорат оқувчанлик чегарасига ($T_{ок}$) етганда ташқи куч таъсири олинса, деформация қайтиш хусусиятини бутунлай йўқотади. Бундай ҳолатни полимернинг юқори оқувчан ҳолати деб аталади.

Полимерларнинг $T_{ш}$, $T_{кр}$, $T_{ок}$ ҳароратларини аниқлашда термомеханик усул қўлланилади

(107-расм). Полимер макромолекулалари атомлари макромолекулалар орасидаги боғланишга қараб мустаҳкам ва деформацияланадиган бўлади. Бу хусусият эластомерларда яққол намоён бўлади.

Шишасимон структурага эга бўлган полимерлар маълум ҳарорат оралиғида емирилмасдан кучли деформацияланади. Бундай деформация юқори эластикликка яқин бўлгани учун мажбурий-эластик деб аталади (108-расм). Шишасимон структурали полимерлардаги мажбурий-эластиклик хусусиятини $\sigma-\epsilon$ эгри чизиғидаги деформация ўқига параллел бўлган Cd оралиқ ифодалайди. Полимерлардаги юқори эластик деформацияни ифодаловчи кучланишни мажбурий-эластиклик чегараси белгилайди (σ_e). Баъзи шишасимон структурага эга бўлган полимерларда кучланиш маълум миқдорга етганда кундаланг кесим кичирайди, “бўйинча” ҳосил бўлади. Намунанинг кейинги чўзилиши ана шу бўйинча атрофидаги қисмларнинг кундаланг кесимини камайиши ҳисобига содир бўлади.

Кристалл структурага эга бўлган полимерларни чўзишда ҳам бўйинча ҳосил бўлади. Бу ҳолда $s-\epsilon$ диаграмма синиқ эгри чизиклардан иборат бўлиб, эгри чизик уч қисмга бўлинади (108-расмдаги 3-эгри чизик). Шишасимон структурали полимернинг чўзилиш чизиғидаги Cd оралиқ макро-

молекуларнинг конформацияси ўзгаришини ифодаласа, кристалл тузилишдаги полимерларнинг чўзилиш диаграммасидаги AB (3-эгри чизиқ) оралиқ эса кристалл тузилишдаги йўналишларнинг ўзгаришини ифодалайди.

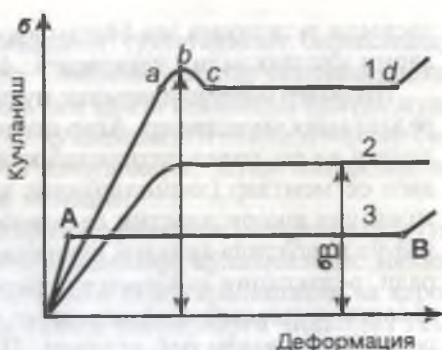
Полимер материаллари учун емирилиш содир бўладиган кучланиш қиймати куч таъсир этиш вақтига боғлиқ бўлади. Куч қўйилган вақтдан бошлаб, емирилиш содир бўлгунгача кетган вақт полимернинг ишлаш муддати деб аталади. Полимернинг ишлаш муддати (τ) билан емирилиш кучланиши (σ) орасидаги боғланиш қуйидагича ифодаланади:

$$t = \tau_0 e^{U_0 - \gamma \tau / RT}$$

Бу ерда τ_0 , U_0 , γ ўзгармас қиймат бўлиб, полимернинг мустаҳкамлигини ифодалайди; R — коэффициент, T — ҳарорат.

Тенгламадаги U_0 бошланғич фаоллаштириш (активланиш) поғонасини, γ материалнинг структура сезгирлигини ифодалайди. Демак, юқоридаги тенгламага мувофиқ полимер материалларнинг мустаҳкамлиги ҳароратга боғлиқ бўлиб, вақт бирлиги ичида ўзгариши мумкин экан.

Полимерларни қайта ишлаш натижасида вужудга келган структураси уларнинг мустаҳкамлигига таъсир кўрсатади. Макромолекулар йўналишини тартибга солиш усули билан полимерларнинг мустаҳкамлигини бошқариш кенг қўлланилади. Бунда полимер анизатропик хоссаларга эга бўлиши керак. Ана шу мақсадлар учун чўзиш йўналиши танланади, йўналтирилган молекулар бўйича чўзишга қаршилиги ошади, нисбий чўзилиш қиймати камаяди. То-



108-расм. Шишасимон (1,3) ҳамда кристалл структурали (2) полимерларнинг “деформация — кучланиш” графиги.

ласимон тузилишга эга бўлган юқори мустаҳкам полимерларни мустаҳкамлик чегараси 5...6 ГПа га етади.

Полимер материалларнинг муҳим хусусиятларидан бири релаксацияланишидир. Агар полимер чўзиб деформацияланган ва шу ҳолда маҳкамлаб қўйилган бўлса, структурадаги сегментлар (звенолар)нинг қайта тақсимланиши натижасида юқори эластик деформация рўй беради. Бундай ҳол ўз навбатида аввалги кучланиш даражасини пасайтиради, релаксация ҳодисаси рўй беради. Вақт бирлиги ичида аввалги кучланиш қийматининг n — марта камайишига релаксация вақти деб аталади. Полимерларнинг тузилиши ва ташқи шароитга қараб релаксация вақти бир неча минутдан бошлаб, бир неча йилгача бўлиши мумкин.

Материалларнинг доимий куч таъсирида ўз-ўзидан чўзилиши ҳам релаксацион хусусиятга эга. Материалларнинг ишлаш шароитларини белгилашда ана шу хусусиятни, албатта ҳисобга олиш керак.

Полимер структурасини мукаммаллаштириш мақсадида улар физик ва кимёвий модификацияланади, яъни полимерларга легирловчи элементлар, стабилизаторлар, пластификаторлар, бўёвчи моддалар қўшилади.

Полимерларни қайта ишлаш ёки ишлатишда эластикликни ошириш мақсадида уларга пластификаторлар қўшилади. Пластификаторларнинг учиш хусусияти кам бўлиши, кимёвий барқарорлиги юқори бўлиши керак. Пластификаторларнинг вазифаси молекулаларнинг эластиклигини оширишдан иборатдир.

Полиэфирлар, эфирлар, хлор бирикмалари пластификаторлар сифатида қўлланилади. Пластификаторлар полимер таркибига эритма тариқасида киритилади.

Ташқи таъсир (ёруғлик нури, ҳарорат, босим ва ҳоказо) натижасида полимер молекулаларининг парчаланиши (деструкцияси) рўй беради. Бу жараён занжир реакциядир. Деструкция натижасида емирилиш содир бўлади. Стабилизаторлар парчаланишдаги занжир реакциянинг боришига тўсқинлик қилади. Стабилизаторлар оксидланишнинг олдини оладиган (антиоксидантлар); ҳарорат таъсирида парчаланишни тўхтатадиган бирикмалар (ингибиторлар); ёруғлик нури таъсирида парчаланишни олдини оладиган (светостабилизаторлар) бирикмалар; радиацион

нур таъсирида парчаланишни тўхтатадиган бирикмалар (антирадилар) ва ҳоказо. Стабилизаторлар полимерларни олиш (синтез) жараёнида ёки қайта ишлашда, одатда жуда кам миқдорда (0,01...2%) қўшилади. Стабилизаторлар сифатида аминлар, фенол ҳосилалари, жуда майдаланган металлар қўлланилиши мумкин.

Полимер материалларнинг рангини ўзгартириш учун ҳар хил бўёқ моддалар (пигментлар) қўлланилади. Лекин бундай бўёқлар полимер билан яхши аралашishi ва ҳарорат, нур, ҳаво ва бошқа ташқи таъсирларга чидаб, ўз таъсирини узоқ сақлай олиши керак. Бўёқлар органик ва органик бўлмаган бирикмалар бўлиши мумкин. Масалан, шу мақсадларда металл оксидлари (TiO_2 , Fe_2O_3) металл тузлари ҳамда қурум (сажа) дан фойдаланилади.

Полимер материалларда тўрсимон структурани ҳосил қилиш учун ҳам қўшимчалар киритилади. Масалан, каучукка шундай структура ҳосил қилиш учун олтингўрт, селен, фенол қўлланилади. Эпоксид, полиэфир, фенол қатронларини (смолаларини) қаттиқ ҳолга келтириш учун мураккаб бирикмалар қўшилади.

Макромолекулаларнинг тартибли жойлашишидан ҳосил бўладиган кристалл структураларни ҳосил қилиш учун ҳам қўшимчалар (0,1...2% легировоччи элементлар) қўшилади.

2. Конструкциян полимерлар

Полимерлар мустақил конструкциян материал сифатида ёки бошқа материаллар билан биргаликда композицион материал сифатида ҳамда лок, парда, тола, бўёқ ва елим сифатида ҳам кўп қўлланилади. Ҳозирги вақтда энг кўп қўлланиладиган полимер материалларга полиолифинлар, поливинилхлоридлар, полиамидлар, полиацитатлар, фторопластлар, поликарбонатлар, полиуретанлар ҳамда фенолформальдегид, эпоксид, полиэфир, кремний органик бирикмалар ва полиамид қатронлари киради. (Уларнинг баъзиларини физик ва механик хоссалари 29- жадвалда келтирилган).

Полиэфирларга полиэтилен, полипропилен ва уларнинг кўплаб сополимерларини мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

Баъзи бир полимерларнинг физик ва механик хоссалари

Полимер материалы	Зичлиги кг/м ³	Ишчи ҳарорати, °С		Мустаҳкамлик чегараси, МПа да			ишбий узайи- ши, δ, %	зарбий қовшоқ- лиги, кДж/м ² КС И
		қуши билан	ками билан	чўзиш- да σ_b	сўқини- да σ_p	эгишда σ_s		
Полиэтилен: юқори босимли (ПЭВД); паст босимли (ПЭНД)	913...929 949...953 900	105...108 120...12- 5	-40...-70 -70 ва ундан тўғридан	10...17 18...35 25...40	12 20...36 II	12...17 20...38 —	50...600 250...10- 00	симидади
Полипропилен	2090...2160	125	-15	30...45	—	60...80	200...800	33...809
Фторопласт-3	1900...2200	250	-195	15...35	10...12	14...18	20...200	20...160
Фторопласт-4	1400	65...80	-269	40...120	80...160	40...120	250...500	100
Поливинилхлорид	1100...1140	60...110	-10...-40	38...60	—	35...70	5...100	70...80
Полиамидлар	1200	130...14-	-20...-60	70	—	24...120	70...280	80...125
Поликарибонат дифлон	1200	0	-100...-135	55...120	105...1-	100...1-	—	150
Полиакрилат	1400	155...2-	-100	80...110	45	25	15...20	120
Пегтапласт	1140...1400	50	20	20...55	—	—	5...10	12...16
Полиформальдегид (баркарорлашган)		150 130	-40...-60		85...95	60...85	10...40	24...140

Полиэтилен кимёвий муҳит таъсирига чидамлилиги, яхши механик ҳамда технологик хоссаларга эга бўлиши ва арзонлиги билан бошқа полимерлардан ажралиб туради. Полиолефинлар машинасозликда энг кўп қўлланиладиган конструкцион материаллар бўлиб, радиотехникада, кимё саноатида, қишлоқ хўжалигида жуда кенг қўлланилади. Улардан саноат миқёсида плёнкалар, қувурлар, шланг, кабель қобиғи, толалар каби буюмлар ишлаб чиқарилади.

Полипропилен сунъий усулда олинган полимер бўлиб, нисбатан катта қаттиқликка эга, юпқа қатламда ёруғлик ўтказувчан, қалин қатламда, оқиш-сут рангга эга, юқори даражада (75%) кристалланган бўлади. Унинг суяқланиш ҳарорати 170°C бўлиб, полиэтиленга қараганда мустақамлиги, қовушоқлиги, ишқаланишга бардошлилиги катта. Юқори диэлектрик хусусиятларга эга. Буг ва газларни ўзидан яхши ўтказмайди, органик бирикмаларда эримайди, ишқор ва қайнаётган сув таъсирига барқарор, лекин ҳарорат ва ёруғлик нури таъсирига барқарорлиги етарли эмас.

Полivinилхлорид (ПВХ) нинг ўртача молекуляр массаси 14000—85000 га тенг. ПВХ машинасозликда кенг қўлланилади, кабель ва кимё саноатида, қишлоқ хўжалигида, айниқса қурилиш материали сифатида, ҳар турли плёнкаларни ишлаб чиқаришда қўлланилади. Қаттиқ ПВХ (винипласт)дан конструкцион воситалар ясалади.

Фторопластларнинг коррозияга агрессив муҳитлар (кислоталар, ишқорлар, юқори температурали муҳит)даги барқарорлиги нисбатан юқори. Политетрафторэтилен ($\text{CF}_2=\text{CF}_2$), политрифторэтилен ($\text{CF}_2=\text{CHF}$), политрифторхлорэтилен ($\text{CF}_2=\text{CECl}$), поливинилфторид ($\text{CH}_2=\text{CHF}$) каби фторопластлар температурага барқарор бўлиб, 400°C дан юқори температурада термик оксидланиш бошланади. Баъзи фторопластлар ажойиб антифрикцион хоссаларга эга (мойсиз ишлаганда ҳам ишқаланиш коэффициенти жуда кичик, ейилишга бардошлилиги каттадир).

Фторопластларнинг энг биринчи намояндаси политетрафторэтилен (ПТФЭ) бўлиб, уни фторопласт-4, тефлон,

флюон деб ҳам аталади. Машинасозлик материаллари орасида ПТЭФ коррозион агрессив муҳитлар таъсирига барқарорлиги юқори бўлган материалдир, у об-ҳаво ва микроорганизмларнинг таъсирига ҳам барқарордир.

Фторопласт-4 дан кондесатор ва электр ўтказгичлар учун плёнкалар тайёрланади, ундан антифрикцион ва жишловчи (герметик) материаллар сифатида фойдаланилади. Ҳозирги пайтда фторопласт-4 нинг анчагина модификациялари маълум. Бу модификациялар фторопласт-4М (—4МБ, —4МВ—2, —4МД), фторопласт — 4НП лардан иборат. Бундай материалларнинг технологик хоссалари ҳам яхши, улардан машина воситаларини тайёрлашда экструзия ва босим остида қуйиш усулиларидан фойдаланса бўлади. Фторопластларнинг камчилиги шундан иборатки, ишқаланишдаги емирилишга барқарорлиги унча катта эмас, совуқ ҳолда ўзгармас куч таъсирида чўзилади (деформацияланади). Фторопластларнинг таркибига модификатор ва бошқа қўшимчаларни киритиш билан бу камчиликларни бирмунча бартараф қилиш мумкин.

Плёнка, лок, тола, тўқима ва бошқа шунга ўхшаш материалларни ишлаб чиқаришда фторопласт—3 дан фойдаланилади. Фторопласт—3 чет элда фторлон — 3, дайфлон, флюротен деб ҳам аталади.

Элемент-органик полимерларга кремний-органик қатронлар асосидаги полимерлар киради. Бундай полимерлар юқори ҳароратда барқарор, оксидловчи ва агрессив муҳитга чидамли ҳамда юқори диэлектрик хусусиятларга эга. Бу қатронлар асосида елим, лок, эмал, мойловчи ва конструкцион материаллар ишлаб чиқарилади. Адгезион хусусиятларини ошириш учун лок ва эмалларга қўшимча равишда эпоксид, полиэфир ва фенол қатронлари қўшилади. Кремний — органик полимерлар электротехника саноатида, машинасозлик ва ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади. Кремний-органик каучуклар совуқ ва иссиққа чидамли бўлган резиналарни олиш учун ишлатилади.

Эпоксид, фенол-формальдегид каби қатронлар термо-реактив полимерлар намояндаси бўлиб, муҳим технологик ва ишлай олиш хусусиятларига эга. Эпоксид қатронлари сунъий олигомер ва полимерлар бўлиб, металл, шиша,

сополга ва бошқа материалларга жуда яхши адгезияси билан ажралиб туради. Қаттиқ ҳолатдаги эпоксид қатронларининг ишқорий муҳит, оксидловчи ва органик бўлмаган кислоталарга барқарорлиги яхши. Эпоксид қатронлари композицион машинасозлик материалларини олишда боғловчи элемент сифатида, елим, лок, қуйма компаундлар ишлатилади. Таъмирлаш ишларида у дарзларни ямашда ҳам қўлланилади.

Фенол ва формальдегиднинг ўзаро таъсири натижа-сида фенол-формальдегид қатронлари олинади. Бундай полимерлар электр токини ўтказмайдиган материаллар (электроизоляторлар)ни ишлаб чиқаришда кўпроқ қўл-ланилади, улар об-ҳаво ва ҳарорат таъсирига барқарор бўла-ди. Улар композицион материалларнинг боғловчи мате-риали сифатида ҳамда елим ва лок ишлаб чиқаришда ҳам ишлатилиши мумкин.

3. Резиналар

Ҳозирги замон техникасида юқори эластикликка эга бўлган материаллар жуда катта аҳамиятга эга. Бундай ма-териаллардан зарбий куч таъсирини юмшатадиган воси-талар (амортизаторлар) ҳамда тебранишни пасайтирувчи ёки ютувчи асбоб ва қурилма (демпфер)лар ясалади. Бун-дан ташқари улардан жипсловчи воситалар тайёрлашда, ускуналарни ташқи муҳит таъсиридан сақлашда ҳам фой-даланилади. Юқори эластик материалларга табиий ва синтетик полимерларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Бундай материаллар, одатда жуда катта қайтар деформа-цияга эга бўлади. Каучуклар муҳим табиий юқори эластик-ликка эга бўлган материалларга киради. Ҳозирги вақтда жуда кўп хилма-хил сунъий каучуклар ишлаб чиқарил-моқда, бундай материаллар резина ишлаб чиқаришнинг асосини ташкил қилади.

Ҳозирги замон машинасозлигида резинадан тайёрлан-ган воситалар эса жуда кенг қўлланилади. Булардан энг муҳими автомобиль шиналари, ҳар хил жипсловчи воси-талар, амортизаторлар, ҳаракат узатувчи воситалар, шлан-глар ва ҳоказолар. Резиналардан ускуна ва қурилмаларни

ташқи муҳитдан муҳофаза қилишда, электр симлари сиртини қоплашда, (кабелларни ясашда) фойдаланилади. Каучукни вулканизациялаб, резина маҳсулоти олинади. Каучукларга турли қўшимчаларни қўшиш билан ёруғлик ва радиация нурига чидамли арзон резинасимон маҳсулотлар олинади. Бу йўл билан махсус шароитларга чидамли резиналарни ҳам олиш мумкин.

Кейинги вақтда синтетик каучук ишлаб чиқариш жуда кенг ривожланган. Масалан, натрий-бутадиен (СКБ), бутадиен-стирол (СКС), полихропен, бутадиен-нитрил (СКН) каби синтетик каучуклар кенг тарқалган. Синтетик каучуклар ўз структурасига кўра катта молекуляр массага эга бўлган чизикли полимерлардир. Нормал ҳароратда синтетик каучуклар юқори эластиклик ҳолатда бўлиб, -40°C дан -70°C гача ҳарорат оралиғида шишасимон ҳолатга ўтади.

Ишлатилиш соҳасига кўра, резина оддий ва махсус турларга бўлинади. Оддий мақсадларда қўлланиладиган резиналарга табиий каучук (НК) ҳамда СКБ, СКС, СКН синтетик каучуклар киради. Бундай резиналар юқори мустаҳкамлик ва эластикликка эга бўлиб, газ ва сувни ўзидан ўтказмайди. Бундай материаллардан камарлар, қўлқоплар, транспортёрлар лентаси, кабель қобиғи, демпфер воситалари ва шунга ўхшаш бошқа буюмлар тайёрланади. Уларнинг зичлиги $910\ldots 920\text{ кг/м}^3$, мустаҳкамлиги эса $15\ldots 34\text{ МПа}$ дан ошмайди, нисбий чўзилиши 700% бўлиб, ишлаш ҳарорати -80° дан $+130^{\circ}$ гачадир. Махсус шароитларда ишлатиладиган резиналарга найрит, СКН, тиокол, СКТ ҳамда иссиқлик ва кимёвий муҳитга чидамли резиналар (СКФ) киради. Лекин бу резиналар -40°C дан -55°C ҳарорат оралиғида мўрт бўлиб, бензин ва бензол таъсирига кам чидамлидир.

Уларнинг хоссалари 13808—79 ГОСТ, 9.024—74 ГОСТ ҳамда 64333—71 ГОСТ билан белгиланади.

Резиналарнинг зичлиги $98\ldots 190\text{ кг/м}^3$ ни ташкил қилиб, мустаҳкамлиги эса ишлаш шароитининг ҳароратига боғлиқ. Масалан, найрит ва СКН учун (σ_0) мустаҳкамлик $20\ldots 26\text{ МПа}$ га, ишчи ҳарорат эса $100\ldots 130^{\circ}\text{C}$ га, ҳатто 170°C га тенг.

Машинасозликда ишлатиладиган резиналар бир неча гуруҳга бўлинади: герметиклар, тебраниш ва товушни ютадиган, зарбий кучнинг таъсирини юмшатадиган, куч узатадиган, ишқаланиш жуфтлари тайёрланадиган, эгилувчан ва ҳоказо резиналар. Резиналарнинг физик-механик хоссаларини синови учун ҳамда намуна шакли ва ўлчамларини белгилаш учун 269—66 ГОСТ мавжуддир.

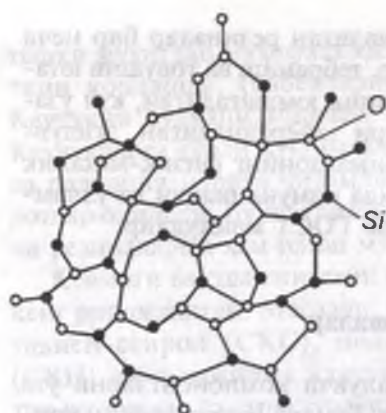
4. Шишалар

Шишалар шиша ҳосил қилувчи компонентларни ўта совитиш натижасида олинади. Бундай қаттиқ, лекин кристалл бўлмаган материаллар органик бўлмаган шишалар деб аталади. Хом ашё сифатида кремний, бор, алюминий, фосфор, титан, цирконий, литий, калий, натрий, кальций, магний, қўрғошин элементлари оксидлари қўлланилади.

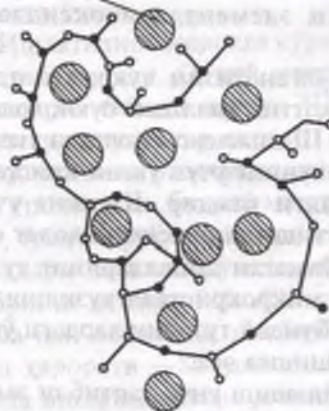
Мураккаб таркибга эга бўлган тизим суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтиши ҳамда қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтиши қайтар жараёндир. Шишасимон ҳолатда тизим ортиқча ички энергияга эга, шунинг учун унинг кристалл ҳолатга қараганда барқарорлиги камдир. Шунинг учун жисмнинг кристалл ҳолатга ўтиши шишасимон ҳолат орқали рўй беради. Органик бўлмаган шишаларнинг тузилишида жуда кичик ҳажмда микрокристалл тузилишлар (кристаллитлар) мавжуддир. Бундай тузилишлардаги ўрта қисм юқори тартибли жойлашишга эга.

Унинг атрофларидаги жойлашиш унча тартибли эмас. Кристалл қисмнинг ораларида шишасимон ҳолат мавжуддир (кристалл бўлмаган қаттиқ жисм).

Кремнийли (силикат) шишаларнинг асоси кремний (II) — оксиддан иборат бўлиб, нисбатан кенг қўлланилади. Силикат шишаларнинг кристалл панжара тузилишлари тетраэдр синчларидан иборат бўлиб, бурчаклари туташган бўлади. Бундай синчларнинг кристалл кварцлардан фарқи шундаки, боғланиш тугунлари кенг ўзгариши мумкин. Натижада тартибланиш даражаси ўзгаради (109-расм). Кремнийнинг бир қисми алюминий ёки бор элементи билан алмаштирилса, ўзгача тузилиш ҳосил бўлади. Ҳосил



Na (K, Ca, Mg, Ba,)



109-расм. Анорганик шишаларнинг тузилиши: а — кварц шиша, б — ишқорли шиша.

бўлган шишалар алюминий-силикатли ёки борсиликатли шишалар деб аталади. Модификаторларнинг (Na , K , Ca , Mg ва хоказо) атомлари кремний-кислород татраэдри орасига жойлашган бўлиб, асосий синч (каркас) тузилишни бузмайди. $Na_2O-CaO-SiO_2$ таркибга эга бўлган кўп жинсли силикат шишаларга Al_2O_3 ва MgO қушилади. Бундай шишаларни тайёрлашда шихта материалларни тайёрлаш, махсус печларда пишириш, керакли шаклни бериш ҳамда ҳарорат таъсирида кимёвий ишлов бериш каби ишларни бажариш керак. Кварц шишалар табиий ва сунъий кварцларни қайта ишлаш орқали олинади.

Техник шишаларнинг асосини алюминий, бор, кремний оксидлари ($Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$) дан иборат мураккаб таркиб ташкил қилади. Техник шишаларнинг кўп жинсли бўлиши хосса ҳамда фаза

тузилишларини бошқаришга имкон беради. Масалан, кремний, кислород ва бошқа ташкил этувчиларнинг маълум нисбатида кристалл фаза вужудга келиб, у тез ўсиши мумкин, бу шишанинг мустаҳкамлигига ва ёруғлик ўтказувчанлигига салбий таъсир кўрсатади. Шунинг учун ташкил этувчиларнинг нисбатини тўғри танлаш керак бўлади. Тузилишдаги бетартибликни қисман қайта қиздириш

усули билан тузатиш мумкин, бунда бир йўла ички кучланишлар ҳам камаяди.

Шишанинг хоссалари кристалл жисмлар каби изотроп хусусиятга эга. Унинг зичлиги 2200...8000 кг/м³ ни ташкил қилади ва албатта таркибга боғлиқ бўлади. Шишанинг микроқаттиқлиги 4...10 ГПа га, эластиклик модули 40...120 ГПа га, сиқилишдаги мустаҳкамлиги 2 ГПа га, чузилишдаги мустаҳкамлиги эса 90 ГПа гача, эгилишдаги мустаҳкамлиги 120 МПа га тенг. Кварц шишаларнинг кимёвий таркиби мураккаб бўлмаса ҳам тузилиши бир жинсли бўлиб, зарбий қовушоқлиги нисбатан кам. У мўрт ва нисбатан юқори мустаҳкамликка эга.

Шиша иситилганда унинг қовушоқлиги ортиб боради, Бунга қараб унинг агрегат ҳолатини аниқласа бўлади. Каттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтиш маълум ҳарорат оралигида содир бўлади. Ана шу ҳароратда чегаралари шишасимон ҳолатга ўтиш (400...600°С) ва юмшоқ (600...800°С) ҳолат билан белгиланади. Оралиқ ҳарорат шиша юқори қовушоқлик ва пластикликка эга бўлади. Шишани қайта ишлаш учун юмшоқ ҳолатга ўтадиган ҳароратдан юқорироқ ҳароратда (1000...1100°С) қиздирилади.

Шишалар тиниқ бўлиб, ёруғликни яхши ўтказди. Улар ёруғлик нуруни синдириш ва қайтариш коэффициентига эга. Шиша таркибини ўзгартириш ҳамда унинг сиртини юпқа парда қоплама билан қоплаш усули билан унинг хусусиятларини ўзгартириш мумкин. Масалан, саноатда қўлланиладиган оддий шиша кўринадиган ёруғлик нурунинг 90% ини ўзидан ўтказди, ультрабинафша нурларни эса деярли ҳаммасини ютади. Кварц шишалар ультрабинафша нурларни тўла ўтказиб юборади. Шиша юзаси юпқа (0,3...1 мкм) металл ёки металл оксидлари билан қопланса, кўринадиган ва инфрақизил нурларни қайтариш хусусияти кескин ошади. Агар шиша таркибига кумуш галогенларидан қўшилса, фототрон деб аталувчи эффект вужудга келади, яъни шиша шаффофлиги ўзгаради ҳамда тушаётган ёруғлик тезлигига қараб, шиша ҳар хил рангда товланади.

Шиша маълум ҳарорат оралигида қиздирилгандан кейин кескин совитилса, ёрилмайди, яъни дарз кетиб синмайди. Бу шишанинг муҳим хусусиятларидан биридир. Кварц

шишаларнинг чизиқли кенгайиш коэффициенти $5,8 \cdot 10^{-7} \text{ C}^{-1}$ га, ҳароратга бардошлилиги эса 1000°C га тенг. Шиша $540\ldots 650^\circ\text{C}$ гача қиздирилиб юқори ҳарорат таъсирида ҳавода ёки мойда тез тобланса, ички кучланишлар барқарорлашади, натижада мустаҳкамлик $3\ldots 6$ баробар ошади ва зарбий қовушоқлик $5\ldots 7$ марта ошиши мумкин. Кимёвий ишлов берилган (масалан, заҳарлаш, ион алмашилиш)да ҳам қўшимча равишда мустаҳкамлик ошади.

Шишаларнинг ишлатилиш соҳаси жуда кенг ва хилма-хилдир. Улардан қувурлар, оптик асбоблар, кимёвий ускуналар ва воситалар ҳамда бошқа маҳсулотлар ишлаб чиқарилади. Шишанинг бундай турлари 15130—79 ГОСТ, 3514—79Е ГОСТ ва бошқа стандартлар билан белгиланади. Шишалар машинасозлик материаллари бўлган композицияларни яратишда ҳам ишлатилади. Махсус юқори мустаҳкамликка эга бўлган шишаларнинг таркиби ва хоссалари 8325—78Е ГОСТ, 10727—73 ГОСТ стандартларда кўрсатилган.

5. Сопол (керамика) материаллари

Бундай материаллардан кўпроқ қурилишларда (ғишт, томнинг устини ёпадиган материаллар, иншоотларга жилов берувчи воситалар, трубалар ва ҳоказолар) фойдаланилган. Бирор шаклга келтирилган лой маҳсулоти юқори ҳароратда пишитилганда материалларнинг асосий физик ҳамда механик хоссалари намоён бўлади.

Техник сопол материалларга ҳар хил кимёвий бирикмалар киради. Бундай материаллар махсус хусусиятларга эга бўлиб, унинг таркибида лой миқдори жуда кам ёки бутунлай бўлмаслиги ҳам мумкин. Техник сополнинг асосий ташкил этувчилари оксидлар ҳамда металлларнинг кислородсиз бирикмаларидан иборатдир. Ҳар қандай сопол, одатда кўп фазали бўлиб, унда кристалл, шишасимон ҳамда газ фазалари ҳар хил нисбатда бўлади.

Кристалл фазанинг таркиби кимёвий бирикма ёки қаттиқ эритмадан иборат бўлиб, сополнинг асосини ташкил қилади. Бундай таркиб материалнинг механик хоссаларини, иссиқбардошлилигини ва шунга ўхшаш бошқа хоссаларини белгилайди.

Шисасимон фаза сопол материалларнинг асосини ташкил қилиб, қатламлардаги кристалл фазаларни бир-бирига боғлаб туради. Шисасимон фаза сополнинг 1...10% ини ташкил қилиб, механик мустаҳкамлиги ва иссиқлик кўрсаткичларини камайтириш билан сопол буюмларнинг ишлаб чиқарилиш технологиясини осонлаштиради.

Сополни пишитиш жараёнида газлар йиғилиб қолиши мумкин. Натижада очик ва ёпиқ ғоваклар ҳосил бўлиб, улар материалнинг зичлиги ва пухталигини белгилайди.

Кўпинча пишитишнинг махсус технологик усули қўлланилади, бунда сополнинг пухта, ғоваксиз структураси ҳосил бўлади. Бундай сопол материаллардан конструкцияларни тайёрлашда фойдаланилади, улардан машина воситалари ва асбоблар тайёрланади. Ғовакли сополдан эса оловбардош материаллар, филтрлар, диэлектриклар тайёрланади.

Оксидлар асосидаги сопол юқори мустаҳкамликка эга (28-жадвал). Бундай оксидларга алюминий, цирконий, магний, бериллий ва қатор металл оксидлари киради. Уларнинг структураси поликристаллардан иборат бўлиб, бир фазали бўлади. Алюминий оксид асосидаги сопол юқори ҳароратда ўзининг юқори механик хоссаларини йўқотмай ишлай олади. Бундай материаллардан кескичлар, фильералар, маълум ўлчамга эга бўлган асбоблар, подшипниклар, печлар, тигеллар тайёрланади. Атом-энергетика машинасозлигида эса бериллий, торий ва уран элементларининг оксидлари асосида олинган сопол қўлланилади.

Карбид, нитрид, боридлар асосидаги сопол ҳам техникада кўп қўлланилади. Кварц туридаги сопол материаллар радио-техникада қўлланилади. Чунки улар пьезоэлектрик каби хусусиятларга эга.

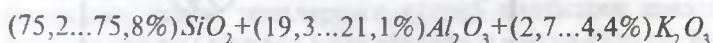
Суюқланиш ҳарорати юқори бўлган кислородсиз сопол деб аталувчи материаллар металл бирикмалари (MeC — карбид, MeB — борид, MeN — нитрид, $MeSi$ — силицид ҳамда MeS — сульфидлар) дан иборат бўлиб, техникада катта аҳамиятга эга. Масалан, машинасозликда кремний нитриддан ички ёнув двигателлар воситалари (цилиндр блоки қопқоғи, поршень ва бошқа қисмлар) ни тайёрлашда фойдаланилмоқда. Чунки бундай материаллар катта

Тоza металл оксидлари асосидаги техник сопол хоссалари

Оксид асос	Эриш ҳарорати °C	Назрий зичлиги, кг/м³	Мустаҳкамлик чегараси (20°C), МПа			Эластиклик модули E, ГПа	Чизикли кескатиш коэффициенти $\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	Турғунлик даражаси	
			σ_r (қўзишда)	σ_s (эгишда)	σ_b (сиқишда)			иссекилик уришига	эрозия емири- лишга
Al_2O_3	2050	3990	260	150	300	382	8,4	юқори	юқори
ZrO_2	2700	5600	150	230	2100	172	7,4	паст	юқори
BaO	2580	3020	100	130	800	310	10,6	юқори	уртача
MgO	2800	3580	100	110	1400	214	15,6	паст	уртача
CaO	2570	3350	—	80	—	—	13,8	паст	уртача
ThO_2	3050	9690	100	—	1500	140	10,2	паст	юқори
UO_2	2760	10960	—	—	980	164,5	10,2	паст	юқори

ҳарорат таъсири остида ишлаш хусусиятини йўқотмасдан ишлай олади. 1600°С гача оксидланишга барқарорлиги ҳамда коррозия ва эрозияга бардошлилиги катта. Энг муҳими ана шундай шароитда ишлай оладиган ҳамма конструкцион материаллардан энг арзони ҳамда конструкцияни тайёрлаш технологияси қулайдир.

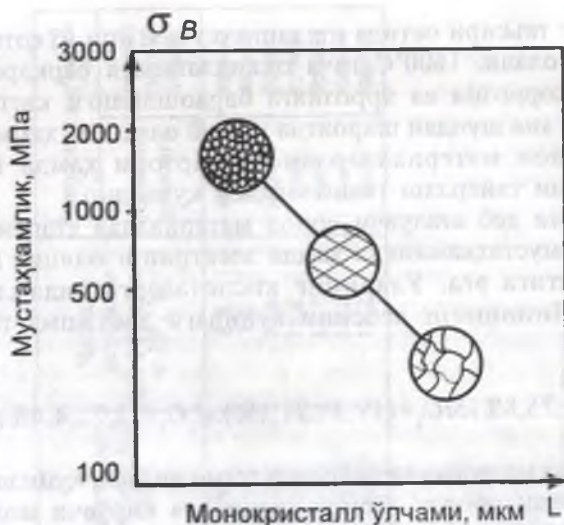
Чинни деб аталувчи сопол материаллар етарли даражадаги мустаҳкамликка ҳамда электрни изоляция қилиш хусусиятига эга. Уларнинг кислоталарга чидамлилиги катта. Чиннининг асосини қуйидаги аралашма ташкил қилади:



Сопол материалларни олиш технологияси қуйидаги боқичлардан иборат. Сопол таркибига кирувчи моддалар майдаланади ва ҳосил бўлган кукун яхшилаб аралаштириб, унга боғловчи ва юмшатовчи қўшимчалар қўшилиб намланади. Сўнгра ҳосил бўлган аралашмага бирон шакл бериш учун у босим остида ишланади (пресслаш, экструзиялаш) ёки қуйилади.

Сопол материалларнинг асосий камчилиги мўртлигидир. Шунинг учун ҳам улар конструкцион материал сифатида деярли ишлатилмайди. Бошқа хоссалари бўйича (қаттиқлик, иссиқбардошлик, коррозиябардошлик ва ҳоказо) сопол материаллар металл ва қотишмалардан устун туради. Шунинг учун асосий муаммо сопол материалларнинг мўртлигини камайтиришдан иборат. Бу материалларнинг мўртлигини камайтириш учун таркибни ташкил қилувчи моддаларни янада юқори даражада майдалаш, бир хил тартибли ва майда доначали структурани ҳосил қилиш ҳамда мумкин қадар агломерат заррачалардан, кимёвий қўшимчалардан фойдаланмаслик керак. Бунинг учун жуда майда кукун доначаларини пишитишда (юмшатишда) ҳароратни юқорироқ кўтариш керак бўлади. Сопол структурасидаги микрокристалл ўлчамлари қанча майда бўлса, унинг механик хоссалари шунча юқори бўлади (110-расм).

Агар ўлчамлари 0,3 мкм дан кичик микрокристалларни олиш мумкин бўлса, бундай сопол материалларнинг нисбий чўзилишини 100% га етказиш ҳамда уни экстру-



110-рasm. Кремний карбид асосидаги сополнинг мустахамлигига монокристалл ўлчамининг таъсири.

зия, волочирлаш (чўзиш), болғалаш усуллари қўллаш билан қайта ишлаш мумкин бўлади.

Сопол материалларини кукун ёки толасимон ҳолатда композицион материалларни ҳосил қилишда ишлатилса, жуда катта самарадорликка эга бўлиш мумкин.

Намунавий назорат саволлари

1. Сунъий материаллар деб нимага айтилади?
2. Полимерларнинг тузилиши уларнинг хоссаларини тўла ифодалай олади-ми?
3. Полимерларнинг физик ҳолатлари кристалллардан қандай фарқ қилади?
4. Ойнасимон структурани қандай тушунасиш?
5. Полимерлар ва металлларни кристалланишида фарқ борми?
6. Полимер материал билан пластмасса материаллари орасида фарқ борми?
7. Термореактив ва термопласт полимерлар орасида қандай фарқ бор?
8. Конструкцион полимерларга мисол келтиринг?
9. Резинанинг қандай хусусиятларини биласиз?
10. Кремнийли (силикат) шишаларнинг таркибий тузилиши қандай?
11. Шишанинг қандай хоссаси кристалл жисм хоссасига ўхшайди?
12. Сопол (керамика) материалларининг тузилиши ва уларнинг хоссалари ҳамда камчиликларини кўрсатинг.

КОМПОЗИЦИОН МАТЕРИАЛЛАР

Бир бутунлик ҳамда мустаҳкамликни таъминловчи юмшоқ ва қаттиқ фазалар аралашмасидан иборат мураккаб жисмга композицион материаллар деб аталади. Оддийроқ қилиб айтганда кўп компонентли жисмларнинг ўзи композицион материалларни ташкил қилади, масалан, гранит ҳамда кремнийнинг турли бирикмалари. Ҳозирги замон композицион материалларга темир-бетон конструкцияларини мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Полимер асосидаги шиша толаларини қўшиб яратилган шишали пластиклар ҳам шундай материалларга мисол бўлади. Кейинги йилларда полимер ва металл асосидаги юқори мустаҳкам композицион материаллар кўплаб ишлаб чиқарилмоқда.

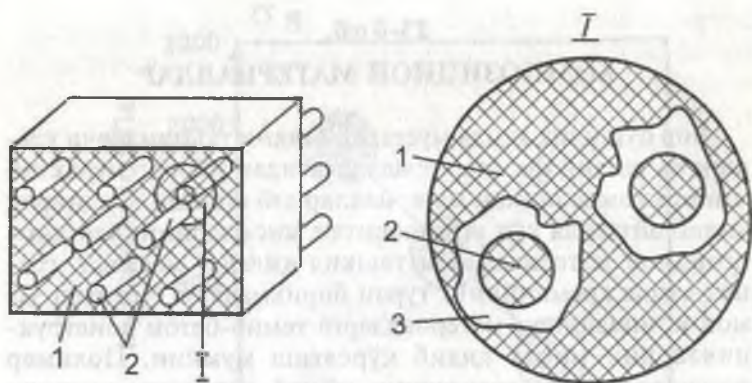
1. Композицион материалларни яратиш усуллари

Ҳозирги замон композицион материаллар мураккаб таркибли кўп фазади конструкциялар материаллар бўлиб, компонентлар (ташкил этувчилар)нинг ҳажм бўйича нисбатини танлаш усули билан яратилади. Композицион материалларда ҳар бир фаза ўзининг чегарасига эга бўлади.

Композицион материалнинг бир бутунлигини таъминловчи — ташкил этувчига боғловчи компонент (матрица) деб аталади. Бошқа компонентлар (арматура, тўлдирувчи ва ҳоказо)нинг шу матрицада жойлашиши маълум геометрик қонуниятга бўйсунishi ёки бўйсунмаслиги ҳам мумкин. Матрица билан қўшимчалар орасида махсус юпқа қатлам бўлиб, у ажралиш юзасини белгилайди (111-расм).

Композицион материалларни синфларга ажратишда матрица ёки арматура ва қўшимчаларнинг турига, микро-тузилиш хусусиятлари ва материални олиш усулига ҳам қаралади.

Матрица материалининг турига қараб, композицион материаллар қуйидаги турларга бўлиниши мумкин: металл



111-расм. Композицион материалларнинг тузилишини тушунтирувчи чизма: 1 — матрица (боғловчи материал); 2 — арматура (мустаҳкамловчи) элемент; 3 — ажралиш юзаси.

асосли, органик бўлмаган (органик бўлмаган полимерлар, минераллар, углерод, сопол) ва кўп матрицали аралаш композицион материаллар.

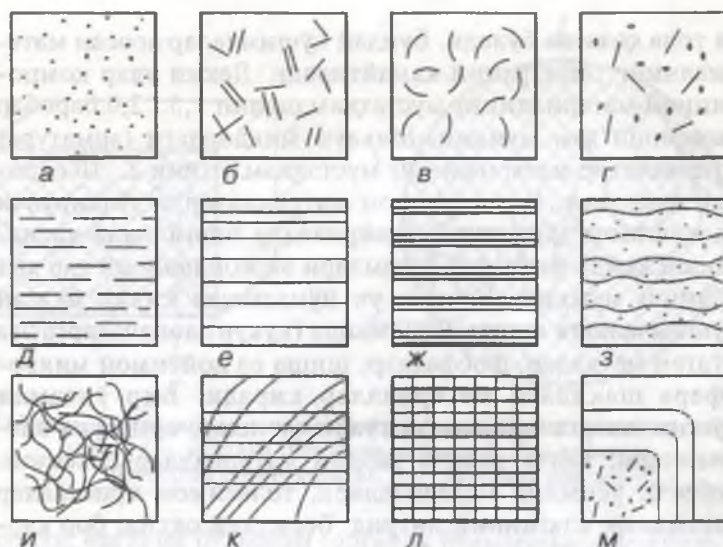
Боғловчи материалнинг вазифаси махсулотга маълум геометрик шакл бериб қолмасдан, балки у қучланишларни ҳажм бўйича бир хил тақсимланишини таъминлайди ва маълум механик хоссани шакллантиради ҳамда арматура ёки қўшимчаларни ташқи муҳитдан сақлайди. Композицион материалнинг иссиқ ва коррозиябардошлилик, электр ва иссиқликни сақлаш қобилияти, қайта ишлаш технологияси каби муҳим хоссалари боғловчининг хусусиятларига боғлиқ. Лекин арматура ва қўшимча элементларнинг турига қараб ҳамда уларнинг матрицада жойлашиши ва геометрик ўлчамларига қараб, композицион материалларнинг хоссалари ўзгаради. Масалан, композицион материалга қўшимчалар, яъни арматура элементлари асосан, механик хоссаларни кўтариш учун қўшилади. Бунда мустаҳкамлик, бикрлик, пластиклик ортиб, материалнинг зичлиги, электр хоссалари, иссиқлик ўтказувчанлиги ва бошқа хусусиятлар маълум йўналишда ёки фақат алоҳида олинган жойлардагина ўзгаради. Композицион материалларнинг энг муҳим хусусиятлари деформацияга мустаҳкамлигидир. Тўлдирувчилар сифатида қўлланиладиган элементлар одатда майда кукун ёки кал-

та тола ҳолатда бўлади. Бундай қўшимчалар асосан материалнинг таннархини камайтиради. Лекин улар композицион материалнинг мустаҳкамлигини 1,5...2,0 баробар ошириши ҳам мумкин. Маълум миқдордаги (арматура) қўшимчалар материалнинг мустаҳкамлигини 2...10 баробар оширади. Композицион материалларда тўлдирувчи ва қўшимча (арматура) материаллар биргаликда қатнашиши ҳамда уларнинг ўлчамлари ва жойлашиши ҳар хил бўлиши мумкин. Ўлчами уч йўналишда кичик бўлган қўшимчаларга қурум, қум, майда (кукун) доначаларга эга бўлган металллар, фосфатлар, шиша ва лойсимон микросфера шаклдаги материаллар киради. Бир ўлчамли қўшимчаларга толасимон тўлдирувчилар, арматура элементлари, калта толали табиий материаллар (масалан, асбест), ўсимлик материаллари, толасимон кристаллар (оксидлар, алюминий нитрид, бериллий оксид, бор карбид, кремний нитриди), узун толали ҳар хил органик бирикмалар ва ҳоказолар киради. Икки ўлчамли тўлдирувчиларга ленталар, матолар, тўрсимон ва бошқа арматураловчи элементларни келтириш мумкин.

Композицион материаллар хоссаларига қўшимча элементлар (тўлдирувчи)нинг таъсири жуда катта бўлганлиги учун кўпинча шу композицион материалнинг номи унинг тўлдирувчиси номи билан ҳам айтилади. Масалан, графитопластлар, шиша толали композициялар, органопластиклар ва ҳоказо.

Композицион материалларни макротузилиши бўйича ҳам фарқлаш мумкин (112-расм). Матрицада тўлдирувчилар тартибсиз жойлашиши мумкин, лекин кўпинча уларнинг тартибли жойлашишига эришишга ҳаракат қилинади. Ҳар хил ўлчамга эга бўлган тўлдирувчи ва арматуралар биргаликда қатнашганда уларнинг ўзаро тартибли жойлашиш имкониятлари кўп бўлади.

Композицион материалларнинг хоссалари ҳамма йўналишда бир хил бўлса, бундай материал хоссалари изотроп бўлади. Бундай материалларга кукун ҳолидаги қўшимчалари хаотик жойлашган композициялар киради. Материалларнинг турли йўналишлардаги хоссалари фарқ қилса, бундай композициялар анизотропик хоссаларга эга дейи-



112-расм. Тўлдирувчи ва арматуранинг тартибсиз (а—г, и), бир ўқ йўналишида (д—з) ҳамда мураккаб (н, л. м.) жойлашишини тушунтирувчи чизма: а — қуқун; б — қалта тоғалар; в — пайраҳалар; г — қуқун билан қалта тоғалар аралашмаси; д — қалта тоғалар; е—и — узун тоғалар; ж — тўқима ва юпқа материаллар чиқиндиси; з — тўқима ва қуқун аралашмаси.

лади. Бундай композицияларда арматура сифатида тоғалар, пластинкалар, матолар, турлар маълум йўналишда жойлаштирилган бўлади.

2. Полимер асосидаги композицион материаллар

Полимер асосидаги композицион материалларда (ПКМ) ҳамма ташкил қилувчиларни бирлаштириб яхлит бир бутунликни ҳосил қилувчи матрица сифатида полимер боғловчилар қўлланилади. ПКМ га пластмассаларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Пластмассаларни яратишда полимер асос юқори оқувчанлик ёки юқори эластиклик ҳолатига келтирилади, сўнгра маълум бир технологик усул билан қўшимчалар киритилади, совигандан кейин (қаттиқ ҳолатда) композиция асоси шишасимон

галл ҳолатда бўлади. Ҳозирги пайтда жуда ажойиб хоссаларга эга бўлган ПКМ яратилганки, уларнинг солиштирма мустаҳкамлиги, коррозиябардошлилиги, бошқариладиган магнит ва электр хоссалари каби хусусиятлари одатдаги пўлат ва чўян конструкцион материалларнинг хусусиятларидан қолишмайди. Ишлаш қобилиятлари 200...400°C да ҳам сақланиб қоладиган ПКМ лар яратилган. Бундай материалларни келажакда автомобиль, кема ҳамда самолётсозликда кенг ишлатиш имконияти бор. Композицион материаллар техникадаги механик тебранишларни тўхтатиши ёки камайтириши ҳам мумкин.

Матрица сифатида ҳам, қўшимчалар сифатида ҳам юқорида кўрсатилган материалларни қўллаш мумкин. Матрицанинг тўлдирувчи жисмларга адгезиясини механик равишда ҳосил қилиш мумкин эмас. Полимер макромолекулаларида жуда мустаҳкам ковалент боғланиш бўлганлиги ва тўлдирувчилар эса металл ёки ион боғланишда бўлганлиги учун матрица билан тўлдирувчи элементлар орасида мустаҳкам кимёвий боғланишни ҳосил қилиш қийин. Шунинг учун тўлдирувчи билан матрица орасида адгезион боғланиш ҳосил қилиш мақсадида юпқа парда қатламдан фойдаланилади.

Ташқи куч таъсири матрица ва тўлдирувчиларнинг мустаҳкамлигига пропорционал (ёки эластик модулига пропорционал) тақсимланса, ПКМнинг мустаҳкамлиги катта бўлади. Бунинг учун матрицанинг чўзилишдаги деформация қиймати тўлдирувчи (арматура)нинг деформация қийматидан катта ёки тенг бўлиши керак.

Одатда кўпчилик ишлаб чиқариш корхоналарида ПКМ дан маҳсулот тайёрлаш шу материалларни олиш технологияси билан биргаликда олиб борилади.

Ҳозирги пайтда ишлаб чиқаришда термореактив пластмассалар кенг қўлланилмоқда. Буларнинг боғловчилари сифатида фенолоформальдегид, кремнийорганик, эпоксид каби қатронлар (смола), шунингдек, полиэфирлар ва ҳар хил модификаторлари қўлланилади. Уларнинг ичида эпоксид қатронларининг тўлдирувчига бўлган адгезияси кучли бўлганлиги учун юқори мустаҳкамликка эга бўлган пластикларни олиш мумкин. Кремнийорганик боғловчи

асосидаги пластикларни узоқ вақт қиздирилганда ҳароратга турғунлиги $260...370^{\circ}\text{C}$, фенолоформальдегидли 260°C гача, полиамидли боғловчи пластиклар эса $280...350^{\circ}\text{C}$ ни ташкил этади. Полиэфир ва эпоксид қатронларнинг хусусиятларидан бири фақат юқори ҳароратдагина эмас, балки оддий шароитда ҳам қўшимчалар ажратиб чиқармасдан ва чўкма ҳосил қилмасдан қотиши муҳим хусусиятидир. Қатламли пластмассалар чидамли конструкциялар учун қулай материаллардир. Юпқа қатламли тўлдирувчилар орасида боғловчи элементлар орқали тахланиб, бир бутун анизотроп хусусиятга эга бўлган материал ҳосил қилинади. Бундай материаллар лист, қувур, плита ҳолатида чиқарилади. Улардан механик ишлов бериш орқали ҳар хил тафсилотлар, буюмлар ишлаб чиқилади.

Турли қоғозлардан модификацияланган феноль, анилоформальдегид ва карбомид қатронлари билан шимдирилиб гетинакс ишлаб чиқарилади. Гетинакс электротехника саноатида муҳим материал ҳисобланади. Баъзи бир турлари декоратив мақсадларда ҳам қўлланилади. Гетинакс $120...140^{\circ}\text{C}$ гача ҳоссаларини йўқотмайди, химикатлар, суяқ аралашмалар, озиқ-овқат таъсирига ҳам чидамли. Улардан самолёт ичини, темир йўл вагонлари, кема каюталарини ичини пардозловчи қоплама сифатида ҳамда қурилишда ҳам шу мақсадларда кенг фойдаланилади.

Текстолитлар (боғловчи — термореактив қатронлар, тўлдирувчилар — латта ва қоғоз чиқиндилари) ҳам қатламли материаллар бўлиб, саноатда муҳим аҳамиятга эга. Уларни ёрилишга (дарз кетишга) қаршилиги катта ҳамда тебранма юкланишларни сундиради. Ишлатилишига қараб уларнинг конструкцион, электротехник, эгиловчан жипсланувчи (герметик) ҳамда графитланган турлари мавжуд. Улардан шовқин чиқармайдиган катта ва кичик тишли ғилдираклар, подшипникларнинг алмашинувчи (вкладиш) қисмлари тайёрланади. Улар бронзаларга нисбатан $10...15$ баробар узоқ ишлайди, ишлаш шароити ҳарорати $80...90^{\circ}\text{C}$ дан ошмаслиги керак. Конструкцион текстолитлар жўвалаш дастгоҳларида, марказдан қочма куч асосидаги сув сўргич (насос)ларда, турбиналарда ишлатилади.

ДСП деб аталувчи ёғоч пайрахалар (ёки куқунлар) ва фенолоформальдегидлардан иборат прессланган тахта ёки плитасимон материаллар ҳам юқори физик ва механик хоссаларга эга. Улар қурилишда кенг ишлатиш билан биргаликда машинасозликда ҳам қўлланилади. Масалан ДСП дан тайёрланган тишли гилдирак пўлатли гилдирак билан ишлаганга нисбатан шовқин анча паст ҳамда чидамлидир. Улардан тайёрланган подшипник, металлда чуқур ейилиш изларини қолдирмайди. Шунингдек, уларда ҳаракат узатувчи гилдираклар (шківлар), втулкалар ва яна кўпгина автомобиль ва трактор буюмлари тайёрланади. Лекин ДСП нинг намликка мойиллиги кучлироқ.

Тоғали ойна ва термореактив қатронлардан иборат ойнали текстолитлар ҳам саноатда кенг қўлланилади. Лекин бундай ойнали пластикларнинг камчилиги бир хил хоссаларга эга бўлмаганлигидир (7...15% га фарқ қилади). Механик хоссалари ҳароратга боғлиқ бўлиб, ҳарорат кўтарилиши билан уларнинг механик хоссалари кескин камайдир. Эластиклик модули ҳам юқори эмас. Лекин солиштирма бикрлиги (E/γ) бўйича кўпгина металллардан қолишмайди, солиштирма мустаҳкамлик (σ/γ) жиҳатидан эса пўлатлардан ҳам юқори.

Бир йўналишли ойна тоғали пластиклардан самолётнинг юк кўтарадиган конструкциялари, машина кабиналари, кузовлари, темир йўл вагонлари ва кемаларда кенг ишлатилади.

3. Металл асосидаги композицион материаллар

Металл матрицага эга бўлган композицион материаллар (МКМ)нинг ишлаш хусусиятлари, оловбардошлилиги, бикрлиги, солиштирма мустаҳкамлиги металл ва қотишмалардан устун туради. Бу ерда матрица билан тўлдирувчи юзаси орасида физик-кимёвий таъсир мавжуд бўлиб, у асосан диффузион ва кимёвий жараёнлар натижасида содир бўлади. Бу унумли универсал технологияни излаб топиш ҳамда композицион материалнинг таркибини танлаш имкониятини яратади. Тўлдирувчи элементларнинг янги турларини кўпайтириш МКМ нинг

қўлланиш соҳаларини янада кенгайтиришга имкон беради. Шунинг учун ҳам янги турдаги МКМ яратишга борган сари кўпроқ эътибор берилмоқда. Масалан, самолёт-созликда ва фазовий кемаларни яратишда ишлатиладиган воситалар, антенналар, қуёш энергиясидан фойдаланувчи қисм воситалари каби буюмларни тайёрлашда МКМ дан фойдаланилади.

МКМ ларга қаттиқ майда доначалар билан мустаҳкамланган кукун металлургияси маҳсулотидан фойдаланиб яратилган материаллар, маълум йўналишда кристаллан-тирилган материаллар, толали тўлдирувчилардан фойдаланилган материаллар ва ҳоказолар киради. Бундай материалларга, масалан, САП (пишитилган алюминий кукун) ёки кўп компонентли пўлатлар, металл-сопол қаттиқ қотишмалар ва ҳоказолар киради. Саноатда дисперсион мустаҳкамликка эга бўлган титан, никель ёки алюминий асосидаги оловбардош композициялар кўп ишлатилади. Масалан, $Cr-Ni$ асосидаги композициянинг узоқ муддатли мустаҳкамлиги (σ_{100}^{1000}) 115 МПа га тенг. Демак, материал 1000°C ҳароратда 100 соат давомида 115 МПа кучланишга чидай олади.

Коррозиябардош композицион қотишмалар ҳам ишлаб чиқилган ва саноатда қўлланилмоқда. Бунга ферротитанидларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Уларнинг асосини легирланган темир қотишмалари ташкил қилиб, унга 10...75% титан карбид қўшимча сифатида қўшилган. Таркибида мустаҳкамловчи қўшимча сифатида 20...45% титан карбид бўлган ҳамда хром, молибден, вольфрам, алюминий ва никель билан комплекс легирланган темир асосидаги композицион қотишма агрессив муҳитда ишлайдиган подшипник воситаларини, тегирмонда ишлатиладиган золдирларни тайёрлашда ишлатилади.

Бундай материалларда мустаҳкамловчи жисм сифатида металл бўлмаган элементларнинг толалари ёки қийин эрийдиган бирикмалар (Al_2O_3 , ThO_2 , SiC) ҳамда металдан тайёрланган симлар (вольфрам, молибден ва ҳоказолар)дан фойдаланилади. Толаларнинг диаметри 1 мкм дан 50 мкм гача бўлиши мумкин. Толасимон монокристаллар, симларнинг диаметри эса 0,1...0,3 мм ни ташкил қилиши

мумкин. Одатда тола ва симларнинг узунлиги диаметридан ўн мартача катта бўлади.

Алюминий асосидаги композицияларда 0,15 мм диаметридаги сим арматура сифатида қўлланилганда мустаҳкамлик (σ_s) 3600 МПа га етади, яъни бу алюминийнинг мустаҳкамлигидан бир неча ўн марта кўпроқ. Алюминий асосидаги композицияларни бۆр толалари билан тўйинтирилганда унинг эластиклик модули ҳам ортади.

Алюминий ва титан асосидаги толасимон қўшимчаларга эга бўлган композициялар кўпроқ самолётсозлик ва космик кемасозликда кенг қўлланилади. Чунки бу соҳада материалнинг солиштира мустаҳкамлиги муҳим аҳамиятга эга. Бундай материаллар машинасозликда, кимё саноати ва бошқа соҳаларда ҳам кўплаб ишлатилади.

Мисол тариқасида 31-жадвалда металл асосидаги баъзи-бир композицион материалларнинг механик хоссалари келтирилган.

31-жадвал

Металл асосидаги композицион материалларнинг механик хоссалари

Материал	МПа да		E, ГПа	σ_s/g	E/ γ
	σ_s	σ_{-1}			
Бор-алюминий (ВКА—1А)	1300	600	220	500	84,6
Бор-магний (ВКМ—1)	1300	500	220	590	100
Алюминий-углерод (ВКУ—1)	900	300	220	450	100
Алюминий-пулат (КАС—1А)	1700	350	110	370	24,4
Никель-вольфрам (ВКН—1)	700	150	—	—	—

Намунавий назорат саволлари

1. Композицион материалларни таърифланг.
2. Машинасозликда композицион материалларни қўллашга мисол келтиринг.
3. Композицион материалларнинг яратиш усулларини таърифланг.
4. Қатламли комозитларга мисол келтиринг.
5. Металл матрицали композит хоссаларининг металлдан устунлиги нимада?
6. Дисперсион мустаҳкамликка эга булган композитларга мисоллар келтиринг.

МАТЕРИАЛ ТАНЛАШ АСОСЛАРИ

Амалий мақсадларда керак бўладиган материалларни танлаш учун уларнинг хусусиятларини яхши билиш керак. Материалнинг хусусиятлари унинг ташкил этувчилари табиатига, қотишма ёки композицияларнинг тузилиши ва хоссаларига боғлиқдир.

Маълумки, деталь ишлаш даврида ишқаланиб ёки коррозия эмирилади. Бундан ташқари деталлар статик ва динамик кучлар таъсирида узоқ вақт бўлганлиги учун чарчаш натижасида эмирилиши мумкин. Ёки бўлмаса, тажовузкор (агрессив) муҳит таъсирида ҳам эмирилиши мумкин (катта босим, юқори ҳароратли газ, кислота ва ишқор муҳитлари). Масалан, механик қопқоқлар (клапанлар), цилиндрли қувурлар (гильзалар), турбиналар, сув иситгичлар ва ҳ.к. тафсилотлар чанг (абразив) муҳити ёки газ билан кум-тупроқ зарралари аралашмасидан иборат чанг, сув билан кум-тупроқ заррачаларидан иборат аралашма муҳитлари таъсирида барвақт ишдан чиқади. Худди шунингдек, тишли филдирак ишчи юзалари, золдирли подшипниклар ва ҳ.к. шунга ўхшаш тафсилотлар кўпроқ ўзгарувчан юклама (нагрузкаи) таъсирида бўлганлиги учун чарчаш натижасида эмирилади. Цилиндр гильзалари, клапан, рессор тасмалари каби деталлар фретинг-коррозияли ейилиши ёки аралаш ейилиши мумкин.

Шунинг учун автомобиль ва қурилиш машиналари деталларига қўйиладиган талаблар умумий ва махсус бўлиши мумкин.

Умумий талабларга кўра тафсилотнинг статик ва динамик мустаҳкамлиги белгиланган давр оралиғида машинанинг тўхтамасдан ишлашини таъминлаши керак. Яхши технологик ва ишлай олиш хоссаларига эга бўлиши керак.

Махсус талабларга кўра материал чанг-газ муҳитида, тез занглаш мумкин бўлган муҳитда, юқори кучланиш ва иссиқлик таъсирида ишлаши ва етарли даражада узоқ муддатда ишлай олишини таъминлаши керак. Баъзида қотиш-

маларга жуда махсус хусусиятларга эга бўлиши ҳам талаб этилади (масалан, юқори мустаҳкамлик, ута зангбардошлик, магнит хусусиятлари ва ҳ.к.) Буни қотишмаларнинг таркибини легирлаш ҳисобига мураккаблаштирилиб, махсус структура тузилишларига эришиш орқали таъминлаш мумкин. Лекин легирлаш пўлат хусусиятларини оширишнинг қимматбаҳо усулидир. Шунинг учун легирланган пўлатлардан самарали фойдаланиш учун кўпроқ кам легирланган ва сифатли углеродли пўлатларни қўллашга эришиш керак.

Масалан, оғир юк кўтарадиган машиналарнинг ярим ўқи (полуось), бурилиш панжанинг ўзаги (шкворень поворотной цапфы), поршеннинг бармоқларига ўхшаш деталлар кўпинча легирланган пўлатлардан қилинади. Лекин енгил машиналарнинг ана шундай деталларини сифатли углеродли пўлатлардан (40, 45) тайёрланиб, уларга юза тоблаш берилса ҳам мўлжалланган мақсадга эришиш мумкин.

Пўлатларни танлаш учун умумий кўрсатмалар қуйидагича: конструкция (буюм)ни ишлаш шароитини таҳлил қилиш, унинг геометрик ўлчамлари аниқлиги, ишлаш даври, ишлаб чиқариш тури каби шартларини яхши билиш керак. Шу нуқтаи назардан ва махсус талаблардан келиб чиқиб, пўлат гуруҳи танланади. Шу гуруҳдан бир неча тамғани олиб таҳлил қилинади. Сўнгра битта тамға танлаб олиниб, уни қўллаш бошқаларга нисбатан самарадор эканлиги кўрсатилади.

1. Цементацияланадиган ва нитроцементацияланадиган пўлатларни танлаш

Машиналарнинг кўп қисмлари цементацияланадиган ва нитроцементацияланадиган пўлатлардан тайёрланади. Кўпинча тишли ғилдираклар, шестерня, червак ўқлари, тезликларни қайта тақсимлаш воситаларининг ҳамда золдирли ишқаланиш воситалари (подшипниклар), ўлчов ва кесувчи асбоблар ва калибрларнинг мустаҳкамлигини оширишда материалларни танлаш усулидан фойдалани-

лади. Машина воситалари ёки кесувчи ва ўлчов асбобларининг иш унуми пўлатнинг тўғри танланганлигига боғлиқ. Цементациялаш ёки нитроцементациялаш усули деталнинг устки ва ўрта қисмлари қаттиқлиги ва пластиклигининг маълум нисбатини ҳам таъминлайди. Масалан, шестерня ёки тишли ғилдираклар тишлари юзасининг контакт кучлар таъсирига ва эгилишга чидамлилиги катта бўлиши керак. Тишли ғилдирак ва шестерняларни тайёрлаш учун кўпинча 25ХГТ пўлат танланади.

Пўлатдаги легирловчи элементларнинг миқдори камайтирилса, углероднинг аустенитда эриш даражаси ортиши мумкин. Масалан, 25ХГТ пўлатда углероднинг аустенитда эриш даражаси 0,83% дан ошмаслиги керак бўлса, 0,5% Мо, 0,5% Сг билан легирланган 25Х05М05 пўлат аустенитида эриган углероднинг миқдорини 1,32% гача ошириши мумкин, демак, ундаги карбиднинг миқдори ҳам 2...3 марта кўпаяди.

Шуни ҳам айтиш керакки, цементацияланадиган 20ХНЗА пўлатни контакт кучланишга чидамлилиги синналганда, донача чегараларидаги 0,012 мм ли тўр қатлами мустаҳкамликни 20% камайтирган, 0,02 мм қатламга эга бўлган нуқсон эса цементацияланган пўлатнинг мустаҳкамлигини икки баробар камайтирган. Одатда бундай нуқсонлар цементация қатламининг 10...20% ини ташкил қилиши мумкин. Бундай нуқсонларга йўл қўймаслик учун цементация ҳарорати кичик бўлиши керак. Шундай қилинганда қора доғ шаклидаги нуқсонлар йўқолиши ёки уларнинг қалинлиги жуда кам бўлиши мумкин.

Цементацияланадиган ёки нитроцементацияланадиган пўлатларни танлашда ХТИ берилган қатлам таркибини таъминлаш асосий масала ҳисобланади. Чунки ҳисоблаб чиқилган мустаҳкам юза қатлам қалинлиги буюмнинг узок муддат ишлай олишини таъминлайди.

Масалан, қуйидаги масаланинг ечимини топиш керак: Тиш қалинлиги 6 мм бўлган тишли кичик ғилдирак (шестерня) тезликлар кутисида ишлаши мўлжалланган. Тишнинг илдизига тушадиган кучланиш 600 МПа га етиши мумкин. Тишнинг юза қатлампидан 1,5 мм чуқурликда қаттиқлиги 56 HRC дан кам бўлмаслиги керак. Шу тишли ғилдиракни тайёрлаш учун пўлат танлаш керак.

Адабиёт ва маълумотнома (справочник) ларда тишли ғилдираклар учун легирланган цементацияланадиган пўлатлар кўп ишлатилиши қайд этилади. Масалан ишқаланиш ва зарбга ишловчи тишли ғилдираклар учун 20ХГР ни танладик. Лекин масалада берилган шартларни 15 ХФ ҳам таъминлайди. Демак ажратиб олинган иккала тамгадан бирини танлаш керак. Иккаласи ҳам цементация, тоблаш ва паст ҳароратли бўшатиш берилганда масалада талаб қилинганидек, етарли даражада механик хоссаларга эга бўлади.

Масалани ечими учун 15ХФ пўлатини танлаш самардорликка эгага ўхшайди, чунки техник ишловдан кейин тишнинг бутундай кўндаланг кесими бўйича доначалар ўлчами нисбатан кичик (майда доначали) бўлади, бу эса мўрт емирилишнинг олдини олади. Пўлат 20 ХГР да марганец бўлганлиги учун, ХТИ ва термик ишловдан кейин доначалар нисбатан йирик ва мўрт емирилиш эҳтимоли бор. Доначаларни майдалаш учун қўшимча термик ишлов бериш керак бўлади. Бу эса ўз навбатида маҳсулотнинг таннархини оширишга олиб келади.

2. Юқори ўзгарувчан ток билан қиздириб тоблашга мўлжалланган пўлатлар

Одатда урта углеродли ва легирланган пўлатлар (масалан, 40; 45 ёки 40 Х пўлатлар) дан тайёрланадиган буюмларнинг устки қисмини мустаҳкамлаш учун улар юқори ўзгарувчан ток ёрдамида қиздириб тобланади. Лекин бу усул етарли даражадаги юқори мустаҳкамлик ва ишқаланишга бардошлиликни ҳар доим ҳам таъминлмайди. Кейинги вақтда махсус тоблаш чуқурлигини ошириш мумкин бўлган 58 (55 ПП), 47ГТ, ШХ4РП пўлатлар кенг қўлланилмоқда. Улар учун маълум ҳажмий тоблаш режаси белгиланади. Бу усул анча юқори конструкцион мустаҳкамликни таъминлайди. Бу пўлатлар мураккаб шаклга эга бўлган машина воситалари тайёрлашда ишлатилади. Улар эгилиб, буралиб ишлайдиган ва контактдаги юқори кучланишлар мавжуд бўладиган шароитда кўпроқ қўлланилади.

Умуман олганда индукцион ток билан тоблаш учун пўлат танланганда қуйидагиларга эътибор бериш керак: машина воситасининг шаклини мураккаблиги, кўндаланг кесим катталиги, тоблаш чуқурлиги ҳамда эришиш керак бўлган механик хоссалар қийматини билиш керак. Масалан 58 (55 ПП) пўлатдан тоблаш чуқурлиги 1,5...2,5 мм бўлган машина воситалари (тишли ғилдираклар, криставиналар, узун втулкалар ва ҳоказо)лар тайёрланади. 47ГТ пўлатдан тоблаш чуқурлиги 5...7 мм ли катта кўндаланг кесимга (40...60 мм) га эга бўлган автомобиль валлари тайёрланади. ШХ4РП пўлатдан юқори кучланишда ишлайдиган золдирли подшипникларнинг ҳалқалари ҳамда золдирлари тайёрланади. Ҳалқаларнинг қалинлиги 12...20 мм бўлганда тоблаш чуқурлиги 2,5...3,5 мм ни ташкил қилади.

Маълумки, 40, 45 пўлатлардан тайёрланган буюмларнинг тобланган юза қатлами нисбатан кичик, лекин ўрта қисмининг қовушоқлиги катта. Бундай пўлатлардан автомобиль ва тракторларнинг тирсакли ва тақсимловчи валлари тайёрланади. Лекин бундай пўлатлар ПП ёки РП пўлатлар билан алмаштирилса, юқори чидамлилиқ ва мустаҳкамлик ҳисобига металл тежалиши, иккинчи томондан бунда легирловчи элементлар ҳам камроқ ишлатилиши мумкин (32-жадвал). Бу кимёвий-термик ишлаш ўрнини ҳам босиши мумкин, бунда ишчитарнинг ишлаш шароити ҳам яхшиланади.

3. Конструкциян яхшиланадиган пўлатларни танлаш

Бундай пўлатлардан одатда жавобгарлиги катта машина воситалари тайёрланади (валлар, шатунлар, ўқлар, тишли ғилдираклар ва ҳ.к.). Бунда чуқурлиги, даврий кучланишга чидамлилиги, зарбий қовушоқлиги, ишқаланишга қаршилиги ҳамда шунга ўхшаш хоссаларни таъминлаш кўзда тутилади.

Автомобиль ва тракторсозликда кўпинча 40, 45, 40Х, 45Х, 45Г, 50 каби пўлатлар қўлланилади. Лекин бундай пўлатларнинг тоблаш чуқурлиги катта эмас. Шунинг учун кейинги пайтда ана шу пўлатларнинг ўрнига махсус пўлат-

**Тоблаш чуқурлиги катта (ПП) ҳамда чегараланган (РП)
пўлатларни қўллашдаги самарадорлик**

Пўлатнинг тури		Қайси корхонада қандай машина воситаси тайёрланаётганлиги ҳақидаги маълумотлар	Легировчи элементларнинг тежами, %
Одатла қўлланила- диган пўлатлар	Алмаштириш мумкин бўлган пўлатлар		
30ХГТ	55ПП	ЗИЛ машинасининг орқа қўпригидаги ҳаракат узатувчи тишли филдираклар	1,0 Cr 1,0 Mo
40ХГРТ	47ГТ	ЗИЛ машинасининг ярим ўқи	1,0 Cr 1,0 Mn
20ХН2М	55ПП	ЗИЛ, Камаз ва бошқа машиналарнинг криста- винаси	1,0 Cr 1,0 Ni
20ХН2М	55ПП	ГАЗавтомобилининг орқа қўпригидаги ҳа- ракат узатувчи конусли тишли филдираклар	1,0 Cr 1,0 Ni 0,25 Mo
30ХСГА	40	Газ машиналарининг ярим ўқлари	1,0 Cr 1,0 Mn
ШХ15СГ	ШХ4РП	Ҳатқа ёки золтирлари қўндаланг кесими 12...200 мм га тенг бўлган подшип- никлар (тоблаш чуқурлиги 2,5...3,5мм). Масалан, те- мир йўл вагонларида шун- дай подшипниклар иш- латилади	1,0 Cr
12ХН3	55ПП	Электр поездлари ва моторли вагонларда қўл- ланиладиган куч узатувчи тишли филдираклар.	0,68 Cr 3,0 Ni
18ХГТ	55ПП	Тепловозларнинг дви- гателларидаги поршень бармоқлари	
40ХН2МА	47ГТ	Ҳаракатни тақсимловчи қу- тидаги тишли филдираклар 40...60 мм қўндаланг ке- симга эга бўлган ҳаракат узатувчи ўқлар (тоблаш чуқурлиги 5...7 мм)	1,0 Cr 1,0 Mn 0,8 Cr 1,45 Ni 0,2 Mo

лар (55ПП, 45ГТ, ШХ4РП) кенг қўлланилмоқда. Уларга цементациянинг ўрнига индукцион токда тоблаш қўлланилади, натижада термик ишлаш технологияси ихчамлашади. Материал танлашдаги охири қадам эса унинг технологик хоссаларини ҳамда иқтисодий самарадорлигини ҳисобга олишдан иборат. Масалан, ўрта легирланган 12Х2Н4А пўлатнинг ўрнига 55ПП пўлати ишлатилса, кесиб ишлаш осонлашиши ҳисобиға буюм ясаш вақти бир неча ўн баробар қисқаради, буюмнинг таннархи ҳам камаяди.

Легирланган ўрта углеродли пўлатларнинг қўндаланг кесими 10 мм гача бутун ҳажм бўйича тоблаш мумкин, яъни тоблаш чуқурлиги катта эмас. Лекин мураккаб легирланган ўрта углеродли пўлатларда тоблаш чуқурлиги 70 мм дан ҳам ошади.

Масалан, қўндаланг кесими 15 мм бўлган шатун учун пўлат танлаш керак дейлик. Унинг ишлаш шароити $\tau_s \geq 700$ МПа, КСИ ≥ 50 Дж/см². Танланган пўлат учун термик ишлаш маҳоратини (технологиясини) ёзиш керак.

Маълумки шатунлар учун ўрта углеродли яхшиланадиган (масалан, пўлат 40,45), легирланган (масалан, пўлат 40ХГР, 30ХМ) пўлатларни ишлатиш мумкин. Демак улардан бирини танлаш керак. Пўлат 40,45 лардан бирини танлаганда, уларни тоблашдан кейин масалада талаб қилинган механик хоссаларға эришиш мумкин бўлган тақдирда ҳам, талаб этилган тоблаш чуқурлиғига эришишнинг кафолати йўқ.

Легирланган яхшиланадиган пўлат 40ХГР тоблангандан кейин талаб этилган шартларни кафолатига эришиш мумкин. Лекин бундай пўлат тоблангандан кейин мўртликни намоён қилиши мумкин, чунки таркибда марганец бор, шунинг учун ҳам конструкцион мустаҳкамлик юқори эмас. Легирланган пўлат 30ХМ танланганда, тоблангандан кейинги механик хоссалар мажмуасида юқоридаги камчиликлар бўлмайди. Тоблаш чуқурлиги ҳам юқори. Унга қуйидагича термик ишлов беришни тавсия этиш мумкин: 870...890°С га қиздириб, мойда совитилади, бушатиш учун эса 540...560°С га қиздириб сувда ёки мойда совитилади. Термик ишлангандан кейин $\sigma_s \geq 750$ МПа, $\sigma_b \geq 950$ МПа, $\delta = 11...12\%$, $\psi = 45...50\%$ ва тоб-

лаш чуқурлиги 15 мм дан кам бўлмайди. Шунинг учун пўлат 30ХМ ни танлаш тўғри ечимлардан бири ҳисобланади.

4. Пружина ва рессорлар учун пўлатларни танлаш

Пружина ва рессорларнинг узоқ муддат ишлаши кучланиш релаксацияси, яъни ўзгармас деформациядаги кучланишнинг ўз-ўзидан камайишига боғлиқ. Бошқача айтганда, релаксация жараёнида эластик деформациянинг бир қисми қолдиқ деформацияга айланади. Пружина ва рессорлар эластиклигининг бундай йуқолиши вақт ўтиши билан машинанинг ишлашига салбий таъсир кўрсатади ва машиналарнинг барвақт ишдан чиқишига олиб келади.

Пружина ва рессорлар учун юқори углеродли ($C = 0,6...0,8\%$) пўлат танланиб, тоблаш чуқурлигини ошириш учун улар легирланади. Пўлат кўндаланг кесим бўйича тоблангандан кейин тўла эластикликка эга бўлади. Эластиклик технологик усул билан ҳам оширилади. Масалан, пружина ёки рессорлар, чўян шарлар ёки қум билан узлуксиз деформацияланиб мустаҳкамланганда қайишқоқлик хусусияти анча ошади. Одатдаги тоблаш (тўхтовсиз бир муҳитда тоблаш) ўрнига ўзгармас ҳароратда тобланганда пружинанинг эластиклиги ва мустаҳкамлиги ортади.

Пружина ва эластик ленталар учун пўлат танланганда ишлаш шароити ҳам ҳисобга олинади. Масалан, юқори ҳарорат ва оксидловчи муҳитда ишлаш учун зангламайдиган (30Х13, 40Х13) пўлатлар ҳамда зангбардош (масалан, 12Х18Н9Т) пўлатлар танланади (33-жадвал).

Жадвалдан кўриниб турибдики, буюмнинг ишлаш шароитидаги ҳарорат қанча катта бўлса, бошланғич кучланиш бир хил бўлганда ҳам, кучланишнинг камайиши кескин ошиб боради, яъни релаксацион мустаҳкамлик камайиб боради. Амалиётда релаксацияга мустаҳкамлигини ошириш учун махсус қўшимча термик ишлов ҳам берилади. Бундай ишлов шартли равишда "Релаксацион қайта ишлов" деб аталади.

**12 Х18Н9Т пулатдан ясалган пружинанинг
релаксацион мустаҳкамлиги**

Ҳаро- рат °С	Бошланғич кучланиш, МПа	Маълум вақтгача (соатда) юклаган ҳолда ушлаб турилганда кучланишнинг узгариши, МПа						Кучланиш- нинг кама- йиши, %
		1	100	750	1250	1750	2500	
385	202	200	184	150	148	130	112	44,5
420	233	205	128	59	57	57	—	81,5
450	205	190	59	28	—	—	—	86,3

Релаксацион қайта ишлов деганда пружинага ҳарорат остида охириги ишлов берилиб бўлгандан кейин унинг ишлаш ҳароратидан юқорироқ ҳароратда белгиланган куч таъсирида 25 соат чамасида ушлаб туриш тушунилади. Релаксацион ишлов таъсирида пружинада қолдиқ деформация ҳосил бўлади. Бундай ишлов пружинанинг ишлаш турғунлигини оширади.

Умумий ҳолда пружина ва рессорларга қуйидаги талаблар қўйилади: катта қайишқоқлик хусусиятига эга бўлиши керак, материал етарли даражада пластикликка эга бўлиши билан бир қаторда тоблангандан кейин чарчашга бўлган қаршилиги яхши бўлиши керак, оқувчанлик чегарасидаги мустаҳкамлик $\sigma_{0,2} \geq 800$ МПа дан кам бўлмаслиги керак. Энг муҳими, бундай мартенситга эга бўлиши керак.

Масала: Юк машинанинг рессор бўлаклари (пластинкалари)нинг қалинлиги 10 мм бўлиб, мустаҳкамлиги $\sigma_T \geq 800-1000$ МПа дан кам бўлмаслиги керак. Тоблангандан кейин бутун кўндаланг кесим бўйича 90% мартенсит структурага эга бўлиш керак. Ана шу шартларни таъминлайдиган пулат танлаш керак.

Пружина-рессорлар учун пулатларда углерод миқдори $C \geq 0,6\%$ дан келиб чиқиб, пулат 60. 60С2, 60С2НА кабиларни танлаш мумкин.

Пулат 60 учун тоблаш чуқурлиги 9...10 мм ни ташкил қилса ҳам, тоблашда бутунлай кўндаланг кесимида 90%

мартенсит бўлишининг кафолати йўқ. Ундан кўра пўлат 60С2 нинг тоблаш чуқурлиги катта. Бу пўлатни тоблаб, ўрта ҳароратли бўшатиш берилса, $\sigma_T=1100$ МПа га эришиш мумкин. Лекин пўлат 60С2НА ни тоблаб, ўрта ҳароратли бўшатишдан кейин 90% мартенсит структуранинг қалинлиги қарийб 20 мм га етади, мустаҳкамлик эса $\sigma_T=1400\ldots 1700$ МПа гача боради ва юқори зарбий қовушоқликка ҳам эга. Лекин бу пўлат таркибидаги никель ва юқори сифати ҳисобига олдинги иккита пўлатдан қимматроқ. Шунинг учун масаланинг самарали ечими пўлат 60С2 ни танлашдан иборат.

5. Совуқлайин штамплаб буюм олиш учун пўлатларни танлаш

Металлургия корхоналарида жўвалаш усули билан қайта ишланган пўлатлар юпқа ёки қалин лист ҳолида чиқарилади. Улар 9045—70, 4041—71, 16523—70, 1542—71, 503—71, 11268—76, 11269—76 ГОСТ давлат стандартлари билан белгиланади.

Амалиётда кўпинча совуқлайин штамплаш учун кам углеродли пўлатлар қўлланилади. Юпқа қилиб жўваланган пўлат хоссаларига углерод миқдори ҳамда унинг бирикмалари шакли таъсир қилади. Пўлат таркибидаги оз миқдордаги тарқоқ жойлашган цементит ва япаски шаклдаги перлит ҳам пўлатнинг штампланиш хоссасини ёмонлаштирмайди. Агар цементит тўр шаклида ёйилган эркин ҳолда бўлса, штамплаш анча оғирлашади. Бу пўлатдаги цементит тўрининг миқдори 9045—70 ГОСТ билан белгиланади, унинг деформацияланишга бўлган қобилияти эса чўзилишда содир бўладиган сферик чуқурчаларнинг ҳосил бўлиши ва уни чуқурлиги билан белгиланади (10510—80 ГОСТ). Масалан, қалинлиги 1 мм дан кўп бўлмаган пўлат тасма (лист)лари (10Г2, 12Г2, 16Г2, 25ХГСА ва 30ХГСА) совуқ ҳолда штамплашдан аввал 10510—74 ГОСТ бўйича текширувдан ўтиши керак.

Автомобиль ва бошқа машиналарнинг воситаларини тайёрлаш учун пўлат танлашда қуйидагиларга эътибор бериш зарур: ясаётган буюм машинанинг ташқи ёки

ички қисмида жойлашишини аниқлаш; штамплаш учун чузиш ёки эгиш даражасини белгилаш; пўлатни етказиб бераётган ташкилотга микроструктура ва механик хоссалар бўйича қандай талаб қўйилиши кераклигини аниқлаш ва ҳ.к.

Машинанинг ташқи қисми учун танланган пўлат юзаси тоза бўлиб, унда ўйдим-чўнқир, чизиклар каби нуқсонлар бўлмаслиги керак. Бундай нуқсонлар бўёқ ёки бошқа материаллар билан юпқа қатламда қопланганда билиниб қолмаслиги керак, чунки бунда сифат ёмонлашади. Машинанинг ички қисмида жойлашадиган буюмлар учун танланган пўлатда бундай нуқсонлар бўлса ҳам материалнинг сифатига таъсир кўрсатмайди.

6. Қуйиш усули билан буюмлар тайёрлаш учун пўлатларни танлаш

Қуйиш учун мўлжалланган қотишмалар ичида чуян ва пўлатларнинг қуйишдаги технологик хусусиятлари ёмондир, бунда чуяндан кўра пўлатда катта чўкма ҳосил бўлади. Углеродли ва легирланган пўлатларда ҳажмнинг камайиш миқдори ўртача 2,2...2,3% ни ташкил қилса, баъзи легирланган пўлатлар (масалан, 12Х18Н0ТЛ)нинг чуқиш даражаси 2,7...2,8% ни ташкил қилиши мумкин.

Пўлатларнинг оқувчанлиги ва қолипни тўндириш хусусияти ҳам нисбатан ёмон. Қуйиш учун мўлжалланган углеродли ва легирланган пўлатларнинг кимёвий таркиби 977—75 ГОСТ билан, юқори легирланган махсус хусусиятларга эга бўлган пўлатларнинг таркиби эса 2176—77 ГОСТ билан белгиланади.

Қуйиш усули билан буюмларни ясашда кўпинча таркибида 0,08...0,6% углерод бўлган пўлатлар танланади. Бундай пўлатларнинг кристалланиш ҳарорат оралиғи унча катта бўлмай, 30...60°C ни ташкил қилади. Лекин углерод миқдори 0,6...1% бўлганда кристалланиш ҳарорат оралиғи ҳам ортиб боради, яъни 60...120°C ни ташкил қилади. (110Г13П пўлат). Шунинг учун ҳам углероди кўп бўлган ҳамда юқори легирланган пўлатларда чуқиш миқдори катта бўлиши билан бир қаторда, говакчалар, дарзлар,

шакл геометриясининг қийшайиши каби нуқсонлар ҳам ҳосил бўлади. Қуйиш усули билан буюмларни ясаш учун пўлатларни танлашда адабиётларда келтирилган механик хусусиятлардан ташқари технологик хусусиятларни ҳам албатта ҳисобга олиш керак.

Кам углеродли легирланган пўлатларда легирловчи элементларнинг умумий миқдори 2...3% атрофида бўлади. Бундай пўлатларнинг механик хоссалари барқарордир; совуқ ҳароратда ҳам яхши ишлайди; қовушоқ ва дарз ҳосил бўлишига мойиллиги кам, зангбардошлиги ва ишқаланишга қаршилиги ҳам яхши, яхши пайвандланади ва етарли даражада зарбий қовушоқликка эга бўлиб (30 Дж/см^2), 14...15% металл тежалади.

7. Қурилиш буюмлари учун пўлатларни танлаш

Лойиҳаланган машинасозлик ва қурилиш иншоотларини қуришда карбонитридли пўлатлардан фойдаланилади. Масалан, кўприк қурилишида М16С пўлатнинг ўрнига 15ХСНД карбонитридли пўлат қўлланганда 21% ёки 12Г2СМФ пўлат қўлланилганда 44% га яқин металл тежалади.

Кўприк ва йирик машинасозлик иншоотларини қуришда, уларнинг асосий қисмларида 16Г2АФ; 12Г2СМФ, 12ГН2МФАЮ пўлатлар ҳарорат остида ишланган ҳолда қўлланилса, иншоот мустаҳкам ва барқарор бўлади.

Кўп соҳада оддий сифатли камуглеродли пўлатлар ўрнига кам легирланган, ҳароратга чидамли пўлатлар ишлатилса, юқори самарага эришилади. Масалан, машинасозлик саноатидаги йирик иншоотларда, катта ҳажмдаги идишлар (резервуарлар) ёки домна печларининг филофларига СтЗсп оддий сифатли пўлат ўрнига иссиқбардош кам легирланган 16Г2АФ ёки 09Г2С пўлатлар қўлланилса, биринчи ҳолда 37,7%, иккинчи ҳолда 28,1% металл тежалади.

Майда доначали фазалар (карбонитридлар) пўлат тuzилишида (структурасида) бир текис жойлашган бўлиб, ташқи таъсир натижасида ҳосил бўладиган дислокация-

ни кўчишига ҳалақит беради. Дислокация ана шу тўсиқлардан эгилиб ўтиши керак ёки ана шу майда доначалар орасида йиғилиб, наклёп ҳосил қилади. Шунинг учун ана шундай карбонитридларни ҳисобига ҳосил бўлаётган наклёп металлнинг мустаҳкамлигини 15...25% оширишга олиб келади.

Шундай қилиб, яхши хоссаларга эга бўлиш учун доначаларни майдалаш керак, бу эса ўз навбатида легирловчи элементларнинг тури ва миқдорини тўғри танлашга боғлиқ. Фазаларнинг қаттиқ эритмага ўтиш ҳароратлари ҳар хил бўлган карбид ва нитридларни ҳосил қилувчи икки ва ундан ортиқ легирловчи элементлар қўшилганда пухталаниш самарадорлиги катта бўлади. Масалан, 16Г2АФ кам легирланган пўлатда азот элементи бўлганлиги учун унга қўшимча равишда оз миқдорда ($<0,05\%$) алюминий қўшилса, нитрид алюминий (ALN) ҳисобига донача майдаланади, демак, мустаҳкамлик ортади.

Пўлатларнинг мустаҳкамлигини ошириш мумкин бўлган тадбирлар ичида доначаларни майдалаш орқали мустаҳкамликни ошириш 30...40% ни ташкил қилади, лекин пўлатларнинг манфий ҳароратдаги мўртлик даражаси бутунлай доначаларнинг майдаланиши билан белгиланади. Пўлатлар манфий ҳароратда, масалан 0,10...0,15% вольфрам қўшилганда энг катта зарбий қовушоқликка эга бўлади. Юқорида айтганимиздек, бир неча карбид ва нитрид ҳосил қилувчи элементлар қўшилганда, совуқ ҳолда энг яхши зарбий қовушоқликка эришилади.

Намунавий назорат саволлари

1. Материал танлаш учун қандай маълумотларга эга бўлиш керак? 2. Материалларга қўйиладиган умумий ва махсус талаблар нималардан иборат? 3. Пўлат ва қотишмаларнинг хусусиятларини яхшилаш усуллари кўрсатинг. 4. Цементацияланадиган ва нитроцементацияланадиган пўлатларни танлашда нималарга эътибор бериш керак? 5. Цементит тури пўлат мустаҳкамлигига қандай таъсир кўрсатади? 6. Юқори тезликда ўзгарувчан ток ёрдамида қиздириб тоблаш қандай пўлатлар учун ва нима мақсадда қўлланилади? 7. Қандай буюмлар тайёрлашда яхшиланадиган пўлатлар қўлланилади? Бундай пўлатларнинг

танлаш усули нималардан иборат? 8. Пружина ва рессорлар учун пулат танлаш усулини кўрсатинг. 9. Штамплар учун пулат танлашда нималарга эътибор бериш керак? 10. Куйма буюмлар олиш учун пулат қандай танланади? 11. Қурилиш буюмлари учун пулатлар қандай танланади? 12. Пулат танлаш билан боғлиқ бўлган масалаларни мустақил равишда тузинг ва ечимини топинг.

25-б о б.

МАТЕРИАЛШУНОСЛИКНИНГ ЭКОЛОГИК МУАММОЛАРИ

Экологик муаммоларни ҳал қилиш масалалари материалшunosлик фанининг олдига биосферани қўриқлаш вазифасини қўяди. Ҳозирги пайтда ана шу мақсадга эришиш учун куйидаги аниқ йўлларни кўрсатиш мумкин.

Ҳар қандай ишлаб чиқариш бир бутун тизимни ташкил қилади десак, ана шу тизимда ишлаб чиқарувчи ҳамда истеъмолчи ўртасида бирлашув мавжуддир. Агар бу икки томон келишиб ишламаса, демак тизим номувозанатлашади, натижада унинг атроф-муҳит билан муносабати бузилади. Бундай ҳолат вужудга келмаслиги учун ишлаб чиқаришда кам чиқиндиларни технологияни жорий этиш зарур бўлади ёки ишлаб чиқариш чиқиндисини, шу ишлаб чиқаришнинг ўзида ёки бошқа корхона учун хомашё вазифасини бажарадиган бўлиши керак, шундагина ташландиқ чиқиндилар камаёди. Шунинг учун тўла чиқиндисиз технологияга ўтишга ҳаракат қилиш керак. Кундалик амалиётда тайёр маҳсулотни ҳосил қилишда кам чиқинди ҳосил қилишга ёки чиқиндини яна қайта ишлаш мумкин бўлган технологияга эришиш мумкин.

Ҳозирги пайтда ўз хизматини бажариб бўлган (эскирган) ускуналар ўрнига янгиларини ўрнатиш ҳамда ишлаб чиқариш чиқиндиларини қайта ишлайдиган иккиламчи ишлаб чиқаришлар вужудга келаяпти. Ҳозирги кунда иккиламчи ишлаб чиқаришдаги чиқинди-хомашё саноатда қўлланилаётган бирламчи хомашёнинг қарийб 20% ини ташкил қилмоқда. Бу соҳада кимёвий технологиядан фойдаланаётган ишлаб чиқариш бошқа ишлаб чиқаришлар

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. *Рустамов Х.Р.* Физик кимё. — Т., Ўзбекистон. 2000 й. — 491 б.
2. *Скойбеда А.П.* Детали машин и основы конструирования машин — М.: Высшая школа, 2000.—405 с.
3. *Куклин Н.Г.* Детали машин — М.: Москва, 1999—389 с.
4. *Исмоилов М., Хабибуллаев П., Хашулин М.* Физика курси. Т.: Ўзбекистон, 2000— 469 б.
5. *Носиров И.* Материалшунослик — Т.: Ўқитувчи, 1993— 232-бет.
6. *Лахтин Б. М., Леонтьева В. А.* Металловедение — М.; Машиностроение, 1990—528 с.
7. Материаловедение. — Под ред. Б. И. Арзамасова — М.; Машиностроение, 1986—384 с.
8. Материалы будущего — пер. с нем. Под ред. А. Неймана. — Л.: Химия, 1985—240 с.
9. Металловедение и термическая обработка стали (справочник). — I—III т. — М.: Металлургия, 1983—1130 с.
10. *Мирбобоев В. А.* Конструкция материаллар технологияси — Т.: Ўқитувчи, 1991—408 бет.
11. *Пинчук А. С., Струк В. А., Мышкин Н. К., Свириденко А. И.* Металловедение и конструкционные материалы — Мн.: Высшая школа, 1989—461 с.
12. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными лучами. Перевод с английского Д. Поута, Г. Фоти, Д. Джакабсона. — М.: Машиностроение, 1987. — 600 с.
13. Тонкая техническая керамика — пер. с япон. Под ред. Х. Янагида — М.: Металлургия, 1985—279 с.
14. Материалы для авиационного приборостроения и конструкций. (Под ред. А. Ф. Белово). — М.: Металлургия, 1982—400 с.
15. Металлополимерные материалы и изделия. — Под ред. В. А. Белого. — М.: Химия, 1979—312 с.
16. *Носиров И., Гуляметдинов С. З.* Полимер қопламалар ва уларнинг қўлланилиши — Т.: Фан. 1975—60 бет.

МУНДАРИЖА

1-боб. Материалшунослик асослари	5
1. Хомашё ва материал ҳақида тушунча	5
2. Материалшунослик фани	6
3. Материалшунослик фанининг ривожланиш тарихидан қисқача маълумот	8
4. Материалшуносликдаги муаммолар	12
Намунавий назорат саволлари	17
2-боб. Материалларнинг таркиби ва тузилиши	17
1. Металл боғланиш	18
2. Металларнинг кристалл тузилиши ва кристалл панжара хоссалари	19
3. Кристалллардаги нуқсонлар ва уларни аниқлаш усуллари	28
4. Кристалл жисм атомлари диффузияси	35
Намунавий назорат саволлари	36
3-боб. Кристалланиш ва эриш назарияси асослари	37
1. Бир жинсли (гомоген) кристалланиш	38
2. Кўпжинсли (гетероген) кристалланиш	46
3. Пулат қуймасининг тузилиши	47
Намунавий назорат саволлари	49
4-боб. Материалларнинг хоссалари	49
1. Материалларнинг механик хоссалари	49
2. Материалларнинг зангбардошлиги (коррозияга чидамлилиги)	62
3. Материалларнинг электр ва магнит хоссалари	67
4. Материалларнинг технологик хоссалари	73
Намунавий назорат саволлари	75
5-боб. Металл асосидаги қотишмаларда фаза ўзгаришлари	76
1. Металл қотишмаларидаги фазалар	76
2. Мувозанат ҳолатидаги фазалар	84
3. Ҳарорат таъсиридаги структура ўзгаришлари	87
4. Ташкил этувчилари (компонент)лари бир-бирида чексиз эрийдиган тизим (система)ларнинг ҳолат диаграммалари	89
5. Ташкил этувчилари ўзаро чегарали эрийдиган тизимларнинг ҳолат диаграммалари	91