

S.A.Rasulov, V.A.Grachev

QUYMAKORLIK METALLURGIYASI





621.7

Q-88

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA
O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

O'QUV ADABIYOTLARI, BYULLETen VA JURNALLARNI
NASHRGA TAYYORLASH MARKAZI

S.A.Rasulov, V.A.Grachev

QUYMAKORLIK METALLURGIYASI

*Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi texnika oliy o'quv
yurtlarining bakalavriat va magistratura talabalari uchun
darslik sifatida tavsiya etgan*

TOSHKENT «O'QITUVCHI» 2004

БИБЛИОТЕКА
Бух. тип и лп
№ 43/11

Taqrizchilar: texnika fanlari nomzodlari:

A.U.Shoazimov, B.Sh.Sa'dullayev, M.Mirkomilov

Darslik oliy o'quv yurtlari «Quyuv ishlab chiqarish mashinalari va texnologiyasi», «Qora va rangli metallar quymakorligi» mutaxassisligi uchun mo'ljallangan. Kitobda «Konstruksion materiallar texnologiyasi» fanidan ham ko'p ma'lumotlar keltirilgan. Darslikda metallarni va qotishmalarni suyuqlantirish jarayonining fizik-kimyoviy asoslari, qotishmalarni suyuqlantirish pechlari va ularda sodir bo'ladigan jarayonlarning ta'rifi, metall va qotishma suyuqlanmalarining tuzilishi, qotishmalarga pechdan tashqari ishlov berib sifatini oshirish, turli qotishmalarni suyuqlantirish texnologiyasining o'ziga xos xususiyatlari haqida ma'lumot berilgan.

Maxsus muharrir: texnika fanlari nomzodi, dotsent

I.U.Zairov

R 2601000000-64 Qat'iy buyurt.—2004
353(04)—2004

ISBN 5-645-04110-0

© «O'qituvchi» nashriyoti, 2004.

KIRISH

Quymakorlik mashinasozlikning asosiy tayyorlov bazasi hisoblanadi. Quymakorlik — zarur mexanik va ekspluatatsion xususiyatlarga ega bo'lgan muayyan shaklli zagotovkalar olishning eng universal usulidir. Mashina va asboblardagi detallarning ko'p qismi quyma qilib ishlangan. Zagotovka tayyorlashning boshqa usullaridan quymakorlikning farqi shundaki, quymakorlikda metall va qotishmalar suyuqlantirib olinib, undan sifatli quyma detallar olinadi.

Suyuq qotishmalar tayyorlash bilan bog'liq bo'lgan kompleks jarayonlar «Quymakorlik metallurgiyasi» tushunchasi orqali umumlashtirilgan.

Quymakorlik metallurgiyasi o'z ichiga metallurgiyadagi jarayonlarning fizik-kimyoviy va texnologik asoslarini qamrab oluvchi bo'lib, unda quyma qotishmalarni suyuqlantirish pechlar va ularda suyuqlantirish texnologiyasi bayon qilingan. Zamonaviy suyuqlantirish agregatlarida suyuqlantirishga taalluqli bir qancha nazariy va amaliy masalalar ko'rib chiqilgan. Bunda an'anaviy sxema (fizkimyo — suyuqlantirish — pechlar) dan farqli o'laroq, avval quymakorlik metallurgiyasining asosiy prinsiplari va metodlari, so'ngra ularning fizik-kimyoviy asoslari bayon qilingan.

Darslikda, shuningdek, qattiq, suyuq va gaz holatlaridagi moddalarning tuzilishi haqidagi yangicha tushunchalar berilgan bo'lib, fazalarning o'zaro ta'sirlashish jarayonlari mexanizmi va termodinamikasi ko'rib chiqilgan. Kitobda yuqori sifatli cho'yan, po'lat va rangli qotishmalar olish haqidagi ma'lumotlar ham keltirilgan. Quymakorlik qotishmalarini rafinlash (tozalash), modifikatsiyalash va legirlash jarayonlari, suyuqlantirish jarayonlarini optimallashtirish, suyuqlantirish agregatlarini tanlashni texnik-iqtisodiy jihatdan asoslash masalalari ko'rib chiqilgan.

Darslikning I, II, V boblari V.A.Grachev tomonidan, IV, VIII boblari S.R.Rasulov tomonidan yozilgan, III, VI, VII boblarni mualliflar birga yozishgan.



I BOB

QUYMAKORLIK METALLURGIYASINING ASOSIY PRINSIPLARI VA METODLARI

1.1. Quymakorlik metallurgiyasining umumiy xarakteristikasi

Metallurgiya — fan va texnikaning hamda sanoatning ma'dan va boshqa materiallardan metallar olish jarayonlarini, shuningdek, metall qotishmalarining kimyoviy tarkibini, strukturasi, binobarin, xossalarini o'zgartirish bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarni qamrab oluvchi sohasidir.

Quymakorlikda suyuq holatdagi quyma qotishmalar tayyorlash va ularni ma'lum tarkibli hamda talab etilgan xossali holatga yetkazish jarayonlari metallurgiyaga kiradi.

Quymakorlik metallurgiyasining asosiy metodlari suyuqlantirish va biror tashqi ta'sir yordamida (bu ta'sirlar xilma-xil bo'lishi mumkin) suyuq quyma qotishmalarga ishlov berishdir.

Quymakorlikda suyuqlantirish atamasi talab etilgan sifatdagi quymalar olishni ta'minlaydigan ma'lum kimyoviy tarkibli, temperaturali va xossali qotishma tayyorlash bilan bog'liq bo'lgan fizik va kimyoviy jarayonlar majmuyini bildiradi.

Jarayonlarning asosini tashkil etuvchi fizik va kimyoviy qonuniyatlarni majmuyi *suyuqlantirish metodi* deyiladi. Suyuqlantirish metodi uni amalga oshirishning asosiy prinsipi bilan belgilanadi. Masalan, vagrankada suyuqlantirish metodi suyuqlantirish agregati sifatida vagrankadan foydalanishga, yoy yordamida suyuqlantirish esa issiqlikni hosil qilish manbai sifatida yoy razryadidan foydalanishga asoslangan va h.k.

Quyma qotishmalarni suyuqlantirib olishning asosiy xususiyati shundan iboratki, bunda quymaning talab etilgan xossalari unda birdaniga, keyingi metallurgik ishlov berishlarsiz hosil qilinishi zarur. Masalan, metallurgiya zavodlarida suyuqlantirib olinadigan po'lat quyma tarzida quyiladi, keyin esa unga bosim bilan ishlov beriladi (uchinchi metallurgik ishlov), quymakorlikda suyuqlantirib olinadigan po'latdan esa talab etilgan sifatdagi quyma detal olishda foydalaniladi, bu olingan xossalar esa termik ishlov berish yo'li bilan, biroq metallurgik ishlov bermasdan yaxshilanishi mumkin.

Quyma qotishmalarni suyuqlantirib olish, ba'zan metallar va qotishmalar olishning metallurgik jarayonidan iborat bo'lgan birlamchi

suyuqlantirishdan farqli ravishda, *quymakorlikda ikkilamchi suyuqlantirish* deb ataladi. Cho'yan uchun, masalan, domnada suyuqlantirib olish birlamchi, vagranka yoki elektr pechlarda suyuqlantirib olish esa ikkilamchi suyuqlantirish hisoblanadi.

Ikkilamchi suyuqlantirish uchun dastlabki material sifatida metallurgiyadagi kabi ma'dandan emas, balki metallar va qotishmalardan foydalaniladi, bular, o'z navbatida, yo birlamchi suyuqlantirish mahsuloti, yo metall temir-tersagidan iborat ikkilamchi metallar¹ bo'lishi mumkin. Ba'zan bu atama «Ikkilamchi rangli metallar» korxonalarida rangli metallar temir-tersagini qayta suyuqlantirish yo'li bilan olinadigan quyma holdagi rangli metallarni anglatadi.

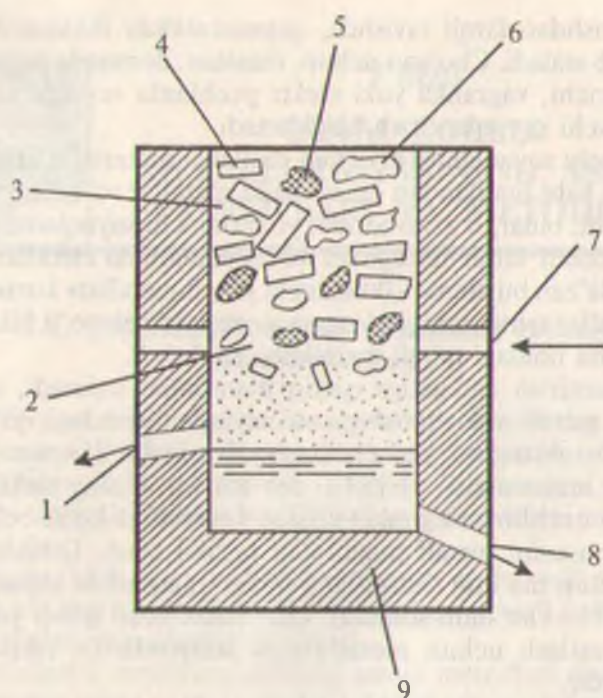
Suyuqlantirish agregatiga qattiq materiallar solinadi, u yerdan esa suyuq metall yoki qotishma va suyuqlantirishdagi qo'shimcha mahsulot hisoblangan shlak (tashqol) olinadi (1- rasm). Qattiq materiallar aralashmasi shixta deb ataladi. Uning tarkibi tayyor metall yoki qotishmaning talab etilgan xossalriga ko'ra belgilanadi. Shixtaning asosini metall materiallar tashkil etadi. Qotishma hosil bo'lishi uchun ma'lum sharoitlar yaratish maqsadida suyuqlantirish agregatiga fluslar ham solinadi. Ular shlak hosil qilish yoki uning tarkibini rostlash uchun metallurgiya jarayonlarida ishlatiladigan materiallardir.

Ko'pincha quyma qotishmalarni suyuqlantirib olishda alohida faza sifatida ugleroddan foydalaniladi. U vagrankada yoqilg'i sifatida ishlatiladi, elektr pechlarida karburizator (uglerodlovchi) bo'lib xizmat qiladi, suyuqlantirish agregatlarining ba'zi turlarida esa o'tga chidamli ichki devor qatlami rolini bajaradi. Suyuqlantirishning barcha jarayonlarida gaz fazasi ishtirok etadi, bu fazani gazlar, yoqilg'ining yonish mahsulotlari, boshqa fazalarning o'zaro ta'sirlashadigan elementlari, shuningdek, agar suyuqlantirish pechi germetiklangan bo'lsa, atrof atmosferasi hosil qiladi. Ba'zi hollarda suyuqlantirish vakuumda olib boriladi.

Suyuqlantirish pechlarining suyuqlantirish jarayoni o'tadigan ichki bo'shlig'i 1800 °C gacha temperaturaga chidaydigan o'tga chidamli ichki qatlam (futerovka) bilan chegaralangan bo'ladi. Bu qatlam qisman suyuqlanishi va boshqa fazalar bilan o'zaro kimyoviy ta'sirlashishi mumkin.

Suyuqlantirish natijasida suyuq qotishma olinadi, undan qoliplarga quyishda foydalanish mumkin. Biroq ko'pchilik quymalarda qotishmaning sifatini talab etilgan darajagacha yetkazish uchun unga

¹ Quymalar tayyorlashda sof metallardan kamdan kam foydalaniladi, shu hisdan «metall» atamasi ko'pincha quyma qotishmani bildiradi (suyuq metall, ikkilamchi metallar va h.k.).



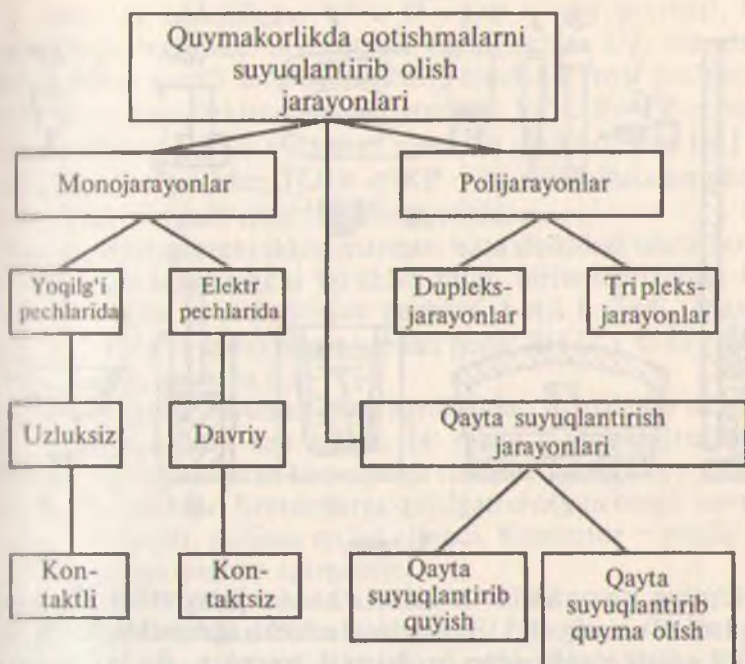
1-rasm. Metallarni suyuqlantirish pechining umumiy tuzilishi:

1 — suyuq shlak; 2 — metallni suyuqlantiradigan joy; 3 — chiqib ketadigan gaz; 4 — qattiq metall; 5 — qattiq uglerod; 6 — qattiq flyuslar; 7 — beriladigan gaz; 8 — suyuq metall; 9 — futerovka.

suyuq holida ishlov beriladi. Ishlov berish bevosita pechda yoki undan tashqarida olib boriladi (pechdan tashqarida ishlov berish). Ishlov berish jarayonida qotishma zararli qo'shilmalardan tozalanadi, modifikatsiyalanadi va legirlanadi.

1.2. Suyuqlantirishning asosiy prinsiplari va usullari

Suyuqlantirish jarayonlarining klassifikatsiyasi va ularni amalga oshirish usullari. Barcha mavjud jarayonlar bosqichlari soniga ko'ra *monojarayonlar* va *polijarayonlarga* bo'linadi (2-rasm). Quymakorlikda monojarayonlar eng keng tarqalgan. Monojarayonda hamma operatsiyalar bitta suyuqlantirish agregatida, polijarayonda esa suyuqlantirish ketma-ket ikkita yoki bir nechta suyuqlantirish agregatida bajariladi. Qayta suyuqlantirish jarayonlari alohida guruhni tashkil etadi, bularda dastlabki quyma (odatdagidek shixta emas) qayta suyuqlantirishdagi ma'lum sharoitlar tufayli ancha yuqori sifatli quymaga aylanadi. Bunda quyma yo bevosita suyuqlantirish jarayonida



2- rasm. Quymakorlikda qotishmalarni suyuqlantirib olish jarayonlarining klassifikatsiyasi.

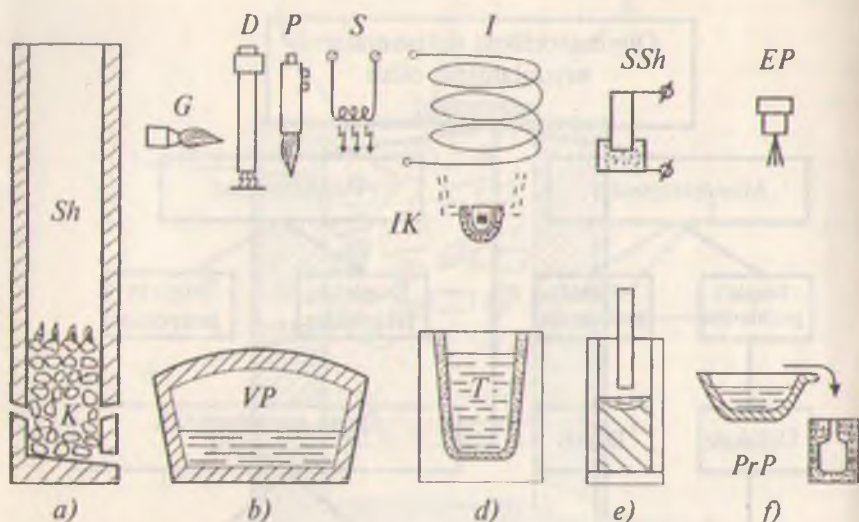
shakllanadi (uzluksiz jarayon), yo maxsus sharoitlarda, masalan, vakuumda qoliplarga quyish natijasida shakllanadi.

Polijarayonlar *dupleks-jarayonlarga* va *tripleks-jarayonlarga* bo'linadi. Dupleks-jarayonda ikki pechdan foydalaniladi: bittasi suyuqlantirish va qisman qizdirish uchun, ikkinchisi uzil-kesil yetiltirish va quyishga uzatish uchun ishlatiladi. Tripleks-jarayonda aytib o'tilgan ikki pechdan tashqari, maxsus quyish qurilmasidan iborat bo'lgan uchinchi pechdan ham foydalaniladi.

Quymakorlikda qotishmalarni suyuqlantirib olish usulining fizik mohiyati dastlabki kristall materiallarni suyuq holatga o'tkazishdan iboratdir. Bu o'tkazish issiqlik yutilishi bilan kechadi.

Yoqilg'i bilan ishlaydigan va elektr pechlarda suyuqlantirib olish jarayonlari ushbu jarayonning o'tishi uchun zarur bo'lgan issiqlikni hosil qilish prinsipi bo'yicha bir-biridan farq qilinadi.

Suyuqlantirish jarayoni uzluksiz va davriy bo'lishi mumkin. Uzluksiz jarayonda yuklash va chiqarish operatsiyalari ayni bir vaqtda o'tadi, davriy jarayonda esa bu ikki operatsiyani ayni bir vaqtda olib borib bo'lmaydi. Issiqlik hosil qilish manbayi suyuqlantirishda reaksiyaga kirishuvchi fazalar bilan kontaktda bo'lishi yoki ulardan ajratib qo'yilgan bo'lishi mumkin, shu boisdan suyuq-



3- rasm.

lantirishning kontakli va kontaktsiz jarayonlari bir-biridan farq qiladi (2- rasmga q.). Bitta suyuqlantirish agregatida ikkita issiqlik hosil qilish manbayidan foydalanish mumkin. Bu holda suyuqlantirish jarayonlari kombinatsiyalashgan (aralash) bo'ladi.

Suyuqlantirish jarayonini amalga oshirish uchun ikkita asosiy element zarur: ishchi bo'shliq va issiqlik energiyasi hosil qiluvchi manba. Uzlüksiz jarayonlarda shaxta shaklidagi ishchi bo'shliqdan (3- a rasm), davriy kontakli usullarda vanna tarzidagi (3- b rasm), kontaktsiz usullarda tigel tarzidagi (3- d rasm) ishchi bo'shliqlardan foydalaniladi.

Issiqlik energiyasi hosil qilish manbalariga quyidagilar kiradi (3- rasmga q.): K — qattiq yoqilg'i (odatda, koks) va G — gaz yoki suyuq yonilg'i, D — elektr yoy razryadi, P — plazma-yoy razryadi, S — spiralning (nixrom sim va boshqalarning) qarshiligi, I — tigel atrofidagi induktor, IK — kanal tipidagi induktor, SSh — shlak qatlamining qarshiligi, EP — elektron pushka.

Ishchi bo'shliqlarni va issiqlik hosil qilish qurilmalarini birlashtirish (U)¹ variantlari quyidagi asosiy suyuqlantirish agregatlarini hosil qilishga imkon beradi.

I. *Yoqilg'idan foydalaniladigan:* SH U K = V — vagranka, SH U G = GV — gazda ishlaydigan vagranka, VP U G = PI — alangali pechlar, bular quyidagilarga bo'linadi: statsionar PIS, burilma PIP va aylanma PIV hamda T U G = TP — tigelli suyuqlantirish pechlari.

¹ «U» alomati bilan bu yerda va keyin pechning ishchi bo'shlig'ini va issiqlik hosil qilish manbayini birlashtirish belgilanadi.

2. *Elektrda ishlaydigan:* $VP \cup D = DP$ — yoy pechlari, bular quyidagilarga bo'linadi: nomustaqil yoyli pechlar DZ (bunda yoy elektrod bilan metall orasida yonadi); mustaqil yoyli pechlar DN (bunda yoy ikkita elektrod orasida yonadi); $VP \cup P = PP$ — plazma pechlari; $VP \cup S = PSV$ — vannali qarshilik pechlari; $T \cup I = ITP$ — tigelli induksion pechlar; $T \cup K = IKP$ — kanalli induksion pechlar; $T \cup S = PST$ — tigelli qarshilik elektr pechlari.

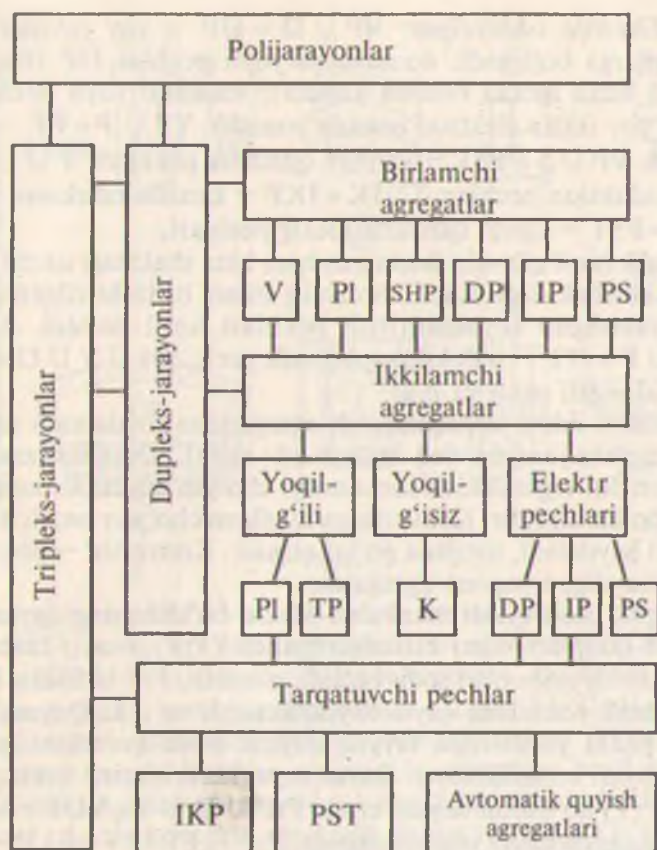
Issiqlik hosil qiluvchi ikkita manbani bitta shakldagi ishchi bo'shliq yoki ikki shakldagi ishchi bo'shliq bilan birlashtirilganda kombinatsiyalashgan suyuqlantirish pechlari hosil bo'ladi. Masalan, $T \cup I \cup P = IPP$ — induksion-plazmalı pech; $SH \cup V \cup G = SHP$ — shasta-alangali pech va h.k.

Metallni ikkita suyuqlantirish agregatidan foydalanib suyuqlantirish *dupleks-jarayon* deb ataladi (4- rasm). Dupleks-jarayonning turlaridan biri vagrankadan konvertorga cho'yan quyib (4- rasmdagi K), undan po'lat olishdir. Konvertorga quyilgan cho'yan orqali havo yoki kislorod haydaladi, natijada po'lat olinadi. Konvertor — yoqilg'i foydalanilmaydigan yagona agregatdir.

Issiqlik hosil qilish manbalari ishchi bo'shliqning qayta suyuqlantirish qoliplari bilan birlashtirilganda (PrP , 3- *e, f* rasm) qayta suyuqlantirish jarayonlari sodir bo'ladi, masalan, $PrP \cup SSH = ESHP$ — elektr-shlak vositasida qayta suyuqlantirish va h.k. Quymakorlikda $ESHP$ pechi yordamida tayyor quyma olish mumkin (suv bilan sovutiladigan kristallizator). Qayta suyuqlantirishning boshqa turlari vakuum (*V*) bo'lishini taqozo etadi: $PrP \cup D \cup V = VDP$ — vakuum-yoy yordamida qayta suyuqlantirish; $PrP \cup EP \cup V = ELP$ — elektr-nur yordamida qayta suyuqlantirish. Qayta suyuqlantirish jarayonlariga, shuningdek, vakuumda induksion suyuqlantirishni ham kiritish mumkin ($IP \cup V = IVP$).

Jarayonlarning keltirib o'tilgan klassifikatsiyasiga muvofiq, qotishmalarining har qaysi guruhi uchun suyuqlantirishning turli usullari mavjud. Masalan, cho'yanni suyuqlantirib olish uchun vagrankada suyuqlantirish, induksion va yoy yordamida elektr suyuqlantirish, dupleks-jarayonlarda suyuqlantirish, issiqlik hosil qilishning kombinatsiyalashgan manbalaridan foydalanib (masalan, induksion-plazma yordamida) suyuqlantirish qo'llaniladi.

Suyuqlantirish jarayonining parametrlari. Suyuqlantirish jarayonining intensiv parametrlariga *temperatura* va *bosim* kiradi. Ular qotishma turiga va suyuqlantirish agregatining xiliga bog'liq bo'ladi. Aynan bir xil qotishma suyuqlantirib olish uchun parametrlari turlicha bo'lgan turli suyuqlantirish agregatlaridan foydalanish mumkin. Ko'pgina hollarda suyuqlantirishdagi gaz fazasining bosimi atmosfera bosimiga teng yoki undan ortiq bo'ladi. Gaz fazasi, suyuq



4- rasm.

qotishma va shlakning temperaturasi suyuqlantirish jarayonida katta rol o'ynaydi va u suyuq qotishmaning talab etilgan temperaturasiga ko'ra belgilanadi, chunonchi u cho'yan uchun 1400–1450 °C ga, po'lat uchun 1500–1650 °C ga, mis qotishmalari uchun 1000–1250 °C ga, aluminiy qotishmalari uchun 700–750 °C ga, magniy qotishmalari uchun 650–700 °C ga, rux qotishmalari uchun 420–480 °C ga, nikel qotishmalari uchun 1400–1650 °C ga va titan qotishmalari uchun 1650–1800 °C ga teng. Gaz fazasi va shlakning temperaturasi pech tipiga bog'liq. Yoqilg'idan foydalaniladigan pechlarda u qotishmaning temperaturasidan yuqoriroq, elektr pechlarida yuqori ham, past ham bo'lishi mumkin, xususan, yoy pechlarida shlakning temperaturasi induksion pechlardagi shlakning temperaturasidan ancha yuqori bo'ladi.

Suyuqlantirish jarayonlarining texnologik parametrlariga *solishtirma joriy quvvat va solishtirma ish unumdorligi* kiradi.

1.3. Shixtani suyuqlantirishning material va issiqlik balansini tuzish hamda hisoblashning asosiy prinsiplari

Mashinasozlikda quyma qotishmalarni suyuqlantirishda shixta birlamchi va ikkilamchi metallardan, maxsus tayyorlangan ligaturalar, flyuslar hamda yoqilg'idan (agar yoqilg'i qattiq bo'lsa) tashkil topadi. Shixtaning tashkil etuvchi materiallari *shixta komponentlari* deb ataladi. Vazifasiga ko'ra ular metall-shixtaga, flyuslar va yoqilg'iga bo'linsa, maqsadga muvofiq bo'ladi. Shunday qilib, shixta materiallarining ko'pchiligi uchta to'plamdan iborat bo'ladi:

$$M_{sh} = [M_{sh}^m, M_{sh}^{yo}, M_{sh}^f],$$

bu yerda: M_{sh}^m — metall shixta materiallari to'plami, M_{sh}^{yo} — ishlatiladigan yoqilg'i turlari to'plami, M_{sh}^f — flyuslar to'plami.

Metall shixta materiallari to'plami:

$$M_{sh}^m = [M_1, M_2, M_3, \dots, M_j],$$

bu yerda: M_1, M_2 va h.k. — shixtani tashkil etuvchi materiallar.

$M_1 = \{E_1, E_2, \dots, E_i\}$; $M_j = \{E_1, E_2, \dots, E_p\}$ — shixta komponentlaridan har birini xarakterlaydi; $E_1, \dots, E_p$ — shixta komponentlarida mavjud ma'lum elementlar simvoli.

Shixta materiallarini tanlash — tanlab olinayotgan to'plamda kimyoviy tarkibi talab etiladigan elementlarning mavjudligi prinsipi bo'yicha amalga oshiriladi. Masalan, agar M_{sh}^{ch} — cho'yanni suyuqlantirish uchun zarur bo'lgan shixta materiallari to'plami bo'lsa, u holda

$$M_{sh}^{ch} \ni M_j = \{E_i | i \in Fe\} \text{ va } M_{sh}^{ch} \ni M_j = \{E_i | i \notin Fe\} = \emptyset$$

bo'ladi. Shixta tarkibiga asosiy komponentlar sifatida shixtani tashkil etuvchi to'plamlar kesishmasida yotuvchi elementlar kiritiladi:

$$M_a = M_1 \cap M_2, E_i \in M_1 \leftrightarrow E_i \in M_2.$$

Masalan, cho'yan va po'lat uchun $M_a^{ch} = \{Fe, C, Si, Mn, S, P\}$, jez uchun $M_a^j = \{Cu, Zn\}$ va h.k.

Bir xil elementlar mavjud bo'lgan shixtada $M_1 = M_2$ bo'ladi, lekin shixta elementlar miqdori bilan farqlanishi mumkin.

Shixtani tashkil etuvchi $M_{sh} = \{E_1, E_2, \dots, E_p\}$ elementlar to'plami shixta komponentlari to'plamlarining birlashmasidir:

$$M_{sh} = \bigcup_{j=1}^n M_j.$$

Agar suyuqlantirish vaqtida elementlar shixtadan qotishmaga kirmasa (masalan, birorta elementning bug'lanishi natijasida), u holda qotishma tarkibi shixta materiallari to'plamining birlashmasidan iborat bo'ladi:

$$M_q = \bigcup_{j=1}^n M_j = M_{sh}.$$

Shixta tarkibini hisoblash

Shixta tarkibi suyuqlantirib olinadigan qotishmaning talab etiladigan kimyoviy tarkibi va mavjud shixta materiallariga asosanib hisoblanadi.

Umumiy holda shixta komponentlarining n turlari, shu jumladan, shixta materiallarining n_i turlari mavjud. Shixta materiallari har qaysisining tarkibida i - elementning ma'lum konsentratsiyasi K_i , ya'ni i - elementning konsentratsiyalari to'plami bo'ladi:

$$M_{K_i} = \{K_{i(1)}, \dots, K_{i(n_i)}\}.$$

Bunday to'plam soni hisob elementlari soni p ga teng. Shixtani hisoblashdan maqsad — uning komponentlaridan har birining massa ulushini aniqlashdir, ya'ni $X_1, X_2, \dots, X_n$.

Suyuqlantirish jarayonida element konsentratsiyasining o'zgarishi tufayli (kuyindi yoki qirmoch hosil bo'ladi) shixta tarkibini hisoblashning birinchi bosqichi, suyuq qotishmaning talab etilgan tarkibiga asosanib, shixtaning o'rtacha kimyoviy tarkibini aniqlashdan iborat. Agar kuyindi tajriba ma'lumotlariga ko'ra o'rtacha statik qiymat kabi qabul qilinadigan bo'lsa, u holda hisoblash quyidagi formulaga binoan bajariladi:

$$K_{i(sh)} = K_{i(s)} \frac{100}{100 \pm U_i},$$

bu yerda: $K_{i(sh)}$ — shixtadagi i - elementning o'rtacha miqdori, massasiga ko'ra % hisobida; $K_{i(s)}$ — suyuq qotishmadagi i - elementning zarur bo'lgan miqdori, %; U_i — kuyindi (–), qirmoch (+) ning suyuqlantirish vaqtida i - elementning dastlabki miqdoridan % hisobida.

So'ngra shixtaning o'rtacha tarkibi bo'yicha uning $X_1, \dots, X_n$ lardan tashkil topgan komponentlarining massa ulushi hisoblab topiladi. Bu hisobni uch xil usul bilan bajarish mumkin: grafik, analitik va tanlash usullari. Uch usulning barchasi chiziqli tenglamalar sistemasini yechishga keltiriladi:

$$\left. \begin{aligned} X_1 K_{l(1)} + X_2 K_{l(2)} + \dots + X_n K_{l(n)} &= K_{l(sh)}, \\ X_1 K_{p(1)} + X_2 K_{p(2)} + \dots + X_n K_{p(n)} &= K_{p(sh)}, \\ X_1 + X_2 + \dots + X_n &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (1.2.)$$

Shixta tarkibini hisoblashda amalda, ko'pincha, tanlash usulidan foydalaniladi. Bunda komponentlarning massa ulushi, odatda, foizlarda ifodalanadi, masalani yechish esa jadval ko'rinishida (1-jadvalga q.) bajariladi.

1-jadval

Shixta tarkibini tanlash usuli bilan hisoblash

Shixtani hisoblashdagi ko'rsatkichlar	Shixta komponentlari, massa bo'yicha, %	Element j ($j = 1, 2, \dots, \rho$)	
		shixtaning komponentidagi miqdori	shixta bilan kiritiladi
Komponent j ($j = 1, 2, \dots, n$)	X_j	X_{jsh}	$a_j = \frac{K_{j(n)} X_n}{100}$
Jami shixtada	100	—	$\sum_j a_j = K_{i(sh)} \pm U_i$
Kuyishi (qirmoch), %	—	—	—
Jami suyuq qotishmada	—	—	$K_{l(s)} = K_{l(sh)} \pm \frac{100 \pm U_i}{100}$

* — quyma qotishmalar, qaytma, temir-tersak va boshq.

(1.2) tenglamalar sistemasini EHM yordamida osongina yechish mumkin. Bunda shixta tarkibini hisoblashni chiziqli dasturlash usulidan foydalanib optimallashtirish bilan birgalikda [30] bajarish mumkin. Buning uchun (1.2) sistema qator cheklanishlar bilan to'ldiriladi, sistema tenglamalaridan har qaysisi esa mazkur elementning shixtadagi yuqorigi $K_{i(sh)}^{yu}$ va pastki $K_{i(sh)}^p$ miqdori chegaralarini ifodalovchi ikkita tengsizlik ko'rinishida tasavvur etiladi:

$$\left. \begin{aligned} X_1 K_{l(1)} + X_2 K_{l(2)} + \dots + X_p K_{l(p)} &\leq K_{l(1)sh}^{yu}, \\ X_1 K_{l(1)} + X_2 K_{l(2)} + \dots + X_p K_{l(p)} &\geq K_{l(1)sh}^p. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

Optimallashtirish mezoni qilib, odatda, shixta narxi tanlanadi. Undan optimallashtirish masalasi funksional minimumini topishdan iborat bo'ladi:

$$Z_{\min} = \sum_j^N X_j C_j, \quad (1.4)$$

bu yerda: C_j — shixta j - komponentining narxi; X_j — shixtadagi j - komponentning miqdori.

Agar shixta turli komponentlarining elementlari kuyindi foizi bir-biridan jiddiy ravishda tafovutlansa, shixtani hisoblash o'rtacha kuyindilar foizi bo'yicha emas, balki komponentlardan har biri uchun ularning muayyan qiymatlari bo'yicha bajariladi. Bunda shixtadagi elementning keltirilgan miqdori aniqlanadi:

$$K_{i(j)}^{\text{kel}} = K_{i(j)} \frac{100 - U_i}{100}. \quad (1.5)$$

Aniqlangan qiymatdan (1.2) va (1.3) sistemalarda $K_{i(j)}$ o'rnida foydalaniladi. Chiziqli dasturlash masalasini simpleks usuli vositasida yechish dasturi muayyan masalani yechishga tatbiqan tuziladi.

Shixta tarkibini komponentlardan har qaysisi o'z tarkibiga ega-ligini hisobga olib, qotishma tarkibiga keltirish — suyuqlantirish funk-siyasi hisoblanadi. Turli suyuqlantirish sharoitlarida u yoki bu element-lar bitta faza va komponentdan boshqasiga o'tadi. Bunda massaning saqlanish qonuniga rioya qilinadi va bu qonun asosida material ham-da issiqlik balanslari hisoblanadi.

Material va issiqlik balanslarini hisoblash prinsiplari

Material balansini hisoblash uchun suyuqlantiruvchi pechga soli-nadigan metall materiallarining massasi va kimyoviy tarkibini bilish zarur: shixta bilan birga tushgan qum va oksidlar; flyuslar; qattiq yoqilg'i; suyuqlantirishga qadar va undan keyingi futerovkalar; pech-ga kirgan gazlar; pechdan chiqib ketgan gazlar; suyuq qotishma va suyuq shlak.

Barcha tashkil etuvchilarning kimyoviy tarkibi, odatda, ma'lum bo'ladi, lekin ularning massasini (kirim va chiqim moddalari bo'yicha) esa har doim aniqlab bo'lmaydi. Masalan, shixta bilan tusha-digan qum va oksid massasi, suyuq shlak miqdori, erigan futerovka massasi va hokazolarni aniqlash qiyin bo'ladi. Bunday vaziyatlarda hisoblashning bilvosita usullaridan foydalaniladi. Masalan, elektr pechda suyuqlantirganda shlak massasini aniqlab bo'lmaydi, lekin uning kimyoviy tarkibi ma'lum. Bunday holda metallardan shlakka o'tadigan element bo'yicha xususiy balans bajarish maqsadga muvo-fiq bo'ladi.

Shixtadagi i - elementning massasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_{i(sh)} = K_{i(sh)} \frac{M_{sh}}{100}, \quad (1.6)$$

bu yerda M_{sh} — shixtaning umumiy massasi.

Shu elementning suyuq qotishmadagi massasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_{i(s)} = K_{i(s)} \frac{M_s}{100}. \quad (1.7)$$

Shlakka o'tgan i - element miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Delta M_{i(s)} = M_{i(sh)} - M_{i(s)}.$$

Shlakdagi oksidlar massasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M_{i(MeO)} = \frac{\Delta M_i M_{MeO}}{A_{Me}},$$

bu yerda: $M_{(MeO)}$ — MeO oksidning molekular massasi; A_{Me} — metall (Me) ning atom massasi.

Boshqa tomondan olganda, $M_{i(MeO)} = K_{i(MeO)} \frac{M_{sh}}{100}$, bu yerda $K_{i(MeO)}$ — slakdagi MeO miqdori.

Bundan slak massasini aniqlash mumkin:

$$M_{sh} = \frac{M_{i(MeO)} \cdot 100}{K_{i(MeO)}} = \frac{\Delta M_i M_{MeO} \cdot 100}{K_{i(MeO)} \cdot A_{Me}}. \quad (1.8)$$

Xususiy balanslar usulidan tashqari nisbatlar usulidan foydalanish mumkin. Bu usuldan L.M.Mariyenbax qaytmaga va futerovkaning erigan sirtiga yopishib qolgan qum bilan kiritiladigan oksidlar massasini ajratish uchun foydalangan. Bu materiallarda Al_2O_3 ; SiO_2 nisbatning turlicha bo'lishi asosida ikkita noma'lumli ikkita tenglama tuzish va ularni yechish qiyin emas.

Istiqlik balansi material balansi asosida hisoblanadi. Material balansidan temperaturalarning eksperimental o'lchanishini hisobga olib, komponentlar massasi haqidagi ma'lumotlar olinadi. Biror komponent bilan birga kiritiladigan yoki olib ketiladigan issiqlik miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q_i = C_p t_p M_i, \quad (1.9)$$

bu yerda: C_p , t_p , M_i — i - komponentning issiqlik sig'imi, temperaturasi va massasi.

Shixtani qizdirish va eritishga, metallning o'ta qizdirilishiga, shlak hosil bo'lishiga, oksidlanish-qaytarilish jarayonlari va hokazolarga qancha issiqlik sarflanganligini (kJ/soat yoki kW va % hisobida) ko'rsatuvchi jadval yoki diagramma issiqlik balansi natijasi hisoblanadi. Bu ma'lumotlarni tahlil qilib, u yoki bu suyuqlantirish jarayoni haqida fikr yuritish mumkin.

Suyultiruvchi agregatlarning barcha turlarida material va issiqlik balansining quyidagi tenglamalariga rioya qilinadi:

$$M'_m + M_u + M'_g + M_f + M'_n = M^*_m + M_{sh} + M^*_g + M'_n, \quad (1.10)$$

bu yerda: M'_m ba M^*_m – metall shixta va olingan suyuq metall massasi; M_u – solinadigan uglerod (koks, karbyurizator) massasi; M'_g ba M^*_g – kiritiladigan va chiqib ketayotgan gazlar massasi; M_f – solinadigan flyuslar massasi; M'_n ba M^*_n – futerovkaning suyuqlantirishga qadar va suyuqlantirishdan keyingi massasi; M_{sh} – hosil bo'lgan shlak massasi.

$$Q'_m + Q_u + Q'_g + Q_f + Q_{man} = Q^*_m + Q_{sh} + Q^*_g + Q_{yo'q} + Q + Q_{o'z}, \quad (1.11)$$

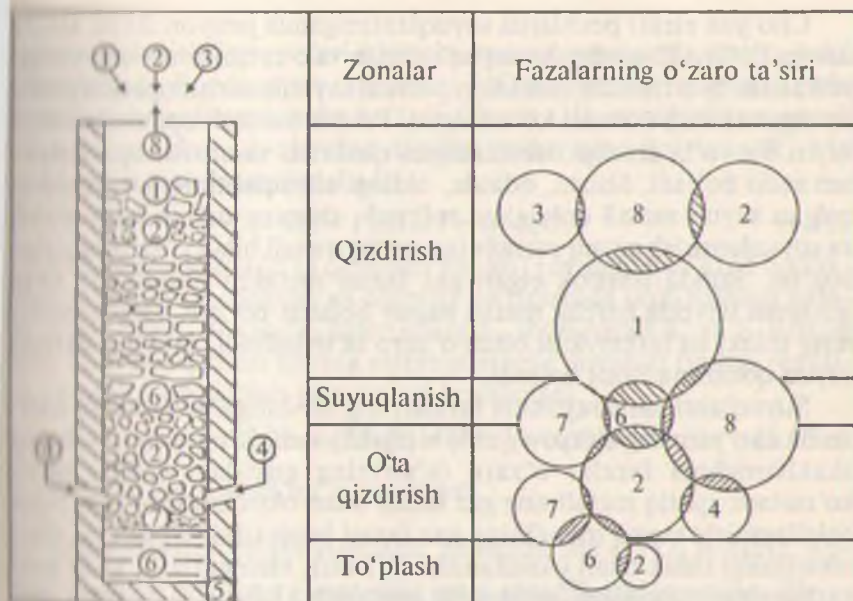
bu yerda Q'_m , Q_u , Q'_g , Q_f , Q^*_m , Q_{sh} , Q^*_g , Q'_n – tegishli massa oqimlarining entalpiyasi; Q_{man} – manbadan keladigan issiqlik; $Q_{yo'q}$ – atrofda muhitda yo'qoladigan issiqlik; $Q_{o'z}$ – suyuqlantirishda turli fazalar va komponentlarning o'zaro ta'siri natijasida ajraladigan yoki yutiladigan issiqlik.

Issiqlik balansini hisoblash natijalariga ko'ra, suyuqlantirish jarayoni tejamliligining eng muhim ko'rsatkichi, ya'ni FIK aniqlanadi:

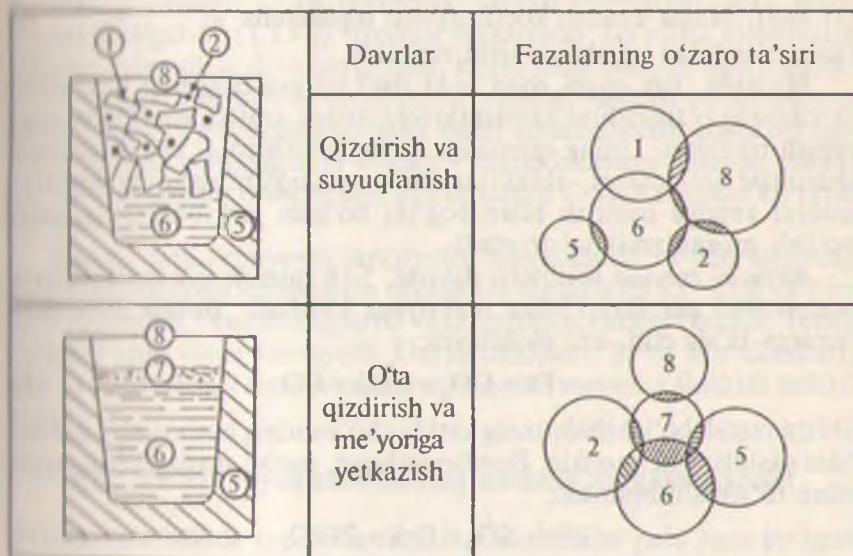
$$\eta = \frac{Q'_m - Q^*_m}{Q_{man}} \cdot 100\%.$$

1.4. Cho'yan suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi

Vagrankalarda istalgan suyuqlantirish jarayoniga xos bo'lgan operatsiya tegishli zonlarda amalga oshiriladi (5- rasm). Qizdirish zonasida qizigan gazlar metallni qizdiradi. Bunda metall gaz fazasi bilan o'zaro ta'sirlashadi, buning natijasida metall oksidlanadi; koks qizib uchuvchan moddalarini yo'qotadi va h.k. Suyuqlantirish operatsiyasi metallni qattiq holatdan suyuq holatga o'tishi va bu zonada murakkab o'zaro ta'sir ko'rsatishi bilan xarakterlanadi. O'ta qizish zonasida suyuq metall va hosil bo'ladigan suyuq shlak bir-biri bilan, shuningdek, gaz fazasi koks hamda pech futerovkasi bilan reaksiyaga kirishadi. Va nihoyat, to'planish zonasida suyuq metall shlak va koks bilan reaksiyaga kirishadi.



a)



b)

8 - rasim. Suyuqlantirish zonalar (a) va davrlari (b) bo'yicha fazalar o'zaro ta'siri sxemasi:

1 - qattiq metall; 2 - koks yoki karbyurizator; 3 - flyuslar; 4 - beriladigan gaz;
5 - pech futorovkasi; 6 - suyuq metall; 7 - suyuq shlak; 8 - pechning gaz fazasi.

9 - A. Rasulov va boshq.

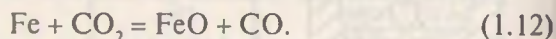
БНБ-ТЕХНИКА
Бох. ТНП и ЛП
№ 9341

Cho'yan elektr pechlarda suyuqlantirilganda jarayon ikkita asosiy davrga bo'linadi: qizdirish—suyuqlantirish va o'ta qizdirish—me'yoriga yetkazish. 5- b rasmda induksion pechda suyuqlantirish operatsiyasini amalga oshirish sxemasi ko'rsatilgan. Pechni yuklash operatsiyasidan keyin bir yo'la amalga oshiriladigan qizdirish va eritish operatsiyalari sodir bo'ladi. Shixta, odatda, oldingi suyuqlantirish jarayonidan qolgan suyuq metall qoldig'iga solinadi, shuning uchun ham qizish va suyuqlantirish suyuq metallning qattiq metall bilan o'zaro ta'siriga bog'liq. Bunda ishtirok etgan gaz fazasi metallni oksidlaydi. O'ta qizdirish davrida barcha metall suyuq holatda bo'ladi hamda pechning shlaki va futerovkasi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Jarayon oxirida suyuq qotishma hosil bo'ladi.

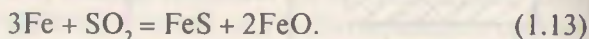
Suyuqlantirish jarayonida fazalarning bir-biriga ta'sir etishi natijasida cho'yanning kimyoviy tarkibi shakllanadi. Kimyoviy tarkibning shakllanishiga fazalar o'zaro ta'sirining quyidagi turlari ta'sir ko'rsatadi: qattiq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi (I Ox bilan belgilaymiz); suyuq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi (II Ox); metallning shlak bilan oksidlanishi (III Ox); elementlarni koks yoki karbyurizator uglerodi vositasida qaytarish (I Red); uglerodni eritish (I R), cho'yanning bitta elementini boshqasi bilan qaytarish (II Red). Massa uzatish koeffitsiyenti tegishlicha $k_i^{I Ox}$, $k_i^{II Ox}$ va hokazolar bilan xarakterlanishi mumkin.

Natijada, har qaysi zona yoki davr uchun qotishma kimyoviy tarkibining o'zgarishini xarakterlovchi massa uzatish koeffitsiyentini topish mumkin. Uning qiymatiga suyuqlantirishdagi termodinamik sharoitlar (atmosfera, shlak tarkibi va suyuqlantirishning konkret usulini amalga oshirish bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarning sodir bo'lish mexanizmi) ta'sir etadi.

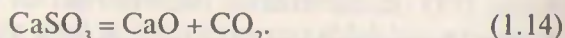
Birinchi zonada (birinchi davrda, 5- b rasimga q.) qattiq shixta materiallari gaz fazasi bilan reaksiyaga kirishadi. Bunda atmosfera temirga ta'sir etib, uni oksidlaydi:



Shixta metall bo'lakchalarining sirtida cho'yanning boshqa elementlari ham oksidlanishi mumkin. Bundan tashqari, metall gazdagi oltingugurt bilan to'yinishi mumkin:



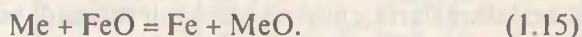
Bu zonada ohaktosh quyidagi reaksiya bo'yicha parchalanadi:



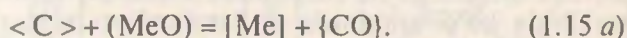
Bunda yoqilg'i namligini va uchuvchan moddalarini yo'qotadi.

Ikkinchi zonada (suyuqlanish zonasi) shixtaning metall komponentlari suyuqlanadi va oksidlanish, oltingugurtga to'yinish hamda

uglerodsizlanish jarayonlari birinchi zonaga qaraganda ancha jadalli bo'ladi. Bunda temir (II) oksidi FeO elementlarining ikkilamchi oksidlanish reaksiyasi sodir bo'ladi. Temir (II) oksidi erigan metall bilan birgalikda oqib quyidagi tipdagi reaksiyalar bo'yicha Si, Mn va C bilan reaksiyaga kirishadi:



Uchinchi zonada (o'ta qizdirish zonasi) suyuq metall koks bo'lakchalari bo'ylab tomchilar va oqimlar ko'rinishida oqib tushadi hamda o'ta qiziydi. Natijada, uglerodlanish, shuningdek C va S larning olib, koksdan ajralish hamda elementlarning quyidagi tipdagi reaksiya bo'yicha qaytarilish jarayonlari boshlanadi:



IV zonada shlak hosil bo'la boshlaydi.

Ozod kislorod tufayli furmalar zonasida $\text{Me} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{MeO}$ tipdagi reaksiya bo'yicha elementlar jadal oksidlanishi mumkin. Birinchi navbatda temir oksidlanadi. Bunda temir (II) oksidi Mn, Si, larni oksidlaydi (1.15 reaksiya). Metall tomchilari koks bilan kontaktlashganda (1.15 a) tipdagi reaksiyalar bo'yicha elementlar temir uglerodlanadi va qaytariladi. Keyin shlak hosil bo'lishi tugaydi.

To'rtinchi zonada (to'plash zonasi) metall va shlak biroz soviydi. Metall gornda to'planadi va koks bilan kontaktlashib koksdagi uglerod hamda oltingugurt ni eritadi. Vagrankalardan (ularda metall gornda to'planadi) olingan cho'yan tarkibida C va S miqdori ko'proq bo'ladi.

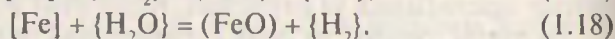
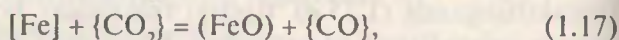
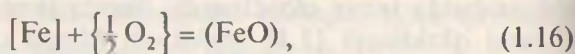
Barcha fizik-kimyoviy jarayonlar natijasida Si va Mn ularning litstadagi dastlabki miqdoriga qaraganda tegishli 15–25% va 25–40% kamayadi. Natijada uglerod va oltingugurt miqdori ortadi. Temir miqdori ham biroz kamayadi. Uning oksidlari, Si va Mn oksidlari, uglerod kuli hamda futerovkaning erigan sirti vagranka shlakini tashkil qiladi.

1.5. Po'lat suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi

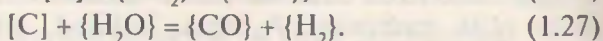
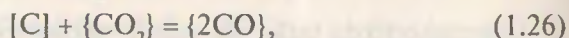
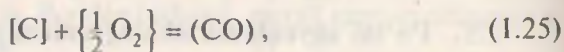
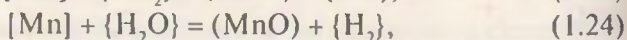
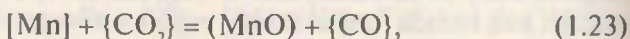
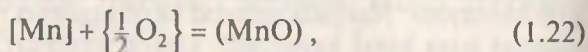
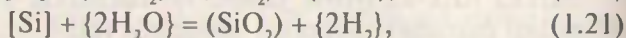
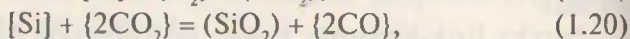
Quyimakorlikda tarkibida zararli aralashmalar juda kam bo'lgan po'lat olish muhimdir. Ayniqsa, kislorod, oltingugurt va fosfor miqdorini kamaytirish zarur bo'ladi, chunki bu elementlar po'latda oksid, sulfid va oksisulfid qo'shilmalar hosil qiladi. Zararli aralashmalar miqdori qancha oz bo'lsa, po'lat sifati shuncha yuqori bo'ladi. Fosfor miqdori kamayganda metall matritsasi mustahkamlanadi, oltingugurt miqdori 0,03 dan 0,01% gacha kamayganda esa po'latning qovushoqligi 2–3 marta ortadi [43, 44].

Tayyorlab qo'yilgan po'latni suyuqlantirish pechiga shixta solinadi, so'ngra u qizdiriladi va suyuqlantiriladi, natijada suyuq metall hamda shlak hosil bo'ladi. Bundan keyin suyuq metall shlak ostida ishlanadi va bu shlak chiqarib tashlanadi, so'ngra namuna olinadi va po'lat talab etilgan tarkibgacha (me'yoriga) yetkaziladi. Bunda, masalan, zararli aralashmalarni chiqarib yuborish maqsadida yangi shlak hosil qilish mumkin. Barcha hollarda, yakunlovchi bosqichda po'lat oksid-sizlantiriladi. Yuqori sifatli po'lat olish uchun ular nodir-yer metallar silitsidlari bilan modifikatsiyalansa, maqsadga muvofiq bo'ladi [44].

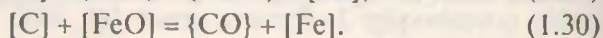
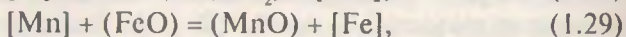
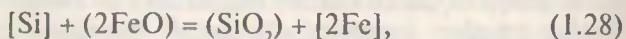
Po'lat tarkibining shakllanishi suyuqlantiralayotganda fazalarning o'zaro ta'siri natijasida sodir bo'ladi (6- rasm). Har qaysi davrni alohida-alohida ko'rib chiqamiz. Po'latni suyuqlantirish uchun shixta tarkibida ko'p miqdorda po'lat temir-tersaklari bo'ladi. Mamlakatimizda 1 t yaroqli po'lat quymalariga taxminan 150 kg qayta ishlanuvchi cho'yan sarflanadi. Po'lat temir-tersaklari qizdirish vaqtidayoq oksidlana boshlaydi, chunki metall bilan o'zaro ta'sirlashadigan pech atmosferasining tarkibida, birinchi navbatda, temirni oksidlovchi gazlar — oksidlagichlar O_2 , CO_2 va N_2O bo'ladi:

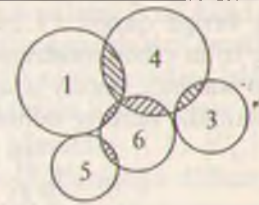
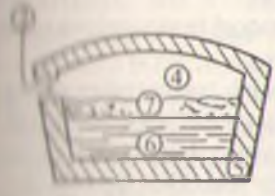
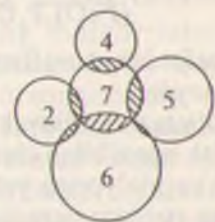


Gaz fazasi metall bilan o'zaro ta'sirlashganda boshqa elementlar ham oksidlanadi:



Temirga nisbatan kislorodga yaqin bo'lgan elementlar temir (II) oksidi bilan oksidlanadi:



	Davrlar		Fazalarning o'zaro ta'siri
	Qizdirish va suyuqlantirish	Oksidlanish	
	O'ta qizdirish va me'yoriga yetkazish	Qaytargich	

6 - rasim. Po'latni suyuqlantirishda fazalarning o'zaro ta'sir sxemasi.

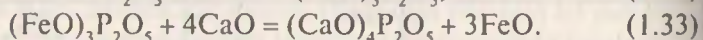
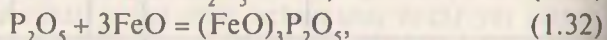
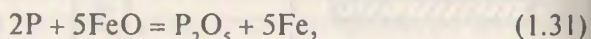
- 1 - qattiq metall; 2 - qaytargichlar (oksidsizlagichlar); 3 - flyuslar;
 4 - gaz fazasi; 5 - pech futerovkasi; 6 - suyuq metall; 7 - shlak;
 8 - pechning gaz fazasi.

Yuqoridagi reaksiyalar faqat asosiy elementlar uchun keltirilgan. Barcha elementning oksidlanishi termodinamik jihatdan mumkin bo'lsa, uni yuqoridagiga o'xshash tavsiflash mumkin. Oksidlanish davri shlakning yuksak oksidlanish xossalari bilan xarakterlanadi. (1.18) - (1.20) reaksiyalar juda jadal o'tadi. Oksidlanish davri tugagandan so'ng va, ayniqsa, qaytarish jarayonlarini o'tkazishda (masalan, oq yoki karbidli shlak ostida) ularning termodinamikasi keskin o'zgaradi. Po'latni suyuqlantirishning prinsipial tafovuti xuddi shundan iborat.

Po'latni suyuqlantirish agregatining turi va shixta tarkibiga qarab, (1.16) - (1.30) reaksiyalar turli aktivlik darajasiga ega bo'ladi. Masalan, konvertor jarayoni uchun (1.16), (1.19), (1.22), (1.25) reaksiyalar xarakterlidir. Marten pechida (1.17) va (1.18) reaksiyalar ancha aktiv sodir bo'ladi, chunki pech atmosferasining tarkibida CO_2 va H_2O (gaz yoki mazut uglevodorodlari yonib shu gazlarni hosil qiladi) ko'p bo'ladi. Elementlarning temir oksidi bilan oksidlanish (1.28) - (1.30) reaksiyalari metall oksid qatlami bilan qoplangandagina rivojlanadi. Bu reaksiyalar o'ta qizish va metallning oksidlovchi shlak ostida me'yoriga yetish davri uchun xarakterlidir.

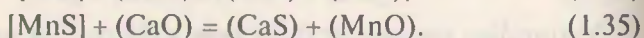
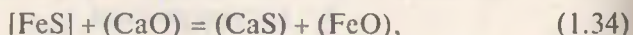
Umumiy fizik-kimyoviy qonuniyatlarga muvofiq, oksidlovchi shlak ostida (1.28) va (1.29) reaksiyalar bo'yicha Si va Mn lar ancha aktiv kuyadi, so'ngra (1.30) reaksiya bo'yicha vannaning CO

pufakchalarining ajralib chiqishi hisobiga qaynashi boshlanadi. Agar vannaning qaynashi uchun oldin hosil bo'lgan FeO yetarli bo'lmasa, u holda pechga temir ruda kiritiladi. Po'lat suyuqlantirish jarayoni-ning turiga qarab, (1.28)–(1.30) reaksiyalar, yoxud aralashmalar-ning to'la oksidlanishigacha yetkaziladi, yoxud qandaydir bosqich-da to'xtatiladi. Asosiy jarayonda oksidlovchi shlak ostida fosfor chiqarib tashlanadi, buning uchun FeO va CaO lar bo'lishi zarur:



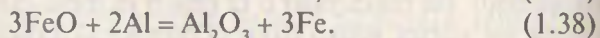
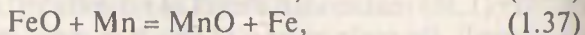
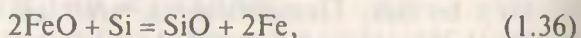
Fosfordan muvaffaqiyatli tozalash uchun yuqori temperatura talab qilinmaydi.

Po'latga oksidlovchi shlak ostida ishlov berish tugagandan so'ng, bu shlak nasos bilan chiqarib tashlanadi. Pechda metallning o'ta qizdirilishi va me'yoriga yetkazilishi berilgan kimyoviy tarkibdagi po'lat olishga yordam beradigan maxsus qaytaruvchi shlaklar hamda ferroqotishmalar ishtirokida amalga oshiriladi. Oltingugurtni chiqarib tashlash uchun yuqori asosli, ya'ni tarkibida CaO ko'p miqdorda bo'lgan shlak hosil qilinadi. Bunda sulfidlar ko'rinishida bo'lgan oltingugurt shlakka chiqarib yuboriladi:



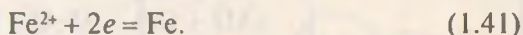
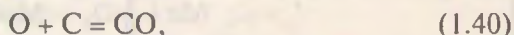
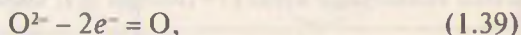
Oltingugurtni ancha to'la chiqarib tashlash uchun shlak tarki-bidagi CaO ning miqdori yuqori bo'lishi va yuqori temperatura talab etiladi. Bunda shlak orqali metallni oksidsizlantirish mumkin. Buning uchun Si va C lar kiritish zarur, ular temir oksidi bilan o'zaro reaksiyaga kirib ((1.28) va (1.30) reaksiyalar), uning shlakdagi miqdorini keskin kamaytiradi hamda taqsimlanish muvozanati $[FeO] \rightleftharpoons (FeO)$ ni o'ngga siljitadi, ya'ni temir oksidining metalldan shlakka o'tishiga yordam beradi.

Metallni shlak ostida ishlash tugagandan so'ng shlak nasos bilan so'rib olinadi, shundan so'ng po'lat pechdan chiqariladi. Po'lat chiqarilayotgan vaqtda turli oksidsizlantirgichlardan foydalanib, u oksidsizlantiriladi. Oksidsizlantirgichlar tarkibida Si, Mn va Al bo'ladi. Bunda quyidagi reaksiyalar sodir bo'ladi:



Oksidsizlantirgich-element $[E_R]$ miqdori bilan qoldiq kislorod $[O]$ orasida aloqa mavjud bo'lib, u *elementlarning oksidsizlantirish qobiliyati* deb ataladi.

Po'latni suyuqlantirishda sodir bo'ladigan jarayonlar mexanizmi, dastavval, kislorodning gaz fazasi va shlakdan metallga uzatilishi bilan bog'liq. Oksidlanishda shlak hosil qiluvchi birikmalarni hosil qiladigan kremniy, marganes, fosfor va boshqa elementlar ajralish sirti (metall-shlak)da sodir bo'ladigan reaksiyalar bo'yicha oksidlanadi. Uglerod butun hajm bo'ylab oksidlanishi mumkin. Professor S.I. Filippov kritik konsentratsiyalar nazariyasini yaratgan [8]. Masalan, $[C] > [C_{kr}]$ da jarayon oksidlagichning uglerodning sirtiy oksidlanishga diffuziyasi bilan limitlanadi. $[C] < [C_{kr}]$ da uglerodning hajmiy oksidlanishi kuzatiladi. Bu holda CO pufakchalarining metall-futerovka chegarasida vujudga kelish ehtimoli hammadan ko'p. Qaynash mexanizmi biror suyuqlik qaynatiladigan idish devorlarida bug' pufakchalarining vujudga kelishiga o'xshashdir. Temir oksidi asta-sekin shlakdan ishlab chiqariladi. Temir oksidi metall-shlak ajralish chegarasida elementlarning oksidlanishiga sarflanadi va shlak-gaz chegarasi yuzasida o'zi oksidlanadi. Agar shlak yuqori qovushoqlik va past temperaturaga ega bo'lsa, u holda oksidlanish mexanizmi FeO ning quyidagi sxema bo'yicha ishlab chiqilishida to'la tugallanishi mumkin:



Shunday qilib, oksidlash jarayonlarining muvaffaqiyatli o'tishi uchun shlakning temperaturasi va qovushoqligi hamda undagi FeO miqdori yuqori darajada saqlab turilishi kerak.

Po'latning desulfuratsiyalanishini jadallashtirish maqsadida keyingi vaqtda uni maxsus yaratiladigan shlak ostida ishlash hamda uning sifatini yaxshilash operatsiyalarini po'latni suyuqlantirish pechidan tashqariga chiqarib, pechdan tashqarida ishlov berish orqali amalga oshirishga intiladilar. Masalan, suyuq po'latni kovshda yoki shlak bilan ishlaganda oltingugurt miqdori dastlabki miqdorga qaraganda 70% kamayadi. Buning uchun maxsus shlak suyuqlantiriladigan pechga ega bo'lish kifoya [39].

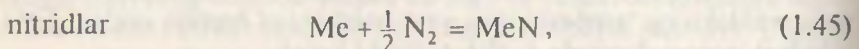
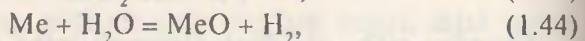
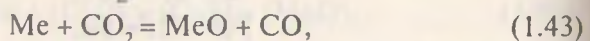
Pechdan tashqarida ishlov berish oksidsizlantirishdan tashqari modifikatsiyalashni ham o'z ichiga olishi mumkin. Y.A. Shulte va boshqa tadqiqotchilar qimmatbaho va tanqis elementlar (masalan, Ni, Mo, W) bilan legirlangan po'lat quymalarning katta qismini talqoriy-er va noyob-er elementlari bilan kompleks ligaturalar ko'rinishida modifikatsiyalangan, tejab legirlangan po'latlarga muvaffaqiyat bilan almashtirish mumkinligini ko'rsatganlar.

1.6. Rangli qotishmalarni suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun mo'ljallangan barcha pechlar (bundan shaxta-alangali pechlar istisnodir) davriy ravishda ishlaydigan pechlar hisoblanadi. Ishchi bo'shliq, ya'ni pechl vannasi yoki tigelga hisoblangan tarkibli shixta yuklanadi, energiya manbayi ishga tushiriladi, shixta suyuqlantiriladi, suyuqlanma zarur temperaturagacha o'ta qizdiriladi, so'ngra qotishma kerakli tarkib-gacha yetkaziladi, zararli aralashmalardan tozalanadi (rafinlanadi) va modifikatsiyalanadi (7- rasm). Suyuqlantirib olish jarayoni ikkita davrga bo'linadi: qizdirish va suyuqlantirish, o'ta qizdirish va me'yoriga yetkazish.

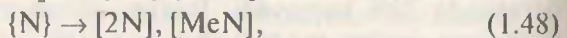
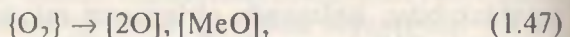
Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olishda yuklash va suyuqlantirib olish rejimining ketma-ketligiga rioya qilish ayniqsa muhim, chunki qotishmalarning ko'pchilik komponentlari oksidlanish hamda gazlarni yutishga (gazlarning erishi, gazlar bilan birikma hosil qilish) yuqori darajada moyil bo'ladi.

Rangli qotishmalar tarkibiga kiradigan komponentlar gaz fazasi bilan reaksiyaga kirib (7- rasmga q.), oksidlar hosil qilishi mumkin:



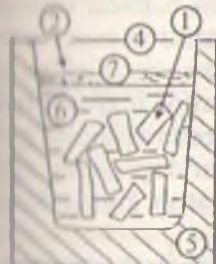
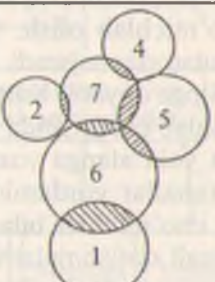
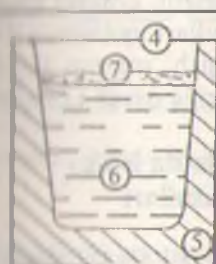
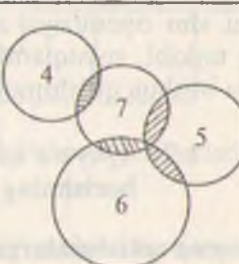
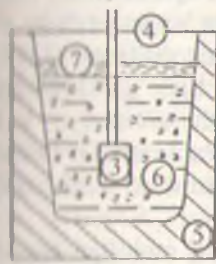
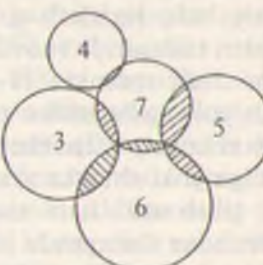
va boshqa birikmalarni hosil qilishi mumkin.

Bundan tashqari, ko'pchilik rangli metallar gaz yutishga yuqori darajada moyil bo'ladi:



Aluminiy va rux oksidlanganda yaxshi himoyalash xossalariga ega bo'lgan Al_2O_3 va ZnO oksidlaridan bir tekis zich parda, magniy oksidlanganda esa bu xossalarga ega bo'lmagan parda hosil bo'ladi. Shuning uchun magniyni faqat qoplama flyus ostida yoki himoya atmosferada suyuqlantirib olish mumkin. Titan bundan ham ancha aktiv. Uni faqat vakuumda suyuqlantirish mumkin.

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olishda nafaqat metall gaz fazasi bilan, balki qattiq metall suyuq metall bilan ham o'zaro ta'sirlashadi.

	Davrlar	Fazalarning o'zaro ta'siri
 a)	Qizdirish	
 b)	va suyuqlanti- rish	
 d)	O'ta qizdirish	
 e)	va me'yoriga yetkazish	

9-rasm. Rangli qotishmalarni suyuqlantirishda fazalarning o'zaro ta'siri sxemasi:
 a) qattiq holatdan suyuqlanish, b) suyuq vannada suyuqlantirish, d) flyus
 ostida me'yoriga yetkazish, e) tozalash; 1 - qattiq metall, 2 - qoplama flyus;
 3 - tozalovchi flyus; 4 - gaz fazasi; 5 - pech futerovkasi; 6 - suyuq qotishma,
 7 - shlak.

Shixtaning qattiq tashkil etuvchilari, odatda, suyuq qotishmada eritiladi. Shu qotishmaning quymasi, ligaturalar yoki boshqa qo'shimchalar shixtaning qattiq tashkil etuvchilari bo'lishi mumkin. Suyuq qotishma qoplama flyuslar va hosil bo'ladigan shlaklar bilan reaksiyaga kiradi. Flyuslar tarkibi shunday tarzda tanlanadiki, bunda oksidlanish reaksiyasi cheklansin. Qotishma tayyorlashning so'nggi bosqichida (pechda, kovshda yoki tarqatish pechida) aralashmalardan tozalash jarayonida flyuslar yoki boshqa qo'shimchalar qotishma bilan reaksiyaga kiradi.

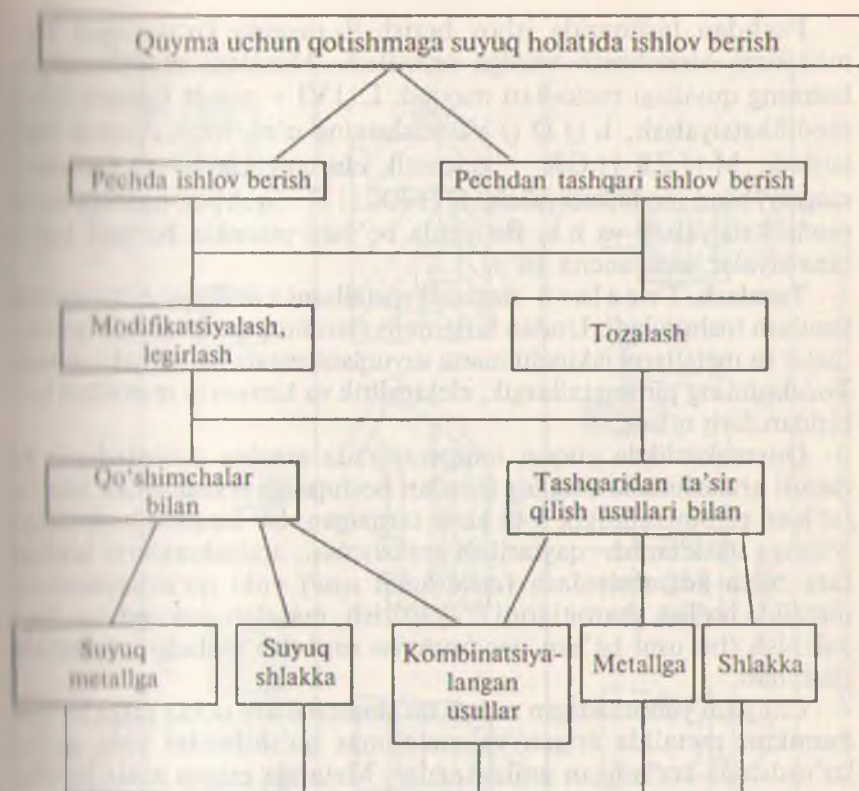
Metallning pechdan chiqarilishi to'rtta usulda amalga oshiriladi: letka orqali, pechni qiyalatib, magnitogidrodinamik nasoslar vositasida va cho'michlab olish. Cho'michlab olish ishlarini maxsus robot-manipulatorlar bajaradi. Ular metallni ish pechidan cho'michlab olib, uni qolipga quyadi. Katta bo'lmagan quyish sexlarida mayda quymalarni ishlab chiqarishda tayyor suyuq eritma bevosita tarqatish pechlaridan yoki alanga yoxud shaxta-alanga pechlaridagi asosiy vanna bilan kanallar yordamida ulangan maxsus tarqatish kameralaridan dastali cho'michlar bilan olinadi.

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olishda tozalash operatsiyasi eng muhim texnologik operatsiyalardan hisoblanadi, chunki quyma sifatini shu operatsiya aniqlaydi. Tozalash usullari qotishma tipi, uning tarkibi, suyuqlantirib olish va quyib chiqish, maxsus flyuslar hamda boshqa qo'shimchalar ishlatish sharoitlariga qarab tanlanadi.

1.7. Quyma qotishmalarga suyuq holatda ishlov berishning asosiy prinsiplari va usullari

Quyma qotishmalarga suyuq holatda ishlov berish jarayonlarining klassifikatsiyasi va uni amalga oshirish usullari. Qotishmani modifikatsiyalash, legirlash yoki tozalash maqsadida unga pechda yoki pechdan tashqarida (novda, cho'michda, maxsus qurilmalarda) ishlov berilishi mumkin (8-rasm). Ishlov berish turli qo'shimchalar kiritib yoki tashqaridan ta'sir qilib (aralashtirish, vibratsiya, vakuum va shunga o'xshashlar) amalga oshiriladi. Qo'shimchalar bevosita metallga yoki shlakka aralash kiritilishi ham mumkin. Tashqaridan ta'sir qilish usuli ham xuddi shunday bo'ladi.

Pechdan tashqarida ishlov berish usuli suyuq metallga bevosita qo'shimcha kiritib yoki tashqaridan ta'sir qilish uchun mo'ljallangan maxsus qurilmalar yordamida amalga oshiriladi (9-rasm). Qo'shimchalar gazsimon (O — kislorod, N — azot, NG — neytral gazlar), qattiq (M — metallar va boshqa texnik sof moddalar, elementlar yoki birikmalar, A — aralashmalar, L — ligaturalar, ya'ni bir nechta M qotishmalari, F — flyuslar) va suyuq (F — flyuslar, Sh — shlak-



9- rasn. Quyima qotishmalarni suyuq holatda ishlov berish jarayonlarining klassifikatsiyasi.

lari bo'lishi mumkin. Qo'shimchalar kiritish uchun turli qurilmalardan foydalaniladi: D – dozator, PGV – gazlarni yuqoridan puflash uchun teshiklari bor truba, PGN – gazlarni pastdan puflash uchun g'ovak tub yoki po'kak, MV – modifikator, masalan, chiviqni mexanik tarzda kiritish uchun qurilma, ZK – zaryadlash kamerasi, I – bug'latgich, K – modifikator joylashtiriladigan qalpoq.

Ishlov beriladigan joy suyuqlantirish pechi (P), pechdan tashqarida ishlov berishda esa suyuqlantirish pechining novi, ochiq cho'mich, germetik cho'mich va litnik sistemasida ish kamerasi (RK) bo'ri quyilish qolipi (F) bo'lishi mumkin; ish kamerasida modifikator joylashtiriladi (9- rasimga q.). Tashqaridan ta'sir qilish uchun maxsus qurilmalardan foydalaniladi: filtrlash uchun qurilma UF, A – avtoklav, VK – vakuum kamera (ular tuzilishi jihatdan o'xshash, lekin avtoklavda ortiqcha bosim bo'lishi mumkin) VU, VZ, MP – vibratsiya, ultratovush va aralashtirish qurilmalari, EU – elektr qurilma.

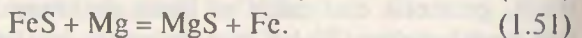
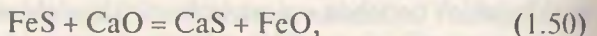
Pechdan tashqarida ishov berish 9- rasmda ko'rsatilgan elementlarni birlashtirib amalga oshiriladi. Masalan, modifikatsiyalashning quyidagi metodlari mavjud: $L \cup VJ$ — novda ligatura bilan modifikatsiyalash, $L \cup D \cup VJ$ — shuning o'zi, lekin dozator ishlatiladi, $M \cup ZK \cup GK$ — germetik cho'michda metall (masalan magniy) bilan modifikatsiyalash, $L \cup RK \cup F$ — qolipda ligatura bilan modifikatsiyalash va h.k. Bu yerda bo'lishi mumkin bo'lgan kombinatsiyalar soni ancha ko'p.

Tozalash. Tozalash deganda metallarni zararli qo'shilmalardan tozalash tushuniladi. Undan birlamchi metallurgiyada hamda qotishmalar va metallarni ikkinchi marta suyuqlantirishda ham foydalaniladi. Tozalashning pirometallurgik, elektrolitik va kimyoviy metodlari bir-biridan farq qiladi.

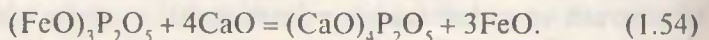
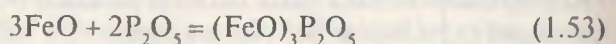
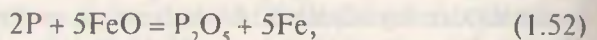
Quymakorlikda yuqori temperaturada amalga oshiriladigan va zararli aralashmalarning bir fazadan boshqasiga o'tishi bilan bog'liq bo'lgan pirometallurgik usul keng tarqalgan; bir fazadan boshqasiga o'tishga oksidlanish—qaytarilish reaksiyalari, aralashmalarni boshqa faza bilan adsorbsiyalash (*adsorbsion usul*) yoki qo'shilmalarning metallda bo'lish sharoitlarini o'zgartirish, masalan, vakuumdan foydalanish (bu usul ba'zan *noadsorbsion usul* deb ataladi) yordamida erishiladi.

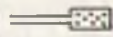
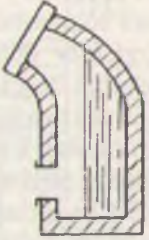
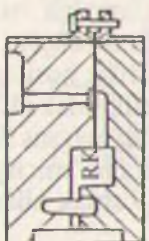
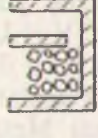
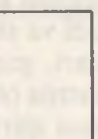
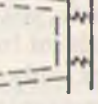
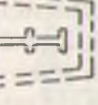
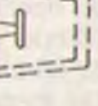
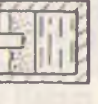
Chiqarib yuboriladigan zararli qo'shimchalarni uchta turga bo'lish mumkin: metallda erigan va metallmas qo'shilmalar yoki gazlar ko'rinishida bo'ladigan aralashmalar. Metallda erigan aralashmalar oksidlab tozalash usuli bilan chiqarib yuboriladi. Bu usul aralashmalarning O, S, Cl, F lar bilan asosiy metall shu elementlarning o'zi bilan hosil qiladigan birikmalarga qaraganda ancha mustahkam birikmalar hosil qilish qobiliyatiga asoslangan. Bu usuldan, masalan, misni tozalashda foydalaniladi. Masalan, suyuq misni havo bilan puflab tozalashda misga nisbatan kislorodga ancha yaqin bo'lgan Fe, Ni, Zn, Pb, Sb, As, Sn lar vanna yuzasiga suzib chiqadigan va so'ngra oson chiqarib yuboriladigan oksidlar hosil qiladi.

Temir suyuqlanmalaridan S va P lar temirga qaraganda oltin-gugurtga ancha yaqin bo'lgan elementlar yoki birikmalar yordamida chiqarib yuboriladi:



Fosfor oksidlab tozalash yo'li bilan chiqarib yuboriladi:



	O, N, NG	M, A, L, F	F, S			
Kiritish qurilmasi	D 	PGV 	MV 	K 	ZK 	I 
Kiritish yoki ta'sir qilish joyi	P 	VJ 	OK 	GK 	F 	
Maxsus qurilmalar	UF 	A, VK 	VU 	MP 	UZ 	EU 

9- rasm. Quyma qotishmalarga suyuq holatda ishlov berish usullarining umumlashgan elementlari.

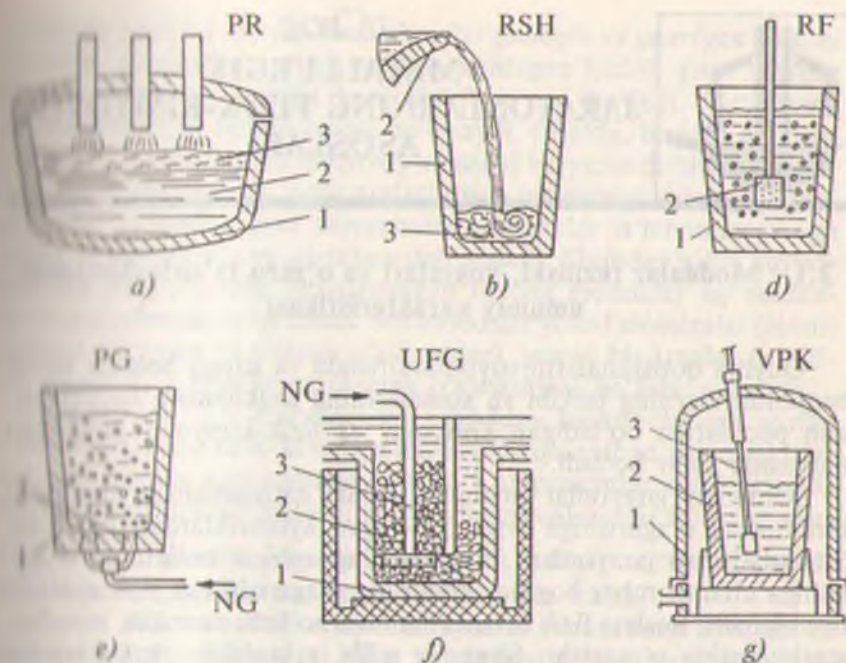
Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari yordamida tozalash bevosita suyuqlantiruvchi pechlarda amalga oshiriladi. Masalan, suyuqlantirilgan 2 metallni 1 pechda tozalash (10- a rasm) ma'lum tarkibli ($PR = SH \cup P$) 3 qo'shimcha shlak hosil qilib amalga oshiriladi. Pechdan tashqarida tozalashni sintetik shlak (10- b rasm) yordamida amalga oshirish mumkin. Sintetik shlak maxsus shlakni suyultirish pechlarida suyuqlantirib olinadi, so'ngra cho'michga quyiladi va unga 2 cho'michdan metall quyiladi. U 3 shlak bilan aralashib, zararli aralashmalardan tozalanadi.

Metallda erigan kislorodni chiqarib yuborish *oksidlantirish* deb ataladi. Bu operatsiya oksidlab tozalashdan so'ng bajariladi. Bunda erigan kislorod *oksidlantirgichlar* deb ataladigan qo'shimchalar yordamida erimaydigan oksidlarga bog'lanadi.

Metallni metallmas qo'shimmalar va gazlar ko'rinishida bo'ladigan aralashmalardan turli qo'shimchalar kiritib yoki tashqaridan ta'sir qilib tozalash mumkin. Metallni zararli aralashmalardan tozalaydigan flyuslar yoki boshqa qo'shimchalar metallga yo uning sirtiga (unda bu shlak bilan ishlov berishga teng kuchli, yo cho'michdagi 2 qalpoqcha yordamida sirt ostiga ($RF = F \cup K \cup OK$, 10- d rasm) kiritiladi. Bunda flyus qo'shimchalari qotishma bilan reaksiyaga kirishadi va gazlar hosil qiladi yoki bug'lanib ketadi. Hosil bo'lgan gazlar zararli aralashmalarni birlashtirib ularni yuzaga chiqaradi.

Gazlar yuborib tozalash usuli (10- e rasm) xuddi shunday tozalash mexanizmiga ega. Gaz yo trubka orqali ust tomondan, yo cho'michdagi g'ovak po'kak orqali beriladi. Neytral gaz pufakchalarida metallda erigan gazlarning parsial bosimi boshlang'ich vaqtda nolga teng bo'ladi va shuning uchun ham ular pufakchalarga o'tadi. Bundan tashqari, gaz pufakchalari metallmas qo'shimmalarni ilashtirib, mexanik tarzda olib chiqib ketadi. Metallmas qo'shimmalardan tozalash ham maxsus qurilmalarda UF (9- rasmga q.) filtratsiya qilib bajariladi. Bunda metallmas qo'shimmalar filtrlarda adsorbsiyalanadi. Filtratsiyani gazlar yuborib tozalash bilan birgalikda bajarish mumkin: $NG \cup PGV \cup UF-UFG$ (10- f rasm). Buning uchun maxsus qurilma 1 da 2 filtr va gaz yuborish uchun 3 truba joylashtiriladi.

Erigan gazlardan tozalashda vakuumlash samarali choraladan hisoblanadi. Metall ustida vakuum yaratilganda muvozanat buziladi, buning natijasida gazlar chiqarib yuboriladi. 10- g rasmda vakuum-gaz bilan tozalash kamerasi ko'rsatilgan ($VPK-NG \cup PGV \cup VK \cup OK$). Kamera 1 da 2 cho'mich joylashtiriladi, metall vakuumlanadi va u gaz bilan qo'shimcha tozalanadi. Ultratovush — UZ (9- rasmga q.) bilan ham muvozanatni buzish mumkin. Bunda suyuqlanmada kavitatsiya sodir bo'ladi va hosil bo'lgan bo'shliqlarga suyuq metallda erigan gaz intiladi. Gazlar pufakchalar yaratadi, so'ngra ular yuzaga suzib chiqib, suyuq metallni tozalaydi.



10- rasm. Quyma qotishmalarni tozalash metodlari.

Suyuq shlaklar, tuz suyuqlanmalarining elektrokimyoviy tabiati va ularda aralashmalarining ion holati tozalash maqsadida elektr maydondan yoki uning suyuqlanmalarni elektroliz qilish va ionlar harakati asosida pirometallurgik jarayonlar bilan kombinatsiyasidan foydalanishga imkon beradi.



II BOB METALLURGIK JARAYONLARNING FIZIK-KIMYOVIY ASOSLARI

2.1. Moddalar tuzilishi, xossalari va o'zaro ta'sirlashishining umumiy xarakteristikasi

Quyma qotishmalarni suyuqlantirishda va suyuq holatda ishlov berganda ularning tarkibi va xossalari shakllanishi suyuqlantirish pechlarida bo'ladigan kimyoviy va fizik-kimyoviy jarayonlar natijasida sodir bo'ladi.

Kimyoviy jarayonlar suyuqlantirishda qatnashadigan moddalar tarkibining o'zgarishiga bog'liq bo'lgan aylanishlardan iboratdir. Suyuqlantirish jarayonlari moddalarning agregat holatining o'zgarishiga chambarchas bog'liq, holatning o'zgarishi esa *fizik aylanish* hisoblanadi. Boshqa fizik aylanishlar ham bo'lishi mumkin, masalan, strukturaning o'zgarishi. Shunday qilib, aylanishlar *fizik-kimyoviy jarayonlar* bo'lib, bunda moddalarning tarkibi va agregat holati yoki strukturasi o'zgaradi.

Asosiy tushunchalar va ta'riflar

Fizik-kimyoviy jarayonlarni o'rganishda «modda», «komponent», «faza» tushunchalari muhim ahamiyatga ega.

Moddalar ularning fizik va kimyoviy jarayonlarga bo'linadigan xossalari ko'ra xarakterlanadi. Fizik xossalarga moddaning tashqi ko'rinishi, uning agregat holati, suyuqlanish va qaynash temperaturasi, issiqlik yoki elektr tokini o'tkazish qobiliyati, zichligi kiradi. Fizik xossalarni belgilash yoki o'lchashda moddalar tarkibi o'zgarib olmaydi. Kimyoviy xossalarni aniqlashda esa moddalarning tarkibi o'zgaradi. Masalan, moddaning yonishga moyilligi, kislota bilan reaksiyaga kirishishi yoki qizdirganda yangi modda hosil qilishini aytish mumkin.

Shunday qilib, moddalarning kimyoviy xossalari ularning turli aktiv muhitlarning kimyoviy ta'siriga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati bilan aniqlanadi.

Biror moddaning namunasi bitta yoki bir necha moddalardan tashkil topgan, ya'ni aralashma bo'lishi mumkin. Aralashmalar ma'lum tarkibga ega bo'lmaydi va fizik aylanishlar natijasida alohida moddalarga (tashkil etuvchi qismlarga) bo'linishi mumkin. Bunda yangi

moddalar hosil bo'lmaydi. Aralashmalar *gomogen* va *geterogen* bo'lishi mumkin. Gomogen aralashmalarda xohlagan kichik qism istalgan boshqa qismning tarkibi kabi tarkibga ega bo'ladi. Geterogen aralashmalarning tarkibi bir xil bo'lmaydi. Odatda, bunday aralashmaning bir qismi fizik va kimyoviy xossalari bo'yicha qo'shni qismlardan deyarli farqlanadi. Agar aralashtirish molekular darajaga erishsa, ra'ni aralashtirilgan zarrachalar molekular o'lchamlarga ega bo'lsa, unda aralashma *qorishma* deb ataladi. Shunday qilib, suyuqlashtirish jarayonlarida qatnashadigan barcha moddalar *sof moddalar* va *aralashmalarga* bo'linadi. Sof moddalar yoxud elementlar (temir, uglerod, kremniy va shunga o'xshashlar), yoxud birikmalar (oksidlari, nitratlar, karbidlar va shunga o'xshashlar) bo'lishi mumkin.

Element tushunchasi «modda» tushunchasiga aynan o'xshashdir, lekin fizik-kimyoda reaksiyada qatnashadigan moddalar komponentlar soni turlicha bo'ladi. Komponentlar miqdori moddalar sonidan shu moddalarni bog'laydigan reaksiyalar sonining ayirimi kabi aniqlanadi. Masalan, $\frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O}$ reaksiyada moddalar soni uchta, komponentlar miqdori esa ikkita.

Faza deb, atrofdagi muhitdan ajralish yuzasi bilan ayrilgan va ma'lum xossalari kompleksi bilan xarakterlanadigan moddalar majmuyiga aytiladi.

Elementlar va birikmalar kimyoviy formulalar bilan belgilanadi. Ba'zi bir birikmalar alohida zarrachalar yoki molekulalardan iborat bo'ladi. Ularning formulalari molekuladagi turli navli atomlar sonini ko'rsatadi. Masalan, CO_2 molekula o'lchab bo'ladigan massaga ega va gaz, suyuq hamda qattiq holatlarda alohida zarracha sifatida mavjud. Boshqa birikmalar elektr jihatdan zaryadlangan va ionlar deb ataladigan zarrachalardan iborat. *Ion* — bu bir butundan iborat bo'lgan va elektr zaryadini tashiydigan atom yoki atomlar guruhidir. Musbat zaryadlangan ionlar *kationlar* deb, manfiy zaryadlangan ionlar esa *anionlar* deb ataladi. Ionlardan iborat birikmalarning formulalari moddaning mikroskopik hajmida kationlar bilan anionlar orasidagi eng sodda nisbatni ifodalaydi. Masalan, NaCl osh tuzi kristali 1 : 1 da Na^+ va Cl^- ionlaridan, AlF_3 kristall esa 1 : 3 nisbatda Al^{3+} va F^- ionlaridan iborat. Bu ion birikmalardan birortasida NaCl yoki AlF_3 molekularlarini topib bo'lmaydi. Ion birikmalarda kationlar va anionlar nisbati har doim shunday bo'ladiki, bunda formula ko'rsatayotgan ionlar guruhi umuman elektr jihatdan neytral bo'ladi.

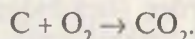
Juda katta molekulalardan (tarkibidagi atomlar soni juda katta bo'lgan molekularlar) iborat birikmalarning formulalari mazkur moddadagi atomlarning eng sodda nisbatini ifodalaydi. Masalan, SiO_2 kremniy oksidi 1 : 2 nisbatda bo'lgan kremniy va kislorod atomlaridan tashkil topgan uch o'lchamli karkasdan iborat. Bunga o'xshagan

moddaning barcha kristalini, masalan, kvarts kristalini tarkibidan atomlarining soni chamasi 10^{23} bo'lgan juda katta «molekula» sifatida ko'rib chiqish mumkin.

Kimyoviy birikma formulasini yozish usuli uning strukturasi haqida qo'shimcha ma'lumot berishga imkon beradi. Masalan, aluminii sulfati formulasi $\text{Al}_2\text{S}_3\text{O}_{12}$ ko'rinishida yozilishi mumkin, lekin $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yozuv bu birikmaning strukturasi haqida ko'p ma'lumot berishga imkon beradi, bu yerda 3 indeks qavslarda ko'rsatilgan zararchaga taalluqlidir. Bunday yozuv qavslar ichiga olingan atomlar guruhi ko'pchilik kimyoviy aylanishlarda o'zini bir butun «molekula» kabi tutishini bildiradi. Yuqorida keltirilgan formula Al^{3+} va SO_4^{2-} ionlarning eng sodda nisbatini ko'rsatadi. Bu ionlar birikmaning elektr jihatdan neytralligini ta'minlaydi va sulfat-ion ko'pchilik kimyoviy reaksiyalarda bo'linmaydigan guruh sifatida qatnashadi.

Murakkab moddalarning formulalarida moddaning tuzilishi haqida keng ma'lumot olishga imkon beradigan kvadrat qavslarda ham foydalaniladi. Masalan, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ formula har bir zararcha $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ning tarkibida oltita CN guruhi borligini ifodalaydi. Zararcha, o'z navbatida, 3 : 4 nisbatda Fe^{3+} ionlar bilan elektr jihatdan neytral bo'lgan birikma hosil qiladi. Bunday yozuv moddaning tuzilishi haqida $\text{Fe}_7\text{C}_{18}\text{N}_{18}$ sodda formulaga qaraganda ancha to'liq ma'lumot beradi. Ba'zi hollarda birikmalar formulalarida nuqtalardan foydalaniladi. Masalan, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ formula modda 1 : 10 nisbatda ikkita ancha sodda Na_2SO_4 va H_2O moddalardan iboratligini ko'rsatadi. Formulalarni bunday yozish usulidan $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ tipdagi gidratlar (tarkibida suv bo'lgan birikmalar) hamda berilliy $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ga o'xshash minerallar uchun foydalaniladi, chunki bunda ularning tarkibi haqida qo'shimcha ma'lumot olish imkoni tug'iladi. Tarkiblar doimiyligi qonunini bunga o'xshash moddalarga CO_2 ga nisbatan qo'llaniladigan darajada qo'llaniladi, ya'ni birikma formulasining birligi istalgan holda konkret birikma tarkibiga kiradigan atomlar barcha turlarining ma'lum nisbatini to'la ko'rsatadi.

Kimyoviy aylanishlar kimyoviy tenglamalar ko'rinishida yoziladi. Ular reaksiyaga kiradigan moddalar tarkibining o'zgarishi va massaviy nisbatini aks ettiradi. Tenglamada molekular modda molekular shaklda, ion moddalar esa ion shaklida yoziladi. Masalan, kislorod bilan uglerod orasida uglerod dioksidini hosil qilib o'tadigan reaksiyada barcha moddalar atomar yoki molekular shaklda bo'ladi, shu sababli tenglama quyidagi tarzda yoziladi:

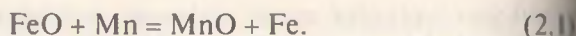


Lekin ion shaklida bo'lgan moddalar orasidagi reaksiya tenglamasida moddalarning ionlashgani aks etgan bo'lishi kerak. Masalan, cho'yanni suyuqlantirishda quyidagi reaksiya sodir bo'ladi:

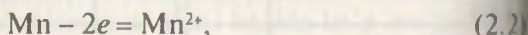
2-jadval

**Quyinkorlik metallurgiyasida foydalaniladigan kimyoviy
elementlarning atom massasi**

Element	Simvol	Tartib nomeri	Atom massasi
Azol	N	7	14,0067
Aluminiy	Al	13	26,9815
Argon	Ar	18	39,9480
Bariy	Ba	56	137,3400
Berilliy	Be	4	9,0122
Bor	B	5	10,8110
Vanadiy	V	23	50,9414
Bismut	Bi	83	208,9806
Yodurad	H	1	1,0080
Sulfam	W	74	183,8500
Tamir	Fe	26	55,8470
Yitriy	Y	39	88,9059
Kaliy	K	19	39,0983
Kalsiy	Ca	20	40,0800
Kulurad	O	8	15,9994
Kobalt	Co	27	58,9332
Kremniy	Si	14	28,0860
Magniy	Mg	12	24,3050
Manganes	Mn	25	54,9380
Mis	Cu	29	63,5460
Molibden	Mo	42	95,9400
Natriy	Na	11	22,9898
Nikel	Ni	28	58,7100
Niobiy	Nb	41	92,9064
Qalay	Sn	50	118,6900
Qo'ng'irash	Pb	82	207,2000
Qizilqumurt	S	16	32,0600
Tantal	Ta	73	180,9480
Titan	Ti	22	47,9000
Uglurad	C	6	12,0110
Fosfor	P	15	30,9738
Ftor	F	9	18,9984
Xlor	Cl	17	35,4530
Xrom	Cr	24	51,9960
Yitriy	Ce	58	104,1200
Rux	Zn	30	65,3700
Zirkoni	Zr	40	91,2200



Bunday yozuv Fe^{2+} ionlari va Mn atomlarining joylari almashadigan (temir ioni atomga aylanadi, marganes atomi esa ionga aylanadi) reaksiyaning elektrokimyoviy mexanizmini tushuntirib bermaydi. Shuning uchun



yozuv o'tayotgan reaksiya mohiyatini ko'proq aks ettiradi. Lekin kimyoviy aylanishlarni hisoblash uchun (2.1) yozuv qulayroq, chunki u moddalarning dastlabki va oxirgi massaviy nisbatlarini aks ettiradi.

Kimyoviy reaksiyalarda qatnashadigan moddalarning nisbiy vazn miqdorini hisoblash *stexiometriya* deb ataladi. Stexiometriyadan kimyoning turli sohalarida foydalaniladi, shu sababli suyuqlantirish jarayonlari bilan bog'liq bo'lgan masalalarni yechish uchun uni bilish zarur.

Kimyoviy reaksiyalarda massa nisbatlarini aniqlashda «molekulyar» tushunchasidan foydalaniladi. Formulalar oldida turgan koeffitsiyentlar mollar nisbatini aniqlaydi, bunda kimyoviy aylanishlar natijasida moddalar hosil bo'ladi va sarflanadi. Modda molining massasi bevosita uning molekular massasiga bog'liq bo'lganligi uchun to'liq kimyoviy tenglama reaksiyada qatnashgan moddalarning massa nisbatini aniqlashga ham imkon beradi.

(2.1) reaksiya uchun quyidagilarni topamiz: FeO ning bitta molekulyar massasi $56 + 16 = 72$ g, aniqroq qilib aytganda $55,847 + 15,9994$ (2-jadvalga qarang) massaga ega, lekin amaliy hisoblashlar uchun yaxlitlangan molekulyar massani olish mumkin (masalan, 1 mol Mn – 55 g, 1 mol MnO – 71 g va 1 mol Fe – 56 g). Shunday qilib, (2.1) tenglama 72 g FeO ma'lum sharoitlarda 55 g marganesni oksidlashini va bunda 71 g MnO va 56 g Fe hosil bo'lishini tasdiqlaydi. Yozuv (2.2 va 2.3) bu qanday sodir bo'lishini ko'rsatadi. Bundan tashqari, u moddalarning ion tuzilishini tasdiqlaydi. Tajribaning ko'rsatishicha, bu reaksiya moddalar suyuq holatda bo'lgandagina sodir bo'ladi.

Moddalarning tuzilishi

Barcha moddalarning elementar yacheykasi atom hisoblanishi kimyo va fizika kurslaridan ma'lum. Molekulalar, komplekslar, klasterlar va ularni tashkil etuvchi ionlar metallurgiya fazalarining elementar yacheykalaridandir. Fazalar xossalarning ma'lum birikmasini saqlaydi va atomlarning turli kombinatsiyalaridan iborat.

Korpuskular-to'lqin dualizmi atom modelini faqat shartli ravishda tasvirlashga imkon beradi va uning real tuzilishini ma'lum darajada aks ettiradi. Atomdagi mikrozarrachalarning harakati Shredinger

tenglamasida tavsiflangan. Lekin uni faqat vodorod atomi uchun aniq yechish mumkin. Ko'p atomli molekularlar uchun esa turli yaqinlashish metodlaridan foydalaniladi.

Bir elektronli to'liq funksiyalari atom orbitalari deb ataladi. Bu matematik tushuncha elektron orbitasini uning ko'rgazmali tasvirida emas, balki elektronning atomdagi holatini aks ettiradi.

Moddalarning o'zaro ta'sirlashish jarayonlarini o'rganish uchun moddalarning elektron tuzilishi juda katta ahamiyatga ega. Ularning tuzilishiga ko'ra *s*, *p*, *d* va *f*-elementlar bir-biridan farqlanadi. Molekularlar va ular atomlarining murakkab tuzilishi kimyoviy bog'lanishlarning mavjudligiga asoslangan va ular hozirgi vaqtda ikkinchi nazariya nuqtayi nazaridan ko'rib chiqilmoqda: valent bog'lanishlar (VB) va molekular orbitalar (MO).

VB nazariyasi ko'p atomli zarrachalarning hosil bo'lishi va strukturasini yaqqol ko'rsatishga imkon beradi, lekin moddalarning magnit xossalari tushuntirib bera olmaydi. Atomlarni, chunonchi, kristallar masaidagi bog'lanishni VB nazariyasi haddan tashqari sodda tasvirlaydi.

MO nazariyasi shunday tasavvurga asoslanganki, bunda molekularning har bir elektroni o'zining funksiyasi — molekular orbital bilan tasvirlanadi. Bu nazariya kimyoviy bog'lanishlarning paydo bo'lishini yadrolar va dastlabki atomlarning elektronlari hosil qilgan maydonda har bir elektronlar harakatining natijasi sifatida qaraydi. Lekin asosiy hisobni valent qobiq elektronlari qo'shganligidan, odatda, faqat ularning elektronlarini ko'rib o'tish bilan cheklaniladi. Bunda to'liq funksiyalari Shredinger tenglamasini turli taqribiy metodlar yordamida yechib topiladi.

Shunday qilib, turli birikmalardagi alohida atomlarning energetik sathlari o'zaro birlashishi natijasida molekularlardagi energetik sathlarni hosil qiladi. Bundan qanday amaliy xulosalar chiqarish mumkinligini keyinchalik ko'ramiz.

Ma'lumki, elementlarning xossalari davriylikka ega (bu 1.1 Mendeleevning elementlar davriy sistemasida aks etgan). Davriy qonunning zamonaviy ta'rifida shunday deyilgan: elementlar tartib (atom) nomerlarining ortib borishi ketma-ketligida joylashganda ularning fizik va kimyoviy xossalari davriy o'zgarishlar seziladi.

Moddalarning tuzilishi va xossalari faqat ularning tarkibiga emas, balki ularning strukturasiga ham bog'liq. Ko'pchilik elementlar turli kristallik modifikatsiyada bo'ladi. Ular zichligi jihatdan ancha farqlanishi mumkin va bunday holda elementning har bir shakliga o'zining atom hajmi (1 molning sm^3 hisobidagi hajmi) mos keladi. Misol tariqasida uglerod va qalayning atom hajmlari to'g'risidagi ma'lumotlarni keltiramiz (3-jadval).

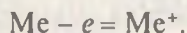
Xossalarning moddalarning tuzilishiga bog'liqligi

Element	Kristalik modifikatsiya	20 °C dagi zichligi, g/sm ³	Atom hajmi, sm ³ /mo'l
Uglerod	Olmos	3,51	3,42
	Grafit	2,26	5,31
Qalay	Oq	7,31	16,2
	Kulrang	5,75	20,6

Moddalarning tuzilishi moddani tashkil etadigan zarrachalar (atomlar, ionlar) orasidagi kimyoviy bog'lanish turiga bog'liq bo'ladi. Bog'lanishning ikkita asosiy turini ko'rib chiqamiz: *ion* va *kovalent* bog'lanish.

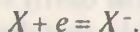
Ion bog'lanishning hosil bo'lishi «ionizatsiyalanish potentsiali», «elektronga yaqinlik» va «elektr manfiylik» kabi tushinchalar bilan xarakterlanadi.

Atomni ionizatsiyalash birinchi potentsiali deb, eng bo'sh bog'langan elektronni shu atomdan to'la chetlatishga sarflanadigan energiyaga aytiladi. Ko'rib o'tilayotgan jarayon ionizatsiyalanish reaksiyasidan iborat:



Ko'pchilik kimyoviy aylanishlarda ionizatsiya muhim rol o'ynaydi va metall elementlarning kationlar hosil qilish qobiliyatini aniqlaydi. Me^+ ionni ionizatsiyalash davom ettirilsa, navbatdagi elektronlarni chetlatish mumkin. Ionizatsiyalashning birinchi potentsiali ta'rifiga o'xshash, mazkur atomning navbatdagi elektronlarining ketma-ket chetlatilishiga mos keladigan ikkinchi, uchinchi va keyingi potentsiallar ta'riflarini oson kiritish mumkin. Ionizatsiyalash potentsiallari, odatda, elektronvoltlarda ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) ifodalanadi.

Elektronga yaqinlik — bu elektron neytral atomga birikkanida ajraladigan yoki yutiladigan energiyadir:



Ion bog'lanish bitta yoki bir nechta elektronlarni bitta atomdan boshqasiga o'tkazilganda vujudga keladi, buning natijasida atomlar ionlarga aylanadi. Bunday jarayon elektronini beradigan atom past ionizatsiyalash potentsialiga ega bo'lguncha va elektronni biriktirib oladigan atom esa bu elektronga ancha yaqin bo'lguncha energetik jihatdan qulay bo'ladi. Atomlarning bu xarakteristikasining o'zgarishi elementlarning tabiatiga bog'liq va Davriy qonunga muvofiq bo'lganligidan, elementlarning reaksiyalarga qobilligini elektronlarni ko'chirish va ularning Davriy sistemadagi o'rni bilan bog'lash mumkin.

Ionizatsiyalash potensialining eng past qiymatlari I A guruh elementlariga, elektronga yaqinlikning eng yuqori qiymati VII A guruh elementlariga xos. Agar elementlarning faqat shu ikkita xossasi hisobga olinsa, unda elektronlarning ko'chirilishi bilan bog'liq bo'lgan reaksiyaning o'tishi uchun eng qulay sharoit ko'rsatilgan ikkita guruh elementlarini o'zaro birlashtirganda yaratiladi.

Elementning *elektrmanfiyligi* deb, uning atomlarining elektronlari o'ziga tortish nisbiy qobiliyatiga aytiladi. Bu qobiliyatni baholash uchun shartli shkala belgilanadi. Elektrmanfiylikning chetki qiymatlari sely uchun 0,7 ga va fluor uchun 4,0 ga teng (4- jadval).

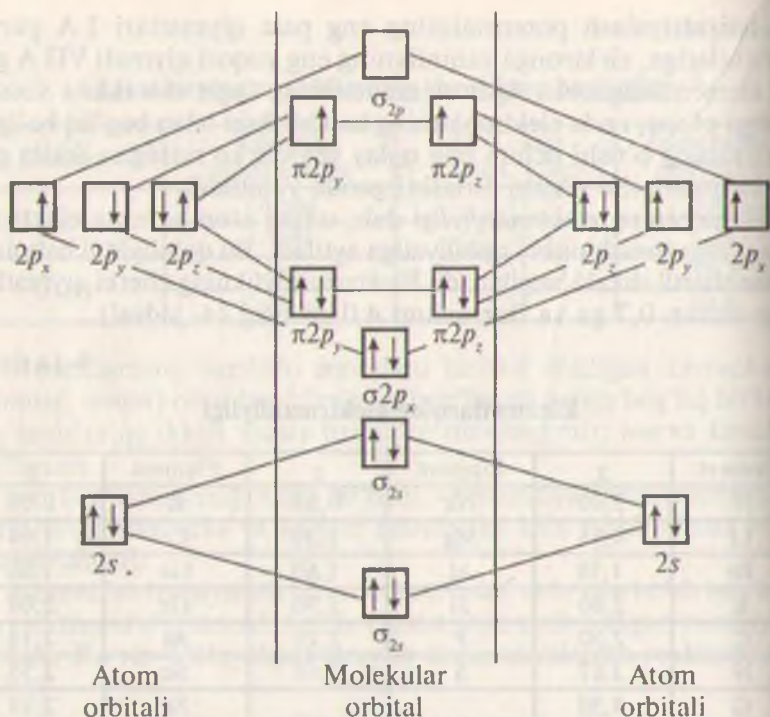
4- j a d v a l

Elementlarning elektrmanfiyligi

Element	χ	Element	χ	Element	χ
H	2,10	Na	0,93	K	0,91
Li	0,98	Mg	1,20	Ca	1,04
Be	1,50	Al	1,60	Ga	1,80
B	2,00	Si	1,90	Ge	2,00
C	2,50	P	2,20	As	2,10
N	3,07	S	2,60	Se	2,50
O	3,50			Sr	2,80
F	4,00	Cl	3,00	Cs	0,70

Elementlarning elektrmanfiyligi haqidagi ma'lumotlar birikmada elementlar orasidagi bog'lanish xarakteri to'g'risida fikr yuritishga imkon beradi. Chunonchi, elektrmanfiyligi jihatdan juda farqlanadigan elementlardan iborat birikmalar elektrmanfiylik qiymatlari yaqin elementlardan iborat birikmalarga qaraganda ionliroq hisoblanadi. Masalan, klorod, kalsiy va kremniyning elektrmanfiyligi (tegishlicha 3,50; 1,04; 1,90) haqidagi ma'lumotlardan foydalanib, CaO ($\Delta\chi = 2,44$) birikma SiO_2 ($\Delta\chi = 1,54$) birikmaga qaraganda ancha ionli ekanligi haqida xulosa chiqarish mumkin. Elektrmanfiylik chegaraviy qiymati χ ni 1,9 ga teng deb qabul qilingan, u bundan yuqori bo'lganda birikma ionli deb hisoblanadi.

Kovalent bog'lanish elektronlarni umumlashtirish natijasida vujudga keladi, bunda ular bir yo'la ikkita yadro ta'siri ostida bo'ladi. Kovalent bog'lanishga yadrolar bilan elektronlar orasidagi ancha murakkab o'zaro ta'sir sabab bo'ladi, shuning uchun ularni ionli bog'lanishga qaraganda tasavvur etish ancha qiyin. Kovalent bog'lanishning turg'unligini umumlashtiriladigan elektronlar juftining ikkita atom yadrosiga bir yo'la tortilishi bilan tushuntirish mumkin. Ikki yadro orasida va o'zaro bog'langan ikkita atomning elektron bulori orasida itarishish kuchlari mavjudligini ham hisobga olish zarur.



11- rasm. Kislorod molekulasida molekular orbitalarning hosil bo'lish sxemasi.

Kovalent bog'lanish hosil bo'lganda ikkita atom bilan umumlashtiriladigan elektronlar bog'lovchi orbital deb ataladigan orbital larni egallaydi. Gaz fazada molekular orbitalarning hosil bo'lishini ko'rib chiqamiz. Gaz fazaning shakllanishida C, O, H va N qatnashadi. Azot oksidlanish-qaytarilish jarayonlariga aktiv ta'sir ko'rsatmaydi. Uglerod va vodorod *qaytargichlar*, ularning birikmalari CO va H₂O esa *oksidlagichlar* hisoblanadi.

C—O—H sistemaning gaz molekularidagi bog'lanishlar shubhasiz kovalentlidir, chunki elektrmanfiyliklar ayirmasi quyidagiga teng:

$$\Delta\chi_{C-H} = 0,4; \quad \Delta\chi_{C-O} = 1,0; \quad \Delta\chi_{H-O} = 1,4.$$

Kislorod molekulasining elektron tuzilishi 11- rasmda keltirilgan. Kislorod uchun juftlanmagan ikkita elektronning bo'lishi unga xosdir, lekin ma'lumki, tarkibida juftlanmagan elektronlari bor zarrachalar (atomlar, ionlar, molekularlar) yuqori darajada reaksiya qobiliyatiga ega bo'ladi. H₂ va CO molekularida esa juftlanmagan elektronlar bo'lmaydi.

CO_2 molekulada elektronlar π , π va bog'lanmagan ikkita σ orbitallarda, shuningdek, π , π va bog'laydigan ikkita σ orbitallarda juft-juft bo'lib, ketma-ket joylashadi. Bu molekulada juftlanmagan molekulalar bo'lmaydi. H_2O uchun ham elektronlarning joylashishi shunga o'xshash bo'ladi. Molekular orbitallarda juftlanmagan elektronlarning bo'lmasiligi oksidlagichlarga o'xshagan gazlar kislorodga qaraganda kamroq reaksiya qobiliyatiga ega ekanligi haqida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Agregat holatlar. Qorishmalar

Barcha qattiq jismlar ikkita katta klassga bo'linadi: *kristall* va *amorf*. Qattiq kristall holat zarrachalarni to'g'ri va takror joylashishi bilan xarakterlanadi. Qattiq kristall jismlarning to'rtta tipi mavjud: *molekular kristall* (masalan, ikki o'lchovli argon), *ion kristall* (KCl), *kovalent kristall* (uglerod) va *metall*. Molekular kristallda zarrachalar o'rtasidagi bog'lanish Van-der-vaals o'zaro ta'sir kuchi hisobiga, ion kristallda Kulon o'zaro ta'sir kuchi hisobiga amalga oshadi. Kovalent kristallda kovalent bog'lanish, metallda esa elektronlarni umumlashtirish hisobiga amalga oshadigan metall bog'lanish mavjud.

Kristallarning har qaysi tipi o'ziga xos ma'lum xossalarga ega. Molekular kristall uchun past suyuqlanish temperaturasi, sublimatsiyaga moyillik, mo'rtlik, elektr o'tkazmaslik xosdir. Ion kristall yuqori temperaturada suyuqlanadi, mo'rt, faqat suyuqlantirilgan holatda elektr o'tkazuvchan bo'ladi. Kovalent kristallar taxminan shunday xossalarga ega. Metall kristallar uchun yuqori darajada elektr o'tkazuvchanlik, egiluvchanlik xos. Atomlarning bir-biriga nisbatan joylashishiga qarab, kristall panjaralarning turlari farqlanadi (3-jadval).

5-jadval

Kristall panjaralarning asosiy turlari

Turi	Misol
Kub	Osh tuzi, mis
Geksaqonal	Grafit, kvars
Tetragonal	Oq qalay
Rombik (ortorombik)	Rombik oltingugurt
Monoklin	Monoklin oltingugurt
Trigonal (romboedrik)	Kalsit

Qattiq amorf moddalar o'ta sovutilgan suyuqliklardir. Bunday strukturalarda eng yaqin qo'shni zarrachalar panjarada qariyb to'g'ri holatni egallashi mumkin, lekin navbatdagi qo'shni zarrachalar to'g'ri holatlardan ancha ko'p chetlanadi va shuning uchun bitta elementar zarracha (yacheyka) chegarasidan tashqarida zarrachalarni joylashtirishda yetarli darajada tartib o'rnatishga erishib bo'lmaydi. Metallurgiyada moddalarning bu guruhini keng ko'lamda shlaklar tashkil qiladi. Barcha suyuqlantirilgan metallar ham suyuqliklar jumlasiga kiradi.

Navbatdagi agregat holat gazsimon holat hisoblanadi. Barcha moddalar qattiq holatdan suyuq holatga, so'ngra gazsimon holatga o'tishlari mumkin. Biroq bunday holatlar orasidagi masofa turlicha bo'ladi. Agar A nuqta — qattiq holat, B — suyuq, C esa gazsimon holat bo'lsa, unda AB kesma, BC kesmaga qaraganda ko'p marta kichik bo'ladi.

Istalgan modda yetarli darajada qattiq qizdirilganda bug'lanib, gazga aylanadi. Agar temperatura ko'tarilsa, gaz molekullari ularni tashkil etadigan atomlarga parchalana boshlaydi, so'ngra atomlar ionlarga aylanadi. Gaz fazaning bunday holati *plazma holati* deyiladi. Plazma ionizatsiyalanish darajasi α bilan xarakterlanadi. Ionizatsiyalanish darajasi deganda, ionizatsiyalangan atomlar sonining ularning plazma hajm birligidagi to'la soniga nisbati tushuniladi. α ning qiymatiga qarab, plazma *ozgina*, *ko'p* yoki *to'la* ionizatsiyalangan plazmalarga bo'linadi.

Plazmaga tatbiqan past temperaturali va yuqori temperaturali tushunchalariga biroz o'zgacha ma'no beriladi. Temperaturasi $T \leq 10^5$ K bo'lgan plazmani past temperaturali deb hisoblash qabul qilingan. Metallurgiyada past temperaturali plazma ishlatiladi.

Metallurgiyada moddalar qanday agregat holatda bo'lmasin, biri-biri bilan sof ko'rinishda o'zaro ta'sirlashish jarayonlari juda kam uchraydi. Odatda, eritmalar bilan ish olib borishga to'g'ri keladi.

Eritmalarning juda ko'p turlari mavjud. Ularning xarakteri va xossalari eritmada qanday zarrachalar taqsimlanganligiga, erituvchi muhitning xususiyati qandayligiga va zarrachalar orasidagi o'zaro ta'sir qaysi tarzda amalga oshishiga bog'liq bo'ladi.

Eritmaning unda kam miqdorda bo'lgan komponentini *erigan modda* deb, ko'p miqdorda bo'lgan komponentini esa *eritgich* deb atash qabul qilingan. Agar suyuq eritmada taqsimlangan molekulyar yoki ion zarrachalarning undagi miqdorida erishi davom etmasa, unda bunday eritma *to'yingan eritma* deyiladi.

Eritmalar erigan moddalarning konsentratsiyasi bilan xarakterlanadi. Konsentratsiya massasi bo'yicha % hisobida, hajmi bo'yicha % hisobida, 1 m^3 eritmada mollarda, 1 l eritmada mollarda (molarlik) va mol ulushlarida (eritma komponentlaridan birining mollar sonining eritma mollarining umumiy soniga nisbati) ifodalanishi mumkin.

Metallurgiyada eng ko'p tarqalgani — metall eritmalari va oksidlar eritmasidir. Ularning o'zaro ta'siri oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarining o'tishi bilan xarakterlanadi.

Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari

Ibu reaksiyalar oksidlarning hosil bo'lishi va parchalanishi bilan chambarchas bog'liq. Barcha oksidlar ikkita katta klassga bo'linadi: kislotali va asosli. Kislotali oksidlar jumlasiga suvda erib kislota hosil qiladigan, shuningdek, suvda erimaydigan yoki suv bilan reaksiyaga kiritilmaydigan oksidlar kiradi. Bu oksidlarning kislota hosil qilish reaksiyasining rasman tenglamasini yozish mumkin. Masalan, SO_2 , SO_3 , P_2O_5 va CO_2 oksidlar suvda yaxshi eriydi. SiO_2 va B_2O_3 oksidlar esa suvda shunchalik qiyin eriydiki, hatto kislota hosil bo'ladigan reaksiyalarda qatnashmaydi, lekin bu birikmalar asoslarni tayyorlaydi va shuning uchun kislotali oksidlar hisoblanadi.

Suv bilan reaksiyaga kirib asoslar hosil qiladigan yoki kislotalar bilan reaksiyaga kirib tuzlar hosil qiladigan oksidlar *asosli oksidlar* deb ataladi. Masalan, K_2O va CaO oksidlardan KOH va $Ca(OH)_2$ asoslar hosil bo'ladi. Bu holda asoslarning nisbiy kuchi oksidlar tarkibidagi elementlarning elektrmanfiyligiga bog'liq, lekin kislotalardan taqriban o'laroq, eng kuchli asoslar elektrmanfiyligi eng kichik bo'lgan elementlarning oksidlaridan hosil bo'ladi.

Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari elektronlarni bitta reagent moddadan boshqasiga ko'chirib amalga oshiriladi. Oksidlanayotganda bitta modda beradigan elektronlarning to'la soni qaytarilish jarayonida boshqa modda ega bo'ladigan elektronlarning to'la soniga teng bo'lishi kerak, bu bilan birinchi jarayon sodir bo'ladi. Bu qonuniyat oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarida reagentlar orasidagi o'zaro bog'lanishni aniqlaydi va ularning tenglamalarini tuzish usulini topishga imkon beradi.

Kimyoviy aylanishda qatnashayotgan, reagentlar yo'qotadigan yoki ega bo'ladigan elektronlar sonini aniqlash uchun molekuladagi, kompleks iondagi yoki erkin holatdagi har bir atomga *oksidlanish darajasi* deb ataladigan alohida son mansub bo'ladi. Bu son atomning oksidlanish holatini ko'rsatadi va elektronlarning ko'chishini izohlay olish uchun qulay asosdan iboratdir. Lekin uni molekuladagi atom ega bo'la oladigan haqiqiy zaryad sifatida qarash kerak emas. Oksidlanish-qaytarilish reaksiyasida atomning oksidlanish holatining o'zgarishi yo'qotiladigan yoki ega bo'ladigan elektronlar sonini aniqlaydi.

Erkin holatda bo'lgan elementlarning barcha atomlariga 0 oksidlanish darajasi mansub bo'ladi. Bu erkin element, masalan, Fe , C va ularning atomlari elektronlarini yo'qotmasligi va ularni qo'shib olmas-

ligini ko'rsatadi. Cl^- , S^{2-} , Na^+ , H^+ , Ca^{2+} yoki Fe^{3+} ga o'xshash oddiy ionlar ion zaryadiga teng bo'lgan oksidlanish darajasiga ega bo'lmaydi. Birikmalarda vodorod va kislorod, odatda, tegishli +1 va -2 oksidlanish darajasiga ega. Kompleks ion yoki molekula tarkibidagi barcha atomlarning oksidlanish darajasining yig'indisi butun zarrachaning birgalikdagi to'la zaryadini aniqlaydi va turli atomlarning noma'lum oksidlanish darajasini aniqlashga imkon beradi.

Yana ikkita tushuncha kiritish zarur: *oksidlovchi* va *qaytaruvchi*. Bu terminlardan oksidlay olish va qaytara olish qobiliyatiga ega moddalarni ko'rsatish uchun foydalaniladi. Boshqa moddaning oksidlanishiga (ya'ni uning elektron yo'qotishiga) sabab bo'lgan oksidlovchi bu jarayonda qaytariladi (ya'ni elektronlarga ega bo'ladi). Bunda oksidlangan modda qaytaruvchi hisoblanadi.

Oksidlash va qaytarish jarayonlarini bir-biridan ajratib bo'lmaydi, ular miqdoriy-ekvivalent nisbatida amalga oshiriladigan bitta reaksiyaning ikkita bosqichidan iborat. Oksidlash yarim reaksiyasida yo'qotiladigan elektronlar qaytarilish yarim reaksiyasida qaytib beriladi. Bunday yarim reaksiyalar tenglamasini alohida tuzish, so'ngra esa ulardan har qaysisini tegishli koeffitsiyentlarga ko'paytirib kombinatsiyalash mumkin. Natijada oksidlanish-qaytarilish reaksiya tenglamasi hosil bo'ladi. Tenglamada na ega bo'linadigan, na yo'qotiladigan elektronlar bo'lmaydi.

Elektronlarni uzatish, ionlarning harakati, ularning shlakdagi razryadi va metallurgiyada sodir bo'ladigan boshqa jarayonlarni elektrokimyo nuqtayi nazaridan ko'rib chiqish mumkin.

Elektrokimyo haqida asosiy tushunchalar

Jarayonlarni miqdoriy tavsiflash uchun elektrokimyoda elektr hodisalariga nisbatan qo'llaniladigan tushunchalardan foydalaniladi. Elektr hodisalari zaryadlarni katta potensial energiyaga ega bo'lgan nuqtadan kam potensial energiyaga ega bo'lgan nuqta yo'nalishida ko'chirishdan iboratdir. Elektr zaryadi kattaligi kulonlarda (C) o'lchanadi. 1 s vaqt ichida kattaligi 1 C zaryad o'tkazgich orqali o'tganida vujudga keladigan elektr toki 1 A kuchga ega bo'ladi.

Elektrokimyoda ikki tipdagi o'tkazgich bilan ish olib borishga to'g'ri keladi: metall va elektrolit. *Metall o'tkazgichlar* elektr toki o'tkazish qobiliyatiga ega. Bunda o'tkazgichda birorta kimyoviy aylanishlar bo'lmaydi. Elektrolitlardan elektr toki o'tkazilganda ularning kimyoviy tarkibi o'zgaradi.

Elektrokimyoda metall va elektrolitik o'tkazgichlardan iborat elektr zanjirlar tez-tez uchraydi. Bu tipdagi o'tkazgichlar orasidagi kontaktlashish yuzasi *elektrod* deb ataladi. Aslini olganda, elektrod — elek-

Ular manbai yoki, aksincha, ularni qabul qiluvchi bo'lib xizmat qiladi: elektronlar elektrodan elektrolitga o'tganda u katod deb, elektronlar elektrolitdan elektrodga o'tganda esa u anod deb ataladi.

Elektr toki elektrod orqali o'tkazilganda unda ma'lum o'zgarishlar sodir bo'ladi. Ulardan eng muhimi anodda sodir bo'ladigan oksidlanish jarayoni va katodda sodir bo'ladigan qaytarilish jarayonidir. Elektrolit orqali elektr toki o'tkazilganda sodir bo'ladigan jarayon *elektroliz* deb ataladi.

Elektrokimyoning asosiy qonuni *Faradey qonunidir*: elektrolit orqali o'tadigan va kulonlarda o'lchanadigan elektr miqdori (q) moddaning oksidlanadigan yoki qaytariladigan kimyoviy ekvivalentlari sonining (n) Faradey soni (F) ga ko'paytmasiga teng. 96490 C ga teng bo'lgan Faradey soni mol (ya'ni $6,023 \cdot 10^{23}$) elektronlardan iborat.

Elektrokimyoning boshqa muhim tushunchasi *galvanizatsiya* (galvanik elementlar) hisoblanadi. U o'zining ma'nosi jihatidan elektrolizning aksi. Elektrolizni amalga oshirish uchun ikkita elektrod-da oksidlanish va qaytarilish reaksiyalarini amalga oshirishga imkon beruvchi elektr potensialning tashqi manbai zarur. Bundan farqli o'laroq, galvanik elementni yaratish uchun shunday elektrodlar va elektr moddolari tanlanadiki, ular elektrokimyoviy energiyaga ega bo'lsin. Bu energiya oksidlanish va qaytarilish jarayonlarining o'z-o'zidan sodir bo'lishi uchun yetarli bo'lishi kerak.

Istalgan yarim reaksiyaning oksidlanish-qaytarilish potensialini aniqlash eritmalar uchun qo'llaniladigan standart vodorod elektrodi-niing potentsiali bilan taqqoslab o'lchash mumkin. Metallurgiyada qaytarilmalar uchun standart kislorod elektrodidan foydalaniladi. Bu haqda metallurgiya jarayonlarida sodir bo'ladigan reaksiyalar me'yanizmini o'rganishda ancha batafsil aytib o'tiladi.

U yoki bu reaksiyalarning sodir bo'lishi mumkinligi ularni harakatlantiruvchi kuchlar bilan aniqlanadi. Bu kuchlar bevosita energiya, issiqlik, entropiya va kimyoviy termodinamika o'rganilgan boshqa tushunchalarga bog'liq.

2.2. Kimyoviy termodinamika asoslari

Kimyoviy termodinamika — fizik kimyoning bo'limidir. Unda kimyo sohasidagi termodinamik hodisalar, shuningdek, moddalar termodinamik xossalari va ularning tarkibi va agregat holatiga bog'liqligi ko'rib o'tiladi.

Asosiy tushunchalar va tavsiflar. Termodinamika o'rganadigan obyekti termodinamik sistema bo'lib, u modda va energiya bilan almashinib, bir-biri hamda boshqa jismlar bilan o'zaro ta'sirlashadigan fazalar, moddalar (fizik jismlar) majmuyidan iborat.

Izolatsiyalangan, berk va ochiq sistemalar mavjud. Izolatsiyalangan sistema tashqi muhit bilan energiyasi bilan ham, massasi bilan ham almashinmaydi, berk sistema faqat energiyasi bilan, ochiq sistema energiyasi bilan ham, massasi bilan ham almashinadi. Klassik termodinamika berk sistemalarni o'rganadi.

Sistema tarkibidagi fazalar va komponentlarning xossalari *ekstensiv* hamda *intensiv* xossalarga bo'linadi. Ekstensiv xossalari additivlikka (masalan, massa va hajm) ega. Alohida qismlar massalarining (hajmlarining) yig'indisi butun jism massasi (hajmi) ga teng. Intensiv xossalari (masalan, bosim va temperatura) har bir nuqtada ma'lum qiymatga ega bo'ladi. Ular sistemaning *termodinamik parametrlari* deb ataladi.

Sistemalarda sodir bo'ladigan jarayonlar o'zgarmas temperaturada sodir bo'ladigan *izotermik*, o'zgarmas hajmda sodir bo'ladigan *izoxorik* va o'zgarmas bosimda sodir bo'ladigan *izobarik* yoki izobar jarayonlarga bo'linadi. Bundan tashqari, izolatsiyalangan sistemalarda *adiabatik* jarayonlar sodir bo'ladi, bunda sistema bilan atrofdagi muhit orasida issiqlik almashinish istisno qilinadi.

Barcha jarayonlarda termodinamikaning uchta asosiy qonuniga rioya qilinadi. Bu qonunlar termik jarayonlarga tatbiqan tabiat qonunlarini ifodalaydi.

Termodinamikaning birinchi qonuni

Faqat issiqlik va ishni bevosita o'lchash mumkin. Moddaning ichki energiyasi esa uning holatiga, ya'ni temperatura, bosim va hokazolarga bog'liq. Agar izolatsiyalangan jism ustida ish bajarilayotgan bo'lsa, u holda uning ichki energiyasi bajarilgan ishga teng kattalikka o'zgaradi. Jism temperaturasining xuddi shunday o'zgarishiga ancha qizdirilgan jism uzatadigan issiqlik sabab bo'lishi mumkin.

Termodinamikaning birinchi qonuni issiqlik jarayonlari jiddiy rol o'ynaydigan sistemalar uchun energiyaning saqlanish qonunini ifodalashdan iborat. Bu qonunga muvofiq energiya bir shakldan boshqasiga aylanishi mumkin, lekin vujudga kelishi yoki yo'q bo'lishi mumkin emas. Izolatsiyalangan sistemaning to'la energiyasi o'zgarmasdir, ya'ni:

$$Q + U + A = \text{const}, \quad (2.4)$$

bu yerda: Q — keltirilgan issiqlik miqdori, J ; U — jami ichki energiya, J ; A — bajarilgan ish miqdori, J .

(2.4) tenglama faqat izolatsiyalangan sistemalar uchun o'rinlidir. Tabiat hodisalari yoki texnik jarayonlarni termodinamik analiz qilish uchun jismlar ichki energiyasi zaxirasining absolut kattaligini bilish zaruriyati yo'q, chunki mazkur holda bu funksiyaning o'zga-

ishigina ahamiyatga ega. Funksiyaning o'zgarishi ish va issiqlik effekti-ning bevosita o'lchab bo'ladigan kattaligi bo'yicha aniqlanishi mumkin [1, 3, 12].

Reaksiyaning issiqlik effekti, ya'ni ajralib chiqqan yoki yutilgan issiqlik miqdori sistemaning entalpiya (H) deb ataluvchi to'la energiyasining o'zgarishiga teng. Entalpiya ish va issiqlik birliklari, ya'ni joullarda o'lchanadi.

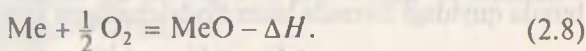
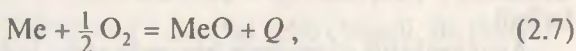
Shunday qilib, issiqlik effekti Q ga teng bo'lgan istalgan reaksiya uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta A. \quad (2.5)$$

(2.4) va (2.5) larni taqqoslashdan ko'rinib turibdiki, reaksiya-ning issiqlik effekti va sistema entalpiyasining o'zgarishi qarama-qarshi ishoraga ega:

$$Q = -\Delta H. \quad (2.6)$$

Shu sababdan, metallning (Me) issiqlik ajralib sodir bo'ladigan oksidlanish reaksiyasini ikki usulda yozish mumkin:



(2.7) ifoda reaksiya vaqtida issiqlik ajralib chiqishini, (2.8) ifoda esa sistemaning jami energiyasi, ya'ni uning entalpiyasi kamayishini ko'rsatadi.

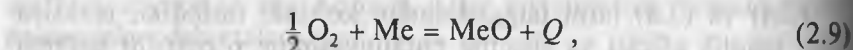
Termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq ish (issiqliksiz) yoki issiqlik (ishsiz) miqdori izolatsiyalangan jismni bir holatdan boshqasiga o'tkazish uchun zarur bo'lgan jism energiyasining o'zgarishiga teng va o'tish amalga oshirilgan usulga bog'liq bo'lmaydi.

Sistema ichki energiyasining birorta jarayon sodir bo'lishi natijasida o'zgarishini bu jarayon vaqtida uzatilgan ish va issiqlik miqdorini aniqlab topish mumkin. Ichki energiyaga o'xshab, entalpiya boshlang'ich holatdan oxirgi holatga o'tish amalga oshirilgan usulga emas, balki faqat sistemaning holatiga bog'liq bo'ladi. Yangi reaksiyalar uchun entalpiyaning o'zgarishi (ΔH) oldin o'lchangan reaksiyalarda olingan ma'lumotlar asosida hisoblab topiladi. Agar hosil bo'lish entalpiyasi ($\Delta H_{h.b.}^o$) tushunchasi kiritilsa, hisoblashlar ancha soddalashadi. Bu tushuncha modda moli standart holatda elementlardan tashkil topadigan reaksiya uchun entalpiyaning o'zgarishidan iborat. Bunda elementlarning har biri, shuningdek, standart holatda bo'lishi kerak. Hosil bo'lish entalpiyasidan reaksiya entalpiyasini hisoblashda ham foydalanish mumkin:

$$\Delta H = \sum \nu_i \Delta H_{h.b.}^o - \sum \nu_j \Delta H_{h.b.}^o,$$

bu yerda: $\sum \nu_i \Delta H_{h.b.}$ – reaksiya mahsulotlarining hosil bo‘lish entalpiyalari yig‘indisi; $\sum \nu_j \Delta H_{h.b.}$ – reaksiyaga kiradigan moddalarning hosil bo‘lish entalpiyalari yig‘indisi; ν_i va ν_j – reaksiya tenglamasida stexiometrik koeffitsiyentlar.

Termodinamika birinchi qonunining qo‘llanilishi. Yuqorida ko‘rsatib o‘tilganidek, reaksiyaning issiqlik effekti ichki energiyaning o‘zgarishiga va ishning bajarilishiga bog‘liq. Agar kimyoviy aylanishlarda ish bajarilmasa ($A = 0$), u holda $\Delta H = \Delta U$. Masalan, agar bu metallning oksidlanish jarayoni bo‘lsa,



(be yerda $Q = 20000 \text{ J/mol}$), u holda (2.9) ifoda 1 mol MeO oksid hosil bo‘lganda issiqlik ko‘rinishida 20000 J energiya ajralishini ifodalaydi. Binobarin, MeO bir molining ichki energiyasi kislorod $\frac{1}{2}$ molining va metall 1 molining ichki energiyasidan 20000 J kam bo‘ladi.

Agar reaksiya o‘zgarmas bosimda sodir bo‘lsa, hajm esa o‘zgarsa, bunda quyidagi formula bilan ifodalanadigan kengaytirish ishi bajariladi:

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V = -Q. \quad (2.10)$$

Agar reaksiyada faqat qattiq jismlar va suyuqliklar (kondensatsiyalangan fazalar) qatnashsa, u holda $p\Delta V$ kattalik Q ga nisbatan juda kichik va uni hisobga olmasa bo‘ladi. Bunda

$$\Delta H = \Delta U = -Q.$$

Reaksiyaning issiqlik effekti temperaturaga bog‘liq. Shuning uchun ularning qiymatlari ma‘lum temperaturaga oid. Masalan, ΔH_{298} yozuv issiqlik effekti $T = 298 \text{ K}$ (25°C) da o‘lchanganligini ifodalaydi. Issiqlik effektining temperaturaga bog‘liqligi ikkita tenglamada ifodalanadigan Kirxgof qonuni vositasida tavsiflanadi:

$$\left[\frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} \right]_{p=\text{const}} = \Delta c_p, \quad (2.11)$$

$$\left[\frac{\partial(\Delta U)}{\partial T} \right]_{V=\text{const}} = \Delta c_v, \quad (2.12)$$

bu yerda c_p va c_v – tegishli o‘zgarmas bosim va hajmdagi issiqlik sig‘imi.

Kirxgof qonuni istalgan temperatura uchun ΔH ni hisoblab topishga imkon beradi. Tenglama (2.11) ni T_0 dan T gacha chegaralarda integrallab, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\Delta H_T = \Delta H_{T_0} + \int_{T_0}^T \Delta c_p \cdot dT, \quad (2.13)$$

bu yerda $T_0 = \Delta H$ ma'lum (ΔH_{T_0}), masalan, ΔH_{298} bo'lgan temperatura; $T = \Delta c_p$ aniqlanishi kerak bo'lgan temperatura; $\Delta c_p = T_0$ dan T gacha temperaturalar oralig'ida c_p ning o'zgarishi.

Kirguf tenglamasining qo'llanilishini misolda ko'rsatish mumkin [12]. Uglevod oksidining oksidlanish reaksiyasi uchun ΔH ning temperaturaga bog'liqligi ifodasini topamiz:

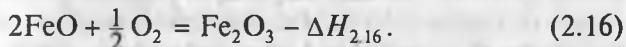
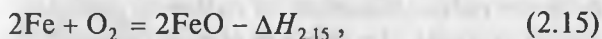
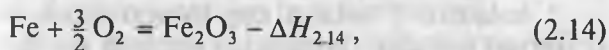


Bu reaksiyada qatnashayotgan moddalarning uy temperaturasidan boshqa temperatura atrofidagi mol issiqlik sig'implari uchun taqribiy tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: $c_p^{\text{CO}} = 6,50 + 0,001 T$; $c_p^{\text{O}} = 6,80 + 0,001 T$; $c_p^{\text{CO}_2} = 7,00 + 0,0071 T - 0,00000186 T^2$. Bundan $\Delta c_p = 2,75 + 0,0056 T + 0,00000186 T^2$ ekanligi kelib chiqadi. Bu ifodani (2.13) tenglamada Δc_p uchun qo'yib va $T_1 = 298^\circ$ bilan T_2 orasida integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\Delta H_{T_1}^0 = -67600 - 2,75(T_2 - 298) + 0,0028(T_2^2 - 298^2) + 0,00000062 \cdot (T_2^3 - 298^3).$$

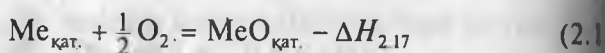
Issiqlik effektlariga bog'liq bo'lgan boshqa muhim qonun Gess qonuni hisoblanadi. Bu qonunga muvofiq reaksiyaning issiqlik effekti reaksiyaning o'tish yo'li, ya'ni uning oraliq bosqichlariga emas, balki boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liq bo'ladi.

Masalan, temirning oksidlanishi bir nechta reaksiyalar bo'yicha sodir bo'lishi mumkin:



Gess qonuniga muvofiq $\Delta H_{2,14} = \Delta H_{2,15} = \Delta H_{2,16}$. Bu holatni eksperimental ma'lumotlar tasdiqlaydi. Reaksiya alohida bosqichlarining ΔH ma'lum bo'lsa, Gess qonuni bo'yicha uning issiqlik effektini hisoblab topish mumkin.

Reaksiyaning issiqlik effekti kimyoviy va fizik-kimyoviy aylanishning energetik balanslarini tuzishga hamda analiz qilishga imkon beradi. Masalan, quyidagi



tenglama qattiq metallning (Me), oksidlanishi qattiq oksidning ho bo'lishi va $\Delta H_{2.17}$ J issiqlikning ajralishi bilan sodir bo'lishini ifodalay Quyidagi



tenglama MeO ning suyuq oksidi $\Delta H_{2.18}$ J issiqlik miqdori sarfl uglerod bilan qaytarilishini ifodalaydi. Lekin bu jarayonlar so bo'ladimi? Bu savollarga termodinamikaning birinchi qonuni jav bermaydi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Umumiy termodinamikaning birinchi qonuni abadiy dvigatelni ya'ni uzluksiz energiya yaratadigan mashinaning mavjudligi ehtimol rad etadi, lekin mashinaga keltirilgan barcha issiqlikni amalda fa dali ishga aylantirishga qobiliyatli uzluksiz ishlaydigan masht yaratish mumkinligini istisno etmaydi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni bunday mashina yaratil mumkinligini rad etadi. Tajriba shuni ko'rsatadiki, issiqlikning qismi atrofda muhitga tarqalishi muqarrardir.

Termodinamika ikkinchi qonunining eng umumiy ta'rifini Klau zius bergan: sistemaning entropiya deb ataladigan holat funksiy mavjud, uning dS orttirmasi sistemaga qaytuvchan issiqlik berilgan quyidagiga teng:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (2.1)$$

Real (qaytmas) adibatik jarayonlarda entropiya ortib, muvoza holatda eng katta qiymatga ega bo'ladi. Entropiya ekstensiv kattalik

1 holatdan 2 holatga eng so'nggi o'tish uchun entropiyan o'zgarishi quyidagi formuladan hisoblab topiladi:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{Q_{1-2}}{T}, \quad (2.2)$$

bu yerda Q_{1-2} — holat 1 dan holat 2 ga o'tish uchun keltirilg issiqlik miqdori.

Jarayonning har bir cheksiz kichik sohasida yutilgan issiqli dT temperatura differensialiga ko'paytirilgan c issiqlik sig'imiga ten Bundan

$$dS = \frac{cdT}{T} \quad (2.2)$$

Bu tenglamani integrallab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\int_{S_2}^{S_1} dS = \int_{T_2}^{T_1} \frac{cdT}{T}. \quad (2.22)$$

Temperaturaning ortishi bilan entropiya har doim ortadi, bu esa temperatura ortganda molekular harakati tartibsizligining kuchayishi bilan moslashadi.

Entropiyaning o'zgarishi (2.20) tenglama yordamida hisoblanadi. Masalan, suyuqlanish issiqligi $\rho = 320 \text{ J/g}$, suyuqlanish temperaturasi $T_s = 1000 \text{ K}$ bo'lgan metall (Me) uchun entropiyaning o'zgarishini hisoblash talab etiladi:

$$\Delta S = S_{\text{Me}_{\text{suyuq}}} - S_{\text{Me}_{\text{qat}}} = \frac{M_{\text{Me}} \rho}{T_s}.$$

Mol massasini $M_{\text{Me}} = 60 \text{ g}$ deb qabul qilamiz. Unda $\Delta S = \frac{320 \cdot 60}{1000} = 19,2 \text{ J/mol}$ bo'ladi.

Qizdirganda entropiyaning o'zgarishi (2.22) tenglama yordamida hisoblanadi. Uni integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$S_1 - S_2 = \Delta S = c \ln \frac{T_1}{T_2}.$$

Bu formula bo'yicha qizdirganda entropiyaning o'zgarishini osonroq hisoblab topish mumkin.

Termodinamika ikkinchi qonunining qo'llanilishi. Entropiyaning hisoblab topilgan qiymatlaridan izolatsiyalangan sistemalarda muvozanatga erishilganlik darajasini baholash uchun foydalanish mumkin. Lekin metallurgik jarayonlar izolatsiyalanmagan, boshqacha aytganda, ochiq sistemalarda sodir bo'ladi. Bu sistemalar termodinamik hisob uchun ma'lum darajada taxminan berk hisoblanadi.

Bunday sistemalarda muvozanatni baholash uchun Gibbs energiyasi (G) tushunchasidan (avvallari bu tushuncha erkin energiya nomi bilan izotermik potensial sifatida ma'lum edi, shuning uchun 1980 yilgacha nashr etilgan adabiyotda eski ta'rifni uchratish mumkin) foydalaniladi. Gibbs energiyasining ichki energiya va entalpiya bilan bog'liqligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$G = U - T \cdot S + A = H - T \cdot S. \quad (2.23)$$

Gibbs energiyasi uchun, xuddi ichki energiya kabi, absolut qiymati emas, balki uning u yoki bu jarayondagi o'zgarishi muhim. Gibbs energiyasining asosiy xususiyati shundan iboratki, qaytar jarayonlarda uning kattaligi o'zgarmaydi, qaytmas jarayonlarda esa

faqat kamayadi. Binobarin, izobar-izotermik sistemalarning muvozanatda bo'lishlik sharti Gibbs energiyasining minimum bo'lishidir. Gibbs entropiyasi va energiyasi holat parametrlariga bog'liq bo'ladi:

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Vdp.$$

Tenglamaga TdS qiymatini qo'yib, erkin energiyaning bosim va temperaturaga bog'liqligini topamiz:

$$dG = V \cdot dp - SdT. \quad (2.23)$$

Bundan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = V \quad (2.24)$$

va

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p = -S. \quad (2.25)$$

(2.26) tenglamadan S ning qiymatini (2.23) ifodaga qo'yib quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$G = H + T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p.$$

Bu tenglama *Gibbs-Gelmgoles tenglamasi* deb ataladi va o'zgarish bosimda Gibbs energiyasining temperaturaga bog'liqligini xarakterlaydi.

$\Delta G = f(T)$ bog'lanish metallurgik jarayonlarni amalda termodinamik analiz qilishda to'g'ri chiziq tenglamasi ko'rinishida ifodalandi:

$$\Delta G = A + BT. \quad (2.26)$$

Bunda, agar dastlabki moddalar va reaksiya mahsulotlari standart holatda olinsa, ΔG «nolinchi» indeksi bilan to'ldiriladi (G°). Standart holat dastlabki moddalar va reaksiya mahsulotlari atmosfera bosimi hamda $T = 298 \text{ K}$ da eritmalar, aralashma va shunga o'xshashlar ko'rinishida emas, balki sof holda olinganligini ifodalaydi, ya'ni

$$\Delta G^\circ = \Delta H_{298}^\circ - T \cdot \Delta S_{298}^\circ. \quad (2.27)$$

ΔG° qiymati bo'yicha reaksiyaning sodir bo'lishi mumkinligi haqida fikr yuritish mumkin. Masalan, mazkur temperatura va bosimda grafitning olmosga aylanishi mumkinligi yoki yo'qligini aniqlash olish zarur. Agar bu sharoitlarda olmosning erkin energiyasi (G) grafitniki (G_{gr})dan ortiq va ΔG musbat bo'lsa, u holda bunda jarayonning sodir bo'lishi mumkin emas. Lekin p va T larning boshq

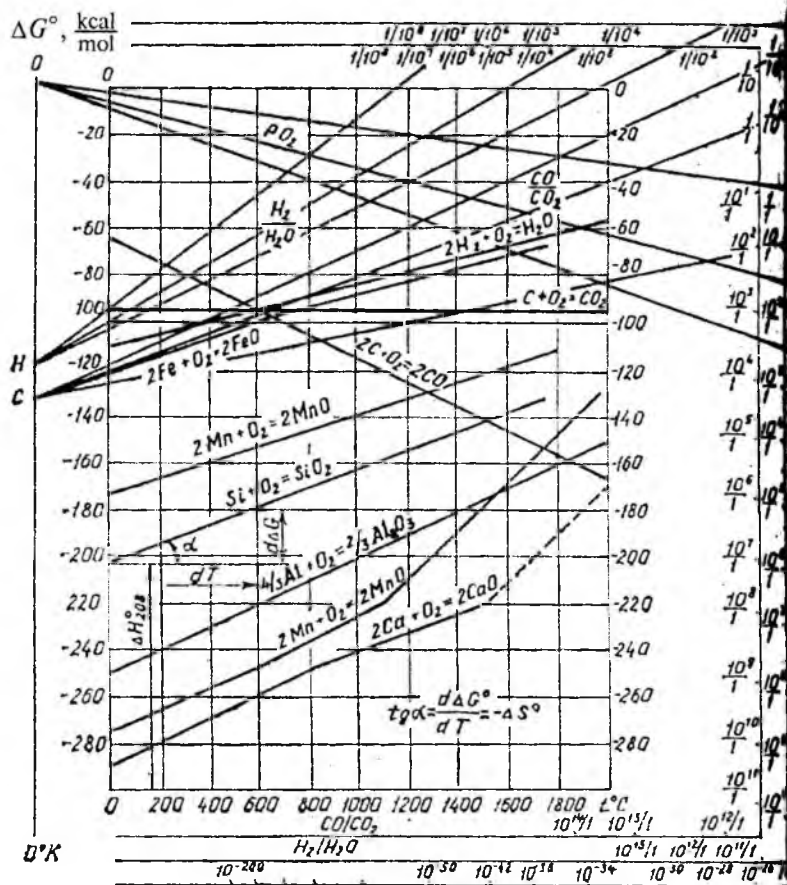
sharoitlarida ΔG manfiy bo'lishi mumkin. Hozirgi vaqtda bu jarayon, masalan, 3000 K temperatura va 100 000 atm bosimda amalga oshiriladi [12].

**Oksidlar, xloridlar, floridlar, sulfidlar, karbonatlar va silikatlar-
ning hosil bo'lish va parchalanish termodinamikasi.** Qiyosiy analiz uchun, odatda, ΔG° ning qiymati kJ/mol O_2 yoki J/g-atom O larda beriladi. Eng muhim elementlar uchun bunday taqqoslash 12- rasmda keltirilgan, bu yerda fazaviy o'tish nuqtalarida sinishlarga ega bo'lgan $\Delta G^\circ = f(T)$ chiziqlardan tashqari, kislorod muvozanat bosimining o'zgarish sharoitlar uchun muvozanatda bo'lgan CO/CO_2 va H_2/H_2O nisbatlar darajasining qiymatlari keltirilgan. Bu diagrammadan foydalanib, ΔG° ning qiymatinigina emas, balki p_{O_2} ni ham, shuningdek, $H-O$ -metall va $H-O$ -metall sistemalaridagi muvozanat nisbatini hisoblash mumkin. Diagrammani qurish prinsipi rasmda keltirilgan.

Tabiiy energiyasi tushunchasi oksidlarning nisbatan mustahkam bo'lishi haqida mulohaza yuritishga imkon beradi, lekin uni juda katta ehtiyotlik bilan qo'llash lozim. Shuni nazarda tutish zarurki, Gibbs energiyasi haqidagi ma'lumotlar muvozanat holatlarga taalluqlidir. Agar reaksiya mahsuloti reaksiya zonasidan doim chiqarib turilsa, muvozanat hech qachon bo'lmaydi. Bunda reaksiya tezligi va aktivatsiya energiyasi katta ahamiyatga ega. Masalan, $C + O_2 \rightleftharpoons CO_2$ reaksiya uchun $\Delta G^\circ = -94$ kkal/mol, lekin agar ko'mir yondirilmasa, ya'ni reaksiya aktivatsiya energiyasi berilmasa, u yonmaydi. Past temperaturada reaksiya tezligi shunchalik kichik bo'ladiki, amalda reaksiya sodir bo'lmaydi.

$\Delta G^\circ = f(T)$ chiziq qiyaligi reaksiya entropiyasining o'zgarishini ko'rsatib beradi, chunki $d\Delta G^\circ/dT = -\Delta S$. To'g'ri chiziq $\Delta G^\circ = f(T)$ ning qiyaligi dastlabki moddalar yoki reaksiya mahsulotlarining fazaviy o'tish nuqtalari (suyuqlanish, qaynash, fazaviy o'tish) bilan o'zgaradi. Fazaviy aylanish vaqtida entropiya o'zgaradi va to'g'ri chiziqning qiyaligini o'zgartiradi. $\Delta G^\circ - T$ diagrammadagi to'g'ri chiziqning qiyaligi (12- rasmda q.) o'xshash qiyaliklarga ega, chunki gazsimon mahsulotdan qattiq oksidga o'tishda entropiyaning o'zgarishi barcha holatlarda qariyb bir xil bo'ladi.

Metall kislorod bilan o'zaro ta'sirlashib qattiq oksid hosil qilganda entropiya kamayadi, chunki qattiq oksid metall va gazga nisbatan tartiblangan strukturaga ega bo'ladi. $\frac{d(-\Delta G^\circ)}{dT} = \Delta S^\circ$ bo'lgani uchun diagrammada to'g'ri chiziqlar musbat qiyalikka ega bo'lishi kerak, ya'ni temperatura ortgan sayin ΔG° kattalik kamroq manfiy bo'lib qoladi. Fazaviy aylanishlarda chiziqlar o'z qiyaligini o'zgartiradi. Qaynash temperaturalari va sublimatsiyada chiziqning qiyaligi suyuqlanish nuqtasidagiga qaraganda deyarli tik bo'ladi,



12-rasm. Oksidlar uchun $\Delta G^\circ = f(T)$ diagrammasi.

chunki qattiq holatdan suyuq holatga o'tishda qattiq yoki suyuq holatdan gazsimon holatga o'tishdagiga qaraganda tartibsizlik kam bo'ladi [41, 47]. Oksidlar uchun $\Delta G^\circ = f(T)$ diagrammadan quyidagi muhim xulosa chiqadi: ΔG° ning manfiy zonasida joylashgan metallar temperaturasi o'zidan oksidlanadi, shu vaqtning o'zida esa undan yuqori joylashgan metallar oksidlanmaydi. Qariyb barcha metallar $\Delta G^\circ < 0$ zonasida joylashadi.

Oksidning turg'unligi bevosita ΔG° ning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Turg'unligi kamroq bo'lgan oksidlar son qiymati uncha kam bo'lmagan ΔG° ga, ancha turg'un oksidlar esa uning absolut qiymatining yuqori qiymatiga ega bo'ladi. Shunday qilib, ΔG° ning manfiy zonasiga erishilganda oksidlanish tugaydi yoki turg'unmas oksid holatga bo'ladi. Masalan, $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ reaksiyada 1500 °C

temperaturada Fe_2O_3 ning oksidlanishi mumkin emas, chunki bunday va undan yuqori temperaturada turg'un bo'lmaydi. HgO ni shunday tarzda oddiy qizdirish yo'li bilan metallga aylantirish mumkin [36, 42].

Endi faqat $\Delta G^\circ = f(T)$ chiziqlari diagrammada bu qiymatdan foydalanadigan metallar bilan qaytarilishi mumkin. $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ reaksiya chizig'i qariyb gorizontall joylashgan, ya'ni uning taxminan nolga teng, bundan bu reaksiya uchun entropiya o'zgarmaydi, degan xulosa kelib chiqadi. Buni quyidagilar tushuntirish mumkin: amalda dastlabki va oxirgi hajmlar (amallanish uchun O_2 va SO_2 gazlarning hajmi shunday hajmlardandir) birinchi va ikkinchi, qattiq moddalarning entropiyasi uncha katta bo'lmaydi.

$\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ reaksiya chizig'i pastga qarab yo'nalgan, ya'ni entropiya qiyalikka ega. Bu entropiyaning ko'p ortishi hisobiga sodir bo'ladi. Gazsimon CO ning ikkita hajmi kislorodning bitta hajmidan iborat. CO hosil bo'lish chizig'ining manfiy qiyalikligi katta bo'lgan ega, chunki metallning qariyb barcha metall-oksidi chizig'ini o'z ichiga olgan bo'lgan chizig'i bilan yuqori temperaturada kesishib o'tadi. Bu holatda yuqori temperaturada ko'pchilik metall oksidlarning uglerod bilan qaytarilishi mumkinligini ifodalaydi.

Uglerod oksidi CO_2 dan yuqorida joylashgan barcha oksidlarni qaytarilishi mumkin. Masalan, NiO 700°C da CO bilan qaytarilishi mumkin: $\text{NiO} + \text{CO} = \text{Ni} + \text{CO}_2$. Bunda H_2O chizig'idan yuqorida joylashgan barcha oksidlar vodorod bilan qaytarilishi mumkin. Masalan, yuqori temperaturada $2\text{H}_2 + 2\text{CoO} \rightarrow 2\text{Co} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Metallarga nisbatan metallarning xloridlari past suyuqlanish temperaturada va yuqori uchuvchanlikka ega bo'ladi. Xloridlarning hosil bo'lishi va ularning metallgacha qaytarilishi — rangli qotishmalarni qaytarilishda muhim jarayondir. Xlorid uchun ΔG° ning manfiy qiyalikligi qanchalik katta bo'lsa, uning turg'unligi shunchalik yuqori bo'ladi. Oltin va simob xloridlarining turg'unligi past, ishqor hosil bo'lgan va ishqoriy-yer metallarning turg'unligi yuqori bo'ladi.

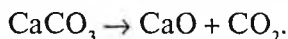
Diagrammadagi ko'pchilik egri chiziqlar bir-birini kesib o'tadi, bunda temperatura ortgan sayin xloridlar nisbiy turg'unligining kamayishi haqida guvohlik beradi. Temperatura ortganda xloridga aylantirish sodir bo'lganda reaksiya entropiyasi manfiyroq bo'lgan qiyaligi kam bo'ladi. Agar fazaviy aylanishlar metallda sodir bo'lsa, teskari effekt kuzatiladi. Metall oksidlari uchun uglerod bilan qaytargich hisoblanadi, lekin xloridlarni qaytarish uchun u qaytargich hisoblanadi.

Shunday qilib, chunki $\frac{1}{2}\text{C} + \text{Cl}_2 \rightarrow \frac{1}{2}\text{CCl}_4$ reaksiya chizig'i diagrammada yuqorisi yonida bo'ladi.

Ftoridlar uchun ham $\Delta G = f(T)$ diagramma mavjud [42]. turg'uni ishqor hosil qiladigan va ishqoriy-yer metallarning flaridir. Masalan, magniy TiF_4 , BeF_2 , ZrF_4 larni qaytaradi. Egri clari HF egri chiziq ustida joylashgan ftoridlarni vodorod vosi metallgacha qaytarib bo'lmaydi. Metallar ftoridlarini qaytarish uglerod mutlaqo yaroqsizdir.

Sulfidlar uchun $\Delta G = f(T)$ diagramma analiz qilinganda, turg'uni seriy, kalsiy va magniy sulfidlari ekanligini ko'rsatadi metallar desulfirator bo'lishi mumkin.

Karbonatlar mustahkam birikma hisoblanmaydi. Masalan, C uchun $\Delta G^\circ = f(T)$ chiziq $t = 850^\circ\text{C}$ da $\Delta G^\circ = 0$ chiziqni o'tadi. Binobarin, qizdirganda u parchalanadi:

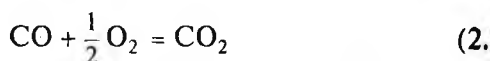


Silikatlar uchun chiziqlarning juda kam qiyalikka ega bo' xosdir, ya'ni etropiyasi juda kam o'zgaradi, buni ularning hosil shida faqat kondensatsiyalangan fazalar qatnashishi bilan tus tirish mumkin [42].

Termodinamika qonunlari metallurgik sistemalarda muvozanat har xil turlarini hisoblashga imkon beradi. Kimyoviy va fazaviy vozanatlar mavjud.

Kimyoviy muvozanat. Kimyoviy reaksiyalar dastlabki moddalar to'la yo'q bo'lishigacha o'tmasdan, balki kimyoviy muvozanat ma holatga erishganda to'xtaydi. Amaliy nuqtayi nazardan, muvozanat tomonga siljiganini bilish muhimdir, chunki bu reaksiyani ar oshirish mumkinligi haqida, shuningdek, turg'unlik hamda eng bilan qancha oxirgi mahsulot hosil bo'lishi to'g'risida guvohlik b di. Bunga o'xshash masalalarni yechish uchun muvozanatni ta lab bera olish va u bog'liq bo'lgan parametrlarni topa bilish za

Masalan, marten pechi atmosferasida boshqa gazlar bilan qatorda karbonat angidrid gazi, uglerod oksidi va kislorod qatna di. Reaksiya



ning yo'nalishi birinchi navbatda, temperaturaga bog'liq bo'ladi. batan past temperaturalarda muvozanat CO_2 hosil bo'ladigan tomo siljiydi, yuqori temperaturalarda esa bu gaz dissotsiatsiyasi ust qiladi. (2.30) reaksiya bitta fazaning o'zida o'tadi, ya'ni reaksi kiradigan moddalar orasida ajralish sirti bo'lmaydi. Bunday re siyalar *gomogen reaksiyalar* deb ataladi. Uchta gaz aralashma umumiy bosim uchta parsial bosim yig'indisiga teng:

$$p_\Sigma = p_{\text{CO}} + p_{\text{O}_2} + p_{\text{CO}_2}. \quad (2.4)$$

...ni quyidagicha teng bo'ladigan bosimga teng va, odatda, at-
 ... bosimga teng bo'ladi, ya'ni $p_{\Sigma} = 0,1 \text{ MPa} = \text{const}$.
 ... holatida parsial bosimlardan har biri qat'iy ma'lum
 ... ga bo'ladi. Reaksiya mahsuloti parsial bosimining dastlabki
 ... parsial bosimlariga nisbatining stexiometrik koeffitsiyentlar
 ... dagi ko'paytmasi K muvozanat konstantasi deb ataladi. Ayni
 ... parsial bosimlar nisbati ta'sir etuvchi massalar qonunining
 ... holi hisoblanadi. Umumiy holda

$$aA + bB = cC + dD \quad (2.32)$$

... uchun ta'sir etuvchi massalar qonuni muvozanat kons-
 ... moddalarning konsentratsiyasi orqali aniqlaydi:

$$K_m = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b} \quad (2.33)$$

... muvozanat konstantasi Gibbs energiyasi bilan Vant-Goff teng-
 ... vositasida bog'lanadi. Bu tenglama *kimyoviy reaksiya tenglamasi*
 ... ataladi:

$$\Delta G = -RT \ln K_m + RT \ln \frac{p_D^d \cdot p_C^c}{p_A^a \cdot p_B^b} \quad (2.34)$$

... (2.32) reaksiya gaz fazasida sodir bo'lsa, (2.34) ifoda haqiqiy
 ... Standart holatda (bunda dastlabki moddalar ham, reaksiya
 ... ham sof ko'rinishda qatnashadi), ya'ni ularning bosimi
 ... (konsentratsiyasi) birga teng bo'lganda, (2.34) tenglamaning ik-
 ... hadi nolga teng bo'ladi va

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_m \quad (2.35)$$

... natijada, muvozanat konstantasi temperaturaga bog'liq. Agar
 ... Gelmholtz tenglamasiga (2.35) tenglama qo'yilsa, quyidagiga
 ... bo'lamiz:

$$\frac{d(\ln K_m)}{dT} = \frac{\Delta H^{\circ}}{RT^2} \quad (2.36)$$

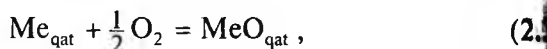
... Bu tenglamani xuddi (2.34) tenglama kabi Vant-Goff keltirib
 ... va *kimyoviy reaksiyaning izobara tenglamasi* deb ataladi.

... Agar muvozanat konstantasi konsentratsiya orqali ifodalangan
 ... bo'lsa, unda *kimyoviy reaksiyaning izoxora tenglamasi* deb ataladigan

$$d \ln K_m / dT = \Delta U^{\circ} / RT^2 \quad (2.37)$$

... muvohabat o'rinli bo'ladi. (2.36) va (2.37) tenglamalardan issiqlik yutib
 ... bo'ladigan birikmalar yuqori temperaturalarda, ekzotermik birik-
 ... lar esa past temperaturalarda ancha turg'un bo'lishi kelib chiqadi.

Metallurgik jarayonlar muvozanatini ko'rib o'tayotgan *Le-Shatelye prinsipi* muhim ahamiyatga ega. Bu prinsipga ko'ra, muvozanat holatidagi sistemaga uning birorta parametrining o'zgarishi olib keladigan ta'sir sistemada bu parametrning o'zgarishiga qarama-qarshi ta'sir ko'rsatadigan jarayonlarga sabab bo'ladi. Muvozanat o'rnatilgandan keyin komponentlardan biri konsentratsiyasining ixtiyoriy o'zgarishida ortishi reaksiyaning o'tish yo'nalishini o'zgartiradi, bu *Le-Shatelye* prinsipiga to'la mos keladi. Kimyoviy muvozanatni siljuvchan xarakteri sistemada muvozanatning konsentratsiyadan chiqishiga sabab bo'ladi. Bu spontan (o'z-o'zidan) chetga chiqish *fluktuatsiya* deb ataladi. Ajralish sirtiga ega bo'lgan sistemalar muvozanat (bunday sistema *geterogen sistema* deb ataladi) yuqoridagilarga (2.33–2.35) tenglamalar yordamida tavsiflanadi. Standart holatda kondensatsiyalangan fazalar birga teng bo'lgan bosim va konsentratsiyaga ega bo'ladi. Shu sababdan elementlarni, masalan, quyidagilarda reaksiya bo'yicha oksidlanishi uchun



$$K_m = \frac{1}{p_{\text{O}_2}^{1/2}} \text{ va } \Delta G^\circ = RT \ln p_{\text{O}_2} \quad (2.35)$$

bo'ladi. Bunday holda p_{O_2} bosim oksidning dissotsiatsiya elastikligi deb ataladi.

Agar reagentlar konsentratsiyasi birga teng bo'lmasa, unda reaksiya eritmalarda sodir bo'ladi. Bunday holda termodinamik potensiallar deb ataluvchi H , U , G termodinamik kattaliklardan tashqari muvozanatga moddalarining konsentratsiyasi ham ta'sir etadi. Bunday holda eritmalar va aralashmalar uchun termodinamik funksiyalar va konsentratsiyalarni birlashtiradigan «kimyoviy potensial» tushunchasidan foydalanilsa qulay bo'ladi. Tushunchaning o'zi 4- § da ko'rib o'tiladi. Hozircha muvozanat holati kimyoviy potensiallarning tengligi bilan aniqlanadi degan postulat kiritamiz.

Fazaviy muvozanat. Geterogen sistemalaridagi aylanishlarni o'rnatishda termodinamika ikkinchi qonunining muhim qo'llanishlaridan biri bo'lib, ko'pincha Gibbsning fazalar qoidasi deb ataladigan, fazaviy muvozanatning asosiy qonuni hisoblanadi (bu sistemalarda kimyoviy va fizik kimyoviy aylanishlar bo'lishi mumkin). Uni misolda ko'rib chiqamiz.

Sistema F fazalardan iborat va uning tarkibida barcha fazalar ishtirok etadigan K mustaqil komponentlar bor deylik. Muvozanat holatidagi sistemada temperatura va bosim, shuningdek, har qaysi komponentning kimyoviy potensiallari barcha fazalarda bir xil bo'ladi. Har qaysi fazaning holati temperatura, bosim va barcha mustaqil komponentlarning konsentratsiyasi bilan aniqlanadi. O'z ichiga mustaqil komponentlarni olgan istalgan fazaning tarkibini aniqlash uchun ularning miqdorini $(K - 1)$ ko'rsatish yetarli. Sistemada

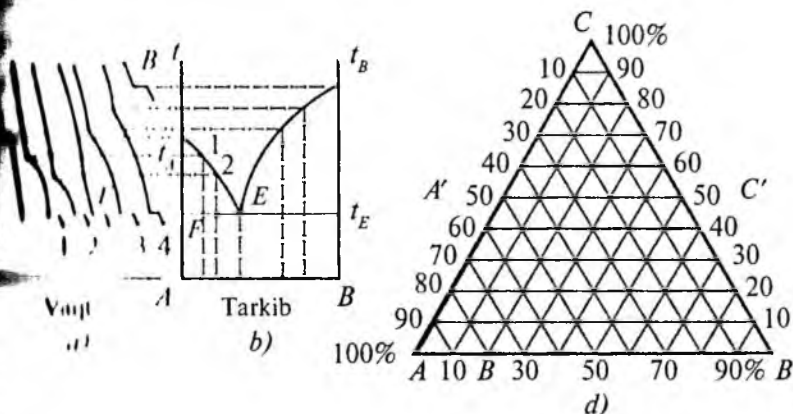
holatini tavsiflash uchun tarkibi bo'yicha $F(K-1)$ bo'lgan kattalik va temperaturasi hamda bosimi bo'yicha ikkita bo'lgan kattalik talab etiladi. Binobarin, $F(K-1) + 2$ o'zgaruvchi bo'lgan barcha bu o'zgaruvchilar mustaqil bo'lmasdan ba'zilar ularning bo'g'liq bo'ladi, chunki muvozanatda har bir komponentning turli fazalar orasida taqsimlanishi uning kimyoviy potentsialining barcha fazalarda teng bo'lishlik shartini qoniqtirishi kerak. Mustaqil o'zgaruvchilar sonini yoki erkinlik darajalari sonini C belgilab, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C = F(K-1) + 2 - (F-1)K \text{ yoki } C = K - F + 2. \quad (2.40)$$

U munosabat fazaviy aylanishlarning asosiy qonuni yoki *Gibbs qonuni* deb ataladi. Bu qonundan quyidagilar kelib chiqadi: komponentlar soni ortishi bilan erkinlik darajalari soni ortadi va fazalar soni kamayadi. $C=0$ da ayni sistema uchun fazalar soni ko'p soni muvozanatda bo'ladi.

Ushbu katsiyalashda sistemalarni fazalar soni bo'yicha (bir fazali, ikki fazali va h.k.), komponentlar soni bo'yicha (bir komponentli, ikki komponentli va h.k.) va erkinlik darajalari soni bo'yicha [variantli ($C=0$), bir variantli ($C=1$), ikki variantli ($C=2$) va h.k.] bo'linib qabul qilingan.

Ko'p fazali, ko'p komponentli sistemalar (metall, shlak va boshqalar), odatda, ikki qismdan iborat yoki uch qismdan iborat holat diagrammalari bilan xarakterlanadi. 13-rasmda termik analiz usulida holat diagrammasini qurish (suyuqlanuvchanlik diagrammasi) usuli ko'rsatilgan. 13-a rasmda suyuqlanmalar yoki tarkibi bo'lgan eritmalarni sovitish egri chiziqlari tasvirlangan, 13-b rasmda esa sovitish egri chiziqlari bo'yicha ikki komponentli sistemaning holat diagrammasi ko'rsatilgan.



13-rasm. Ikki komponentli (a, b) va uch komponentli (d) holat diagrammalarini tuzish sxemalari.

Gibbsning fazalar muvozanati asosiy qonunidan fazali kondensatsiyalangan ikki komponentli sistema uchun o'zgarish bo'lsa erkinlik darajalarining $K = 2$ sonida (2.40) tenglamaga muvofiq $C = 3 - F$ bo'ladi. Bunda muvozanatda bo'lgan fazalar soni $F = 1$ ($C = 0$ da), erkinlik darajalari soni esa $C = 2$ dan ($F = 1$ dan) ko'proq bo'lishi mumkin emas. Temperatura va fazalar tarkibi o'zgaruvchi kattalikdir.

Uch komponentli sistemada bosim, temperatura va ikkita konsentratsiya o'zgaruvchan kattalik hisoblanadi. Odatda, uch komponentli kondensatsiyalangan sistemalar o'zgarish bosimida tekshiriladi. Uch komponentli sistema xossalari uchta o'zgaruvchiga bog'liqligini uch qirrali tengyoq uchburchakli prizmadan iborat fazoviy diagramma ko'rinishida tasvirlash mumkin. Prizmaning asosi bo'lib uch qismdan iborat sistema tarkibini xarakterlovchi teng yoqli uchburchak, temperatura esa balandlik bo'lib xizmat qiladi. Teng yoqli uchburchakning uchlari sof moddalarga mos keladi (13- rasmga q.). Uchburchak ichida joylashgan barcha nuqtalar uch komponentli sistemalarning tarkibini xarakterlaydi. Berilgan nuqta uchburchakning tegishli uchiga qanchalik yaqin joylashgan bo'lsa, sistema tarkibidagi komponentlardan har birining protsent hisobidagi miqdori shunchalik ko'p bo'ladi.

Termodinamikaning uchinchi qonuni

Termodinamikaning bu qonuni temperatura absolut nolga yaqinlashganda entropiyaning nolga intilishini ko'rsatadi. Bu ta'rif quyidagiga ekvivalent: c_p va c_v lar $T = 0$ da nolga teng bo'lib qoladi.

Muvozanatlarni hisoblash uchun termodinamika uchinchi qonunining ahamiyati shundan iboratki, u moddalar reaksiyasida o'zgarish nashadigan entropiya kattaligini topishga imkon beradi. Absolut nolga yaqinlashgan sof kristalik modda entropiyasi S_0^0 nolga teng. Istalgan boshqa temperatura da esa uning qiymatini quyidagi tenglamadan topish mumkin:

$$S_T^0 = \int_0^T c_p d \ln T.$$

Absolut nolga yaqinlashadigan temperaturadagi issiqlik sig'imi Debay tenglamasi yordamida hisoblab topiladi. Ushbu tenglama muvofiq bu zonadagi issiqlik sig'imi absolut temperaturaning uchinchi darajasiga proporsionaldir.

Shunday qilib, barcha moddalarning entropiyasini termik ma'lumotlardan topish mumkin, bu esa faqat kalorimetrik o'lchovlar yordamida istalgan reaksiya uchun muvozanat shartlarini topishga prinsipial imkoniyat beradi.

2.3. Metallurgik fazalarning tuzilishi

Ushbu paragrafda kimyoviy va fazaviy muvozanatga qiymatlari konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladigan termodinamik (H , G) va kimyoviy potentsiallarning qanday ta'sir qilishi ko'rsatilgan. Ushbu paragrafda esa komponentlarning eritmalar va fazalarda bir-biri bilan o'zaro ta'siriga bog'liq bo'lgan potentsiallarning ta'siri o'zlashtiriladi. Bu o'zaro ta'sirga fazalarning o'zining tuzilishi hamda tarkibi sezilarli ta'sir qiladi.

Qattiq va suyuq metallarning tuzilishi va xossalari. Metallar va spetsial qattiq holatda ularning xossalari aniqlaydigan po-
ll strukturaga ega bo'ladi. Ular tarkibining o'zaro ta'siri, struk-
va xossalari o'rganish bilan metallshunoslik shug'ullanadi.

metallurgik jarayonlar uchun suyuq metallarda kristall struktura saqlanishi juda muhimdir, chunki u suyuqlanmalar keyin ham ularning xossalriga ta'sir qiladi. Buni shu bilan tushuntirish mumkinki, suyuq qotishmalar nomuvozanat bo'lib, unda atomlarning uzoq joylashish tartibi buzilgan va joylashish tartibi saqlanib qolgan.

... va qotishmalar suyuqlantirilib, quymada qotgandan keyin ular ...
... biron darajada saqlanib qolishini aniqlaydi. Suyuqlantirish ...
... uchun metallar xossaligidan suyuqlanish temperaturasi, zich- ...
... muhoqlik va sirt taranglik eng katta ahamiyatga ega (6- jadval).

6-jadval

Ba'zi metallarning xossalari

Metall	Suyuqlanish temperaturasi, °C	Zichligi, g/sm ³	+ 50 °C dagi qovushoqligi, Pa·s	Sirt taranglik, N/m
Al	1539,0	7,8	0,00540	1,85
Mg	660,1	2,7	0,00113	0,94
Zn	650,0	1,7	0,00107	0,57
Fe	1083,4	8,9	0,00410	1,35
Cu	419,5	7,1	0,00282	0,81
Ag	327,4	11,6	0,00109	0,48
Sn	231,9	7,3	0,00175	0,57
Pb	1455,0	8,9	0,00500	1,80
Bi	1492,0	8,9	0,00480	1,89
As	1667,0	4,5	0,00520	1,60

Karbofaza xarakteristikasi. Metallurgik jarayonlarda uglerod ko'lamda ishlatiladi. Uglerodning to'rtta kristalik modifikatsiya ma'lum: grafit, olmos, karbid va lonsdeylit. Tabiatda qattiq uglerod grafit va olmos tarkibida bo'ladi. Normal sharoitlarda olmos tuzilishi bo'lmaydi va uning mavjudligini quyidagilar bilangina tushunish mumkin: olmos kristall panjarasidagi atomlar orasidagi bog'lanish energiyasi yetarli darajada katta va bu energiya uning turg'un holatga o'tishiga to'sqinlik qiladi. Grafit metall kabi yaltiraydigan, kulrang qora, shaffof bo'lmagan, tangachasimon yaltiroq massadan iborat. U geksagonal strukturali kristallardan tashkil topgan, normal sharoitlarda termodinamik turg'un. Koks, pistako'mir va qurumda uglerod mayda kristall grafitning tartibsiz strukturasiga ega bo'lgan «amorf» ugleroddan iborat. Metallurgiyada koks va boshqa uglerod materiallar keng ko'lamda ishlatiladi. Ularning barchasi strukturasi u yoki bu darajada tartiblangan kristall tuzilishga ega.

O'tga chidamlilar xarakteristikasi. Suyuqlantirish pechlarida o'tga chidamli futerovkasi suyuqlantirish jarayonida qatnashadi. O'tga chidamlilarning asosiy massasini tashkil qiluvchi oksidlar sirtining erishi natijasida shlakka o'tadi va metallurgik jarayonlarga ta'sir qiladi.

Kislotali o'tga chidamlilarning asosini SiO_2 kremniy oksidi tashkil qiladi. Glinozyomli o'tga chidamlilar (asosi Al_2O_3) o'zlarining xossalriga ko'ra neytral o'tga chidamlilarga yaqin bo'ladi. Ular sharoit bilan bog'langanda yarim kislotali bo'lib qoladi.

Asosiy o'tga chidamlilar tarkibida MgO , CaO va boshqa amfoter oksidlar bo'ladi. Buyumlarning qisqacha klassifikatsiyasi 7-jadvalda keltirilgan.

7-jad

O'tga chidamli buyumlarning kimyoviy tarkibi bo'yicha klassifikatsiyasi

Turi	Gruppasi	Aniqlovchi kimyoviy komponentlar miqdori (qizdirilgan moddada), %
1	2	3
Kremniy-yer	Kvars shisha	SiO_2 kamida 99
	Turlicha bog'langan turli qo'shilmali dinasli (tridimitokristobolitli)	SiO_2 kamida 80
	Ohaktosh bog'lanishli dinasli (tridimitokristobalitli)	SiO_2 kamida 93

7-jadvalning davomi

1	2	3
Yarim kislotali Shamotli Mullitokremniyli Mullitli Mullitokorundli Korundli		Al_2O_3 kamida 28 SiO_2 65–85 Al_2O_3 28–45 Al_2O_3 46–62 Al_2O_3 63–72 Al_2O_3 90 dan ortiq
Magnezitli	Magnezitli (pereklazolli) Turli bog'lanishdagi magnezitli	MgO kamida 90 MgO 80 dan ortiq
Magnezitli ohakli	Magnezitodolomitli (pereklazoohaktoshli) Dolomitli (ohaktosh pereklazli) Dolomitli stabilashtirilgan (pereklazoalitli) Ohaktoshli	MgO 50 dan ortiq CaO kamida 10 MgO 35–50 CaO 45–70 MgO 35–65 SiO_2 6–15 CaO 15–14 CaO: SiO_2 2,7–2,9 CaO 70 dan ortiq
Magnezitli xromitli	Magnezitoxromitli (pereklazoxromitli) Xromomagnezitli (xromotopereklazli) Xromitli Pereklazoshpinelli Spinelli	MgO 60 dan ortiq Cr_2O_3 5–18 MgO 40–60 Cr_2O_3 15–30 MgO 40 dan kam Cr_2O_3 25 dan ortiq MgO 41–80 Al_2O_3 15–55 MgO 25–40 Al_2O_3 56–70
Magnezitli silikatli	Pereklazoforsteritli Forsteritli	MgO 65–80 SiO_2 kamida 10 MgO 50–65 SiO_2 25–35
Magnezitli	Grafitlangan uglerodli Uglerodli grafitlanmagan (ko'mir) Tarkibida uglerod bor	C 98 dan ortiq C 85 dan ortiq C 5–70
Magnezitli kremniyli	Karbid-kremniyli rekristallizatsiyalangan Turli bog'lovchilar asosida karbid-kremniyli Tarkibida karbid va kremniy borlar	SiC 90 dan ortiq SiC 70 dan ortiq SiC 20–70

1	2	3
Sirkoniyli	Sirkoniyli (baddeleitli) Baddeleit-korundli Har xil qo'shimchalar qo'shilgan turli bog'lovchilar asosida sirkoniyli	ZrO ₂ 90 dan ort ZrO ₂ 30 dan ort Al ₂ O ₃ 65 gacha ZrO ₂ 35 dan ort Al ₂ O ₃ 18 dan ort
Oksidli	Oksidlardan tayyorlangan buyumlar (MgO, CaO, Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂)	Tarkibidagi aniqchi oksidlar maksimal yuqori miqdarda bo'ladi
Nokislorodli	Nitridlar, boridlar, karbidlar (SiC dan tashqari), silitsidlar va boshqa kislorodsiz birikmalardan tayyorlangan buyumlar	Tarkibidagi kislorodsiz birikmalar maksimal yuqori miqdarda bo'ladi

Qattiq silikatlar strukturasi zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, k
niy-kislorodli tetraedrlardan tashkil topgan kristall panjara hisobla
Silikat strukturasi kremniy atomi koordinatsion son 4 ga ega
kislorodning to'rtta atomi bilan o'rab olingan. Ko'pchilik asosli
larning (MgO, CaO, BaO va boshqalar) kristall panjaralarini
ionlilar jumlasiga kiritish mumkin. Oksidlarning xossalari 8-
valda keltirilgan.

Suyuq shlaklarning tuzilishi va xossalari. Shlaklar tarkibida k
niy, aluminiy, kalsiy, magniy, temir, marganes oksidlari, shuning
futerovka va flyuslar tarkibiga kiradigan elementlar bo'ladi.
suyuqlanmalari tuzilishining bir nechta nazariyasi mavjud. Da
molekular nazariya ishlab chiqilgan edi. Unga muvofiq shlak
Al₂O₃, CaO, FeO, MgO, MnO va boshqa oksidlar molekula
iborat. Bu nazariya amaliy jihatdan qulay bo'lgan, chunki oks
ning xossalari va ularni birga qo'shishni shlaklar tarkibini mole
nuqtayi nazaridan ta'riflash uchun mo'ljallangan ma'lumotnoma
biyotdan osongina aniqlash mumkin. Lekin shlakda elektr zar
langan zarrachalar mavjudligi tajriba ma'lumotlari yordamida aniq
gan, bu esa shlaklar tuzilishining ion nazariyasini rivojlantirish uc
asos yaratgan. Bu nazariyaga muvofiq shlaklar tarkibida Ca²⁺, Fe²⁺, M
Mn²⁺ kationlar, shuningdek, SiO₄⁴⁻, AlO₃³⁻, PO₄³⁻, O²⁻, TiO₄⁴⁻, V
CrO₄²⁻, MoO₄²⁻, WO₄²⁻, MnO₄²⁻, MnO₄²⁻, FeO₄²⁻ anionlar va bo
bo'lgan ion eritmasidan iborat.

U yoki bu ionlarning mavjud bo'lishi mumkinligini kimy
bog'lanishlar xarakteriga asoslanib ko'rib chiqish lozim. Kimy

Xossalari	Belgilanishi	O'lchov birligi	Oxlatilishi					
			SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO
Molekular massasi	<i>M</i>	uglerod birligi	46,055	71,8464	101,9612	70,9350	40,3114	56,0794
Zichligi	ρ	kg/m ³	2651 ⁽¹⁾ 2260 ⁽²⁾ 2320 ⁽³⁾	5870	3970 2400	5430–5460	3650	3370
Hosil bo'lish issiqqligi	$-H_{298}^{\circ}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	911550 ⁽¹⁾ 908970 ⁽³⁾	265020	1676810 1662200	385250	602230	635514
Standart entropiya	S_{298}°	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$	41,868 ⁽¹⁾ 42,663 ⁽³⁾ 1720 ⁽³⁾	60,79	50,95	61,56(5) 226,5(6)	26,921	39,78
Suyuqlanish temperaturasi	<i>t</i>	°C	1610 ⁽¹⁾ 1680 ⁽²⁾	1374*	2046	1785	2800	2587
(...) °C da sirt tarangligi	σ	$\frac{\text{mJ}}{\text{m}^2}$	304,7 (1800 °C) 301,3 (1600 °C)	—	690 (2050 °C) 610 (2500 °C)	—	—	—

Лзoh: (1) – кварс, (2) – тридимит, (3) – кристобалит, (5) – гекоsgонал, (6) – куб,

* - t_{ayun} Fe_{0,947} uchun ko'rsatilgan.

bog'lanishlarda qatnashadigan atomlarning elektrmanfiyliklari ay si qanchalik katta bo'lsa, ular shunchalik qutbiy bo'ladi. Bosh qilib aytganda, $\Delta\chi$ ning ortishi bilan bog'lanishning ionlik darajasi ya'ni atomlardagi effektiv zaryad q ortadi. Agar q ning elektrmanfiyliklarining ulushlaridagi absolut qiymati 0,5 dan ortiq bo'lsa, atomlar ionlarga aylangan va bog'lanish ion orqali bo'lgan, deb hisoblanadi. Bu hol $\Delta\chi = 1,9$ da sodir bo'ladi. Bog'lanishning ionlik darajasini quyidagi formula yordamida hisoblab topish mumkin:

$$p = \frac{q}{e} \cdot 100\% = 33,3 (\Delta\chi - 0,4).$$

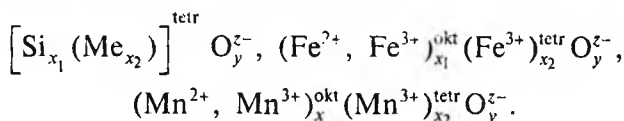
9- jadvalda ba'zi bir oksidlardagi bog'lanishning ionlik darajasini hisoblashda foydalanilgan ma'lumotlar keltirilgan. Bu ma'lumotlardan ko'rinishicha, MnO , Al_2O_3 lar bamisoli ion va kovalent birikmalar chegarasida bo'ladi.

9- j a

Oksidlardagi ion bog'lanishlarning xarakteristikasi

Oksid	Me va O elektrmanfiyliklarining farqi	Bog'lanishning ionlik darajasi, %
FeO	1,7	43
MnO	2,0	53
Al_2O_3	2,0	53
MgO	2,3	63
CaO	2,5	70
SiO_2	1,7	43

O'z tarkibida kremniy oksidlarining katta miqdoriga ega bo'lgan shlaklarning tuzilishi silikatlarining (eng muhim va juda ko'p uchraydigan qolgan minerallar) tuzilishi bilan chambarchas bog'langan. Bu minerallar soni to'rt yuztaga yaqin. Barcha silikatlar va silikatlarining asosiy strukturaviy birligi kremniy-kislorodli tetraedr hisoblanadi. Silikatlar tuzilishining o'ziga xos xususiyati ular suyuq holatdagi tuzilishi va xossalriga ta'sir qiladi, chunki suyuq silikatlar yaqin tartibni saqlab qoluvchi katta guruhlar (klasterlar) bo'ladi. Kvantokimyoviy va difraksion tadqiqotlar asosida shlakda o'ziga xos tarkibli klasterlar bor, deb taxmin qilish mumkin. Klasterlar $\text{Me}^{\Sigma z+}$ kationlar bilan elektr muvozanatda bo'lgan kompleks ko'rsatgichli birikmalar sifatida klassifikatsiyalanadi:



250 ga, $x_2 = 20-25$ ga erishadi.

Kimyoviy hisoblashlarda anionlarning bunday katta for-
tilanish ko'rish qiyin. Shu sababli, tarkib va xossalarni
xarakterlash uchun *shlaklarning molekular tuzilishi* degan
tushuncha foydalaniladi. Bu tushunchalarga muvofiq shlaklar
kislotali oksidlar (SiO_2 va boshq.), asosli oksidlar (CaO ,
 FeO , MnO) va amfoter oksidlar (Al_2O_3) bo'ladi.
Shlakning kislotaliligi *kislotalilik darajasi* bilan xarakterlanadi:

$$C_k = \frac{\sum \text{KO}}{\sum \text{OO}},$$

bu yerda $\sum \text{KO}$ — kislotali oksidlar yig'indisi, $\sum \text{OO}$ — asosli ok-
sidlar yig'indisi,

va teskari bo'lgan kattalik *asoslilik darajasi* yoki oddiy qilib
aytilib ataladi:

$$C_a = \frac{1}{C_k} = \frac{\sum \text{OO}}{\sum \text{KO}}.$$

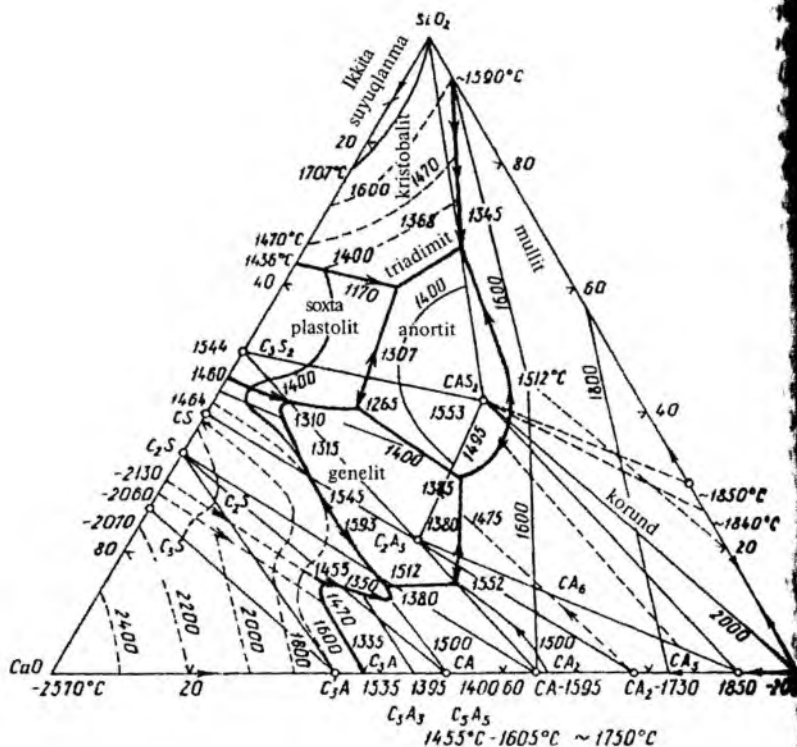
Shlakning $C_k \leq 0,5$ da kuchli asosli; $0,5-1,0$ da asosli; $1,0-1,5$
da o'rtacha asosli; $1,5-3,0$ da kislotali va $C_k \geq 3,0$ da kuchli kislotali
bo'ladi. Tarkibiga qarab, shlaklarning xossalari ikki, uch va ayrim
vaqtan olti komponentli diagrammalar ko'rinishida ham tas-
virlanadi. Shlakli suyuqlanmalar uchun ikki komponentli diagram-
malar, ikki komponentli qotishmalar uchun qurilgan diagrammalar
quriladi (13-rasmga q.). Shlakli sistemalar uchun, odatda, uch
komponentli diagrammalar quriladi (13-d rasm).

14-rasmda $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ sistemaning holat diagrammasi ko'rsatilgan.
Bu sistemada kongruent suyuqlanadigan ikkita uchlama
nuqtasi mavjud (1823 K da suyuqlanadigan anortit $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
va 1803 K da suyuqlanadigan genelit $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) mavjud.
Shu bilan birga bu sistemaning uchlama evtektikining tarkibi va suyuq-
lanish temperaturasi keltirilgan.

10-jadval

**$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ sistema uchlama evtektiklarining tarkibi
va suyuqlanish temperaturasi**

Suyuqlanish temperaturasi							
1618	1443	1538	1583	1653	1778	1608	1608
70,4	62,0	42,0	41,0	31,8	9,3	6,8	16,8
19,8	14,75	20,0	11,8	39,0	53,2	43,7	41,2
9,8	23,25	38,0	47,2	29,2	37,5	49,5	52,0



14- rasm. CaO-Al₂O₃-SiO₂ sistema.

Temir qotishmalarini ikkilamchi suyuqlantirish shlaklarining uqlanmalari qovushoqlikka ega bo'lib, bu qovushoqlik ishqor qiladigan metallarning tipik ion suyuqlanmalar hisoblanadi. suyuqlantirilgan galogenlarining qovushoqligidan ancha ortiq bo' SiO₂ ning qovushoqligi temperaturaga quyidagicha bog'langan:

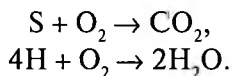
$$\lg \eta = \frac{2074}{t-182} = 6,991.$$

Qovushoqligi 0,9 Pa·s dan kam bo'lgan shlaklar juda suq oquvchan, qovushoqligi 0,9-1,1 Pa·s shlaklar suyuq oquvchan bo'lgan, qovushoqligi 1,5-1,8 Pa·s shlaklar suyuq oquvchanligi yetarli bo'lmagan shlaklar jumlasiga kiradi. Shlaklarning qovushoqligi ularni tarkibidagi qovushoqlikka bog'liq bo'ladi. Masalan, tarkibi 40% SiO₂, 10% Al₂O₃, 35% CaO va 15% MgO bo'lgan shlak uchun t = 1330 °C da η = 10 Pa·s, t = 1400 °C da esa η = 0,6 Pa·s bo'ladi. Shlak tarkibidagi FeO va MnO larning miqdori ortishi bilan ularning qovushoqligi ancha kamayadi, bu esa ularning kompleksni vayron qiladi.

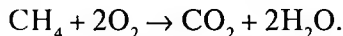
...lyati to'g'risida dalolat beradi. Oksidlar uchun sirt taranglik
... 500 kJ/m² ni tashkil qiladi. Suyuqlantirilgan silikatlar-
...uvchanligi, odatda, 0,1–1,0 Om⁻¹ · sm⁻¹ chegarasida

Reaksiyalar tuzilishi va xossalari. Suyuqlantirish pechlarining metallurgik jarayonlarning o'tishida muhim, ayrim hol-
... etuvchi rol o'ynaydi. Gaz fazasida oddiy atomli gazlar
(H₂), gazlar-oksirlar (H₂O, CO₂, CO, NO) va boshqa
(CH₄, NH₃, H₂S, PH₃ va boshq.) qatnashishi mumkin.

...maxsus yaratiladigan, ya'ni metallurgik jarayonda aniq
...qaratilgan (masalan, issiqlik tashigich yoki kimyoviy
...atida) bo'lishi ham, yuzaga kelgan sharoitlar tufayli
... induksion pechdagi gaz fazasi) suyuqlantirishda qat-
... ham bo'lishi mumkin. Aktiv gaz fazasining hosil bo'lish
... asosiy tashkil etuvchilari uglerod va vodoroddan iborat
... yoqish.



Reaksiyalar yoqilg'ining barcha turlari (qattiq, suyuq va
...ni) uchun to'g'ri, chunki uglevodorodlar ham yonib CO₂ va
...ni hosil qiladi:



...fazasi komponentlarning parsial bosimlari bilan xarakter-
... Parsial bosimlar o'zlarining termodinamik potentsiallari bilan
...da u yoki bu komponentlarning boshqa fazalar va kom-
...larga nisbatan aktivligini xarakterlaydi. Murakkab eritma hisob-
... metall va shlak suyuqlanmalari uchun termodinamik ham-
... kimyoviy potentsiallarni aniqlash ishi murakkabroq bo'ladi.

2.4. Eritmalar. Komponentlarning eritmalaridagi termodinamik funksiyalari

...jarayonlari, odatda, ΔH issiqlik effekti bilan birgalikda sodir
...li. Agar $\Delta H = 0$ bo'lsa, u holda eritma ideal hisoblanadi. Ideal
...larda komponentlar aktivligi (a) uning konsentratsiyasi (N)
... aniqlanadi: $a = N$. Ideallik talablariga javob bermaydigan erit-
...lar

$$a = \gamma \cdot N, \quad (2.41)$$

...larda γ aktivlik koeffitsiyenti.

1 mol erigan modda konsentratsiyasi N_0 dan N gacha o'zgar-
...ning entropiyasining o'zgarishi quyidagicha:

$$\Delta S = \ln(N_0/N),$$

toza holatdan ideal holatga o'tganda ($N_0 = 1$) esa:

$$\Delta S = R \ln \frac{1}{N} = -R \ln N.$$

Regular eritmalar ideal eritmalaridan farqli o'laroq, issiqlikni yoki ajratib ($\Delta H \neq 0$) hosil bo'ladi, biroq ulardagi entropiya o'zgarishi modda konsentratsiyasining o'zgarishi natijasida ideal eritmalar kabi bo'ladi [3].

Real eritmalarda entropiyaning o'zgarishini faqat modda konsentratsiyasining o'zgarishi munosabati bilan emas, balki erigan moddaning eritgich bilan o'zaro ta'siri tufayli ham hisobga olish (ΔS_n), ya'ni

$$\Sigma \Delta S = -R \ln N + \Delta S_n,$$

$$\Delta G = \Delta H + RT \ln N - T \Delta S_n.$$

$\Delta G = RT \ln a$ bo'lgani uchun tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$RT \ln a = \Delta H + RT \ln N - T \Delta S_n,$$

$$\ln a = \Delta H / RT + \ln N - \Delta S_n / R.$$

Turli eritmalar hosil bo'lganda termodinamik funksiyalar o'zgarishi 11-jadvalda ko'rsatilgan [3].

11-jad

Turli eritmalar yuzaga kelishida termodinamik funksiyalarning o'zgarishi

Eritmaning turi, ΔH	Termodinamik funksiyalar				Eritma
	ΔS	ΔG	a	γ	
Ideal $\Delta H = 0$	$\Delta S = -R \ln N$	$\Delta G = RT \ln N$	$a = N$	$\gamma = 1$	Ni - Co - Mn -
Muntazam $\Delta H \neq 0$	$\Delta S = -R \ln N$	$\Delta G = \Delta H + RT \ln N$	$a \neq N$ $a = \gamma N$	$\lg \gamma = \frac{\Delta H}{RT}$	Si - Al - Cu -
Real $\Delta H \neq 0$	$\Delta S = -R \ln N + \Delta S_n$	$\Delta G = \Delta H + RT \ln N + T \Delta S_n$	$a \neq N$ $a = \gamma N$	$\lg \gamma = \frac{\Delta H}{RT} - \Delta S_n$	S - C -

kimyoviy va fizik-kimyoviy aylanishlarni tavsiflash matematik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan kimyoviy tushunchasidan foydalaniladi:

$$\mu_i = \left(\frac{\delta G}{\delta n_i} \right)_{p, T, n, j (j \neq i)}.$$

Ushbu i komponentning kimyoviy potentsiali o'zgarmas bosim, temperatura va qolgan komponentlarning o'zgarmas mollar sonida komponentning mollar soni bo'yicha Gibbs energiyasi o'zgarishi matematik ifodasi ekanligini ifodalaydi.

Kattalik komponentning eritmadan chiqib ketishga intilishini, kichik komponentning kimyoviy potentsiali kichik bo'lgan boshqa komponentni, aksincha, bu kattalik katta bo'lgan boshqa fazadan eritilishiga intilishini xarakterlaydi.

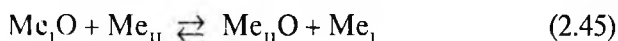
Ushbu qotishmalar suyuqlantiriladigan real sharoitlarda ko'pincha kimyoviy tushunchasidan foydalaniladi. Unga muvofiq tenglashtirish muvozanati konstantalari aktivliklar bilan almash-tiriladi. Masalan, $2\text{Me} + \text{O}_2 = 2\text{MeO}$ reaksiya uchun muvozanat

$$K_m = \frac{a_{\text{MeO}}^2}{a_{\text{Me}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}}, \quad (2.42)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{MeO}}^2}{a_{\text{Me}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}} \quad (2.43)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln a_{\text{MeO}} - RT \ln a_{\text{Me}} - RT \ln p_{\text{O}_2} \quad (2.44)$$

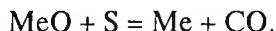
metall uchun



Ushbu reaksiyasida shunday daqiqa bo'lishi mumkinki, bunda Me_I va Me_{II} elementlar aktivligining o'zgarishi tufayli $\Delta G_I = \Delta G_{II}$ bo'ladi. Reaksiyaning o'tishida sharoitning keyingi o'zgarishi uning yo'nalishida o'zgarishiga olib keladi.

Metall oksidlari uglerod bilan o'zaro ta'sirlashganda ΔG ning o'zgarishini ko'rib chiqamiz. Bu holda MeO uchun $\Delta G = f(T)$ bo'ladi va uning joylashishiga a_{Me} va a_{MeO} aktivliklarning ta'siri bo'yicha bog'lanishga nisbatan $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ uglerod bilan bog'lanish bo'ladigan (12- rasmga q.) $\Delta G - T$ chiziqning joylashishini ko'rib o'tish zarur.

$2\text{Me} + \text{O}_2 = 2\text{MeO}$ va $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ reaksiya chiziqlari ko'rsatgan o'tadigan nuqta uglerod oksidi qaytarilish reaksiyasidagi muvozanat holatga mos keladi:



Kesishib o'tish nuqtasidan o'ngroqda CO ning erkin energiyasi MeO hosil bo'ladigan erkin energiyaga qaraganda ko'proq miqdorda bo'lganligi, qiyamatga ega bo'ladi, binobarin, metall uglerod vositasida qaytarilish

(2.46) uchun muvozanat konstantasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$K_m = \frac{a_{\text{Me}} \cdot p_{\text{CO}}}{a_{\text{MeO}} \cdot a_{\text{C}}}.$$

Muvozanat sharti quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{MeO}}^\circ - RT \ln a_{\text{Me}} + RT 2 \ln a_{\text{MeO}} &= \\ = \Delta G_{\text{CO}}^\circ - RT 2 \ln a_{\text{C}} + RT 2 \ln p_{\text{CO}}. \end{aligned}$$

Uglerod aktivligining kamayishi ($a_{\text{C}} < 1$) muvozanat nuqtasini muvozanat temperaturasining ortish tomoniga siljishiga, uglerod aktivligining ortishi va qaytarilayotgan metall aktivligining kamayishi esa muvozanat nuqtasining temperatura pasayadigan tomoniga siljishiga olib keladi. Hosil bo'ladigan uglerod oksidi bosimining ta'siri muvozanatni ikkala tomonga siljitishi mumkin. Muvozanat temperaturasi ortishiga uglerod oksidi bosimining ortishi va aktivligining kamayishi ($a_{\text{MeO}} < 1$) yordam beradi. Ancha past temperatura zonasida siljishga CO bosimini pasaytirib erishiladi.

Shunday qilib, muvozanat nuqtasi qatnashayotgan komponentlarning termodinamik aktivligiga qarab, juda katta migratsiya zonasiga ega bo'ladi. Shunga o'xshash mulohazalar fluoridlar, sulfidlar, karbonatlar va boshqa birikmalar uchun ham to'g'ri. Eritmalar komponentlarning aktivligini aniqlash shu boisdan muhim ahamiyatga ega. Real eritmalarda aktivlik va mol ulush (2.41) ifoda yordamida bog'langan. Mol ulush va aktivlik orasidagi o'zaro bog'lanish hamda Genri qonunlari vositasida aniqlanadi.

Raul qonuni ideal eritmada mol ulush bilan aktivlik orasidagi bog'lanishni aniqlaydi, ya'ni $\gamma = 1$, $a = N$. Raul qonuni $a - N$ ko'rsatkichidagi dinatalarda grafik ravishda 0 dan $a = 1$ va $N = 1$ nuqtaga 45° burchak ostida boradigan to'g'ri chiziqni xarakterlaydi. Agar $a = f(N)$ bo'lsa, chiziq bu to'g'ri chiziq pastidan o'tsa, u holda ko'rib o'tilayotgan eritmada Raul qonunidan manfiy chetlanishlar, agar yuqoridan o'tib ketse, musbat chetlanishlar kuzatiladi.

Genri qonuni $a = \gamma N$ bog'lanishni ifodalaydi, bu yerda $\gamma = \text{konstanta}$, ya'ni $a = f(N)$ — to'g'ri chiziq tenglamasi.

Ma'lum aniqlash uchun standart holatni tanlash muhim bo'ladi. Umumiy holda aktivlik o'rganilayotgan komponent eritma ustidagi parsial bosimlari kattaligi p_i ning komponent standart holati uchun shunday kattalikka bo'lgan nisbati bo'lgan:

$$p_i^0 : a_i = p_i / p_i^0 .$$

Standart holat uchun sof komponent holati qabul qilinsa, $a_i^0 = 1$. Agar i - elementning qandaydir K_i^0 konsentratsiya bo'lsa, u holda $K_i = K_i^0$ da $a_i = 1$ bo'ladi.

Suyuqlanmalaridagi komponentlar aktivligini aniqlash. Metallan eritmalardagi komponentlarning aktivligini aniqlash uchun ikkita holatdan foydalaniladi: $N_i = 1$ da $a_i = 1$ va $K_i = 1\%$ da $a_i' = 1$. Birinchi holda koefitsiyent γ_i orqali, ikkinchi holda esa f_i orqali aniqlanadi. Aktivlik koefitsiyentlarini aniqlash uchun cheksiz suyulandirilgan holatdagi aktivlik koefitsiyenti (γ_i^∞) tushunchasidan foydalaniladi:

Ushbu koefitsiyentli eritmalar, masalan, temir uglerodli qotishmalar eritma komponentlarining o'zaro ta'sirini hisobga olish uchun muvaffaqiyatli qo'llaniladi. Ushbu muvaffaqiyatli qo'llaniladigan tenglamaga kiradigan va o'zaro ta'sir parametrlari deb ataladigan parametrlardan foydalaniladi:

$$\ln \gamma_i = - \sum_{j=1}^n \epsilon_i^j N_j + \sum_{j=2}^n \rho_i^j N_j^2 + \sum_{j=2}^n \sum_{k=2}^n \rho_i^{j,k} N_j \cdot N_k , \quad (2.49)$$

bu yerda $\epsilon_i^j, \rho_i^j, \rho_i^{j,k}$ — o'zaro ta'sir parametrlari.

1% bo'lgan standart holat uchun

$$\ln f_i = - \sum_{j=1}^n e_i^j K_j + \sum_{j=2}^n r_i^j K_j^2 + \sum_{j=2}^n \sum_{k=2}^n r_i^{j,k} K_j \cdot K_k , \quad (2.50)$$

bu yerda e_i^j, r_i^j va $r_i^{j,k}$ — shuningdek, o'zaro ta'sir parametrlari.

Metallan eritmalardagi komponentlarning aktivligini hisoblash uchun γ_i ning son qiymatlari va o'zaro ta'sir parametrlarini bilish kerak.

Temir uglerodli qotishmalar uchun 12-jadvalda ba'zi bir ma'lumotlar keltirilgan. 1873 K da γ_i^∞ ni aniqlash uchun kerak bo'lgan ma'lumotlar shu jadvalning o'zidan topiladi. Boshqa temperaturalarda γ_i ni hisoblash formulasi bo'yicha bajariladi:

$$\Delta G_i^\infty = RT \ln \gamma_i^\infty + RT \ln N_i (1\%) \quad (2.51)$$

bu yerda γ_i aniqlanadi.

Bu yerda

$$N_{i(1\%)} = \frac{M_i}{100 \cdot M_i}$$

bunda M_i – eritgich (temir)ning atom massasi; M_i – i - element massasi.

12-j

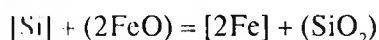
Temirdagi ba'zi bir elementlar eritmalarining termodinamik ma'lumotlari

Eritgan element	γ_i^∞ 1873 K da	Temperatura- raviy bog'- liqlik ΔG_i^∞ , J/g · atom	j - element uchun 1873 K da $e_i^j \cdot 100$ o'zaro ta'sir param					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	S
C	0,57	22609 -42,29 T	14	8	-1,2	-2,4	1,2	4,6
Si	0,0013	-31884 -17,33 T	18	11	0,2	-0,03	0,5	5,6
Mn	1,3	5527 -39,15 T	-7	0	0	—	—	-4,8
Cr	1,0	37,68 T	-12	-0,43	—	-0,03	0,02	-2
Ni	0,66	-18003 -32,66 T	4,2	0,57	—	-0,03	0,09	-0,37
S	—	-72013 -10,26 T	11	6,3	-2,6	-1,1	0	-2,8
P	—	-131884 -17,33 T	13	12	0	-3	0,02	2,8

Shlak suyuqlanmalaridagi komponentlar aktivligini aniqlash.

komponentning aktivligi birinchi yaqinlashuvda uning eritma konsentratsiyasiga teng: $a_{KA} = N_{KA}$ (bu yerda: K – kation, A – anion) yoki $a_{MeO} = N_{MeO}$ va h.k. Shlak suyuqlanmalari tuzilishining molekulyar nazariyasida komponentlar aktivligini aniqlashda cheklanish erkinmas konsentratsiyalar ko'rinishida kiritiladi, ya'ni $a_{MeO} = N_{MeO}$. Erkin konsentratsiyalarni Shenk konstantasi asosida hisoblab topish mumkin [9]. Qiyinchilik shlakda mavjud bo'lgan kimyoviy birikmalar tanlashdan, shuningdek, tenglamalarning juda ko'p sonini bilishlikda yechish zaruriyatidan iborat. Shunga qaramasdan, ma'lum un

bu foydalaniladigan konstantalar hisoblab topilgan sharoit-
 lar bo'lgan sharoitlarda shlak komponentining aktivligini aniqlash
 mumkin. Shlak komponentlarining aktivligiga oid tajriba ma'lumot-
 larining molekular tarkibi uchun keltiriladi, chunki bu amalda
 qulay bo'ladi. Masalan,



Ushbu spirovichniy ma'lumotlardan [8] a_{FeO} ni aniqlab va
 konstantalar bo'yicha $a_{\text{SiO}_2} = N_{\text{SiO}_2}^{\text{erkin}}$ ni hisoblab topib, bu
 muvozanat konstantasi bo'yicha [Si] muvozanat

aktivligini hisoblash mumkin: $K_m = \frac{a_{\text{Fe}}^2 \cdot a_{\text{SiO}_2}}{a_{\text{Si}} \cdot a_{\text{FeO}}}$. Lekin buning

o'rnida a_{Si} aniqlanadi, so'ngra esa $a_{\text{Si}} = \gamma_{\text{Si}} N_{\text{Si}}$ bog'lanish bo'yicha
 "Aktivlik" ekanligini nazarda tutib [Si] aniqlanadi yoki teskari
 hisoblanadi. metallidagi kremniyning ma'lum bo'lgan muvozanat
 bo'yicha a_{SiO_2} aniqlanadi.

Ushbu nazariya nafaqat shlaklar tarkibini tavsiflash uchun,
 balki termodinamik hisoblashlar uchun asos bo'lib xizmat
 qiladi. Ixtalangan nazariyadan foydalanilganda a_{MeO} kattalik
 hisoblash uchun qo'llaniladi.

Shlak tuzilishining *ion nazariyasi* ikkita asosiy modelga ega:
tasoddiy ion eritmaları va *muntazam ion eritmaları*. Birinchi
 model muvofiq

$$a_{K_i A_j} = x_{K_i} \cdot x_{A_j}.$$

$$x_{K_i} = \frac{n_{K_i}}{\sum n_{K_i}} \quad \text{va} \quad x_{A_j} = \frac{n_{A_j}}{\sum n_{A_j}},$$

bu yerda K_i va A_j larning mol ulushlari;
 n_{K_i} mos ravishda kation va anionlarning soni; $\sum n_{K_i}$ va $\sum n_{A_j}$ —
 shlakdagi kationlar va anionlarning umumiy soni.

Ushbu suyuqlanmasi uchun $x_{A_j} = \frac{n_0}{n_0} = 1$ va $a_{K_i A_j} = a_{K_i}$.

Ushbu shunday tarzda hisoblab topilgan qiymatlaridan
 foydalanib birinchi yaqinlashishda reaksiya muvozanatini hisoblash
 mumkin. Lekin ko'pchilik shlaklar uchun tajriba ma'lumotlaridan
 foydalanib chiqishlar kuzatilgan. Bir maromli ion eritmaları
 modelidan foydalanib, aktivlikni ancha aniq aniqlash mumkin.
 Ushbu modelda tuzilishning siljish energiyasini hisobga oladi. Masalan,
 suyuqlanmadagi FeO uchun

$$\mu_{\text{FeO}} = \mu_{\text{FeO}}^0 + RT \ln x_{\text{Fe}} + x_{\text{Mn}}^2 \cdot Q_{\text{Mn-Fe}},$$

bu yerda: x — Temkin bo'yicha ion ulushlari; $Q_{\text{Mn-Fe}}$ — siljish energiyasi.

Bir maromli ion eritmaları nazariyasidan foydalanish V.A. Urovgga [16] asosli shlaklar uchun quyidagi formulani olishga imkon berdi:

$$\lg \gamma_{\text{FeO}} = \frac{1000}{T} [2,18x_2x_5 + 5,9(x_3 + x_4)x_5 + 10,5x_3x_6],$$

$$\lg \gamma_{\text{MnO}} = \lg \gamma_{\text{FeO}} - \frac{2180}{T} x_5,$$

$$\lg \gamma_{\text{SiO}_2} = -3,15(x_1 + x_2 + x_5)x_5,$$

bu yerda: x — ion ulushlar (indekslar: 1 — Fe; 2 — Mn; 3 — Ca; 4 — Si; 5 — Si; 6 — P) ni ifodalaydi.

Kislotali shlaklar uchun ideal eritmalaridan ishorasi o'zgaruvchan chetlanishlar xarakterlidir va ularni, albatta, hisobga olish kerak. Masalan, $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ sistema uchun quyidagi formula keltiriladi:

$$\lg \gamma_{\text{CaO}} = -(8x_2 + 4,5x_3)(1 - x_1) + (7x_2^2 + 5,5x_3^2)(1 - 2x_2) + 4x_2x_3 + 0,3;$$

$$\lg \gamma_{\text{SiO}_2} = (8x_1 - 14x_1x_2 + 4x_3)(1 - x_2) + 4,5x_1x_3 + 11x_1x_2x_3$$

bu yerda indekslar: 1 — Ca, 2 — Si, 3 — Al ni ifodalaydi.

A.G. Ponamarenko [9] shlakning kation komponentlarining aktivligini quyidagi formula bo'yicha hisoblashni taklif qiladi:

$$a_{(i)} = C_{(i)} \cdot \Psi_i,$$

bu yerda: $C(i)$ — shlakdagi i -elementning atom ulushlarida ifodalangan to'la analitik konsentratsiyasi; Ψ_i — aktivlikning atom fityenti:

$$\Psi_i = \left(\sum_{j=1}^k C(i) e^{\frac{-\epsilon_{ij}}{RT}} \right)^{-1},$$

bu yerda; k — shlak komponentlarining to'la soni; ϵ_{ij} — almashinuv energiyasi, $\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\chi_i^{1/2} - \chi_j^{1/2})^2$.

i va j elementlarning atom parametrlari χ_i va χ_j bilan belgilanadi. χ ning qiymatlari 13-jadvalda keltirilgan.

Shlak suyuqlanmalaridagi komponentlar aktivligini aniq hisoblash uchun metodlaridan qaysi birini tanlash hisob ma'lumotlari qancha eksperimental ma'lumotlarga to'g'ri kelishiga bog'liq.

Elementlarning energetik parametrlari

χ	Element	χ	Element	χ	Element	χ
30	Al	30	S	189	Fe	80
41	Si	41	Ca	25	Cu	100
49	P	49	Mn	60	Zn	58

4. Fazalar o'zaro ta'sir jarayonlarining mexanizmi

Yuldan o'tish vaqtida quyma qotishma tarkibining shakllanishi jarayonida qatnashadigan turli fazalar komponentlarining qator bo'lib yoki parallel o'tadigan geterogen o'zaro ta'sirlari natijasida bo'ladi.

Quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Komponentlarning ajralish sirtida diffuziyanishi;

2. Sirtida adsorbsiyanishi;

3. Kimyoviy axt (yoki komponentlarning erishi);

4. Mahsulotlarining desorbsiyasi;

5. Mahsulotlarining bitta yoki ikkita fazaga diffuziyanishi.

Quyidagi bosqich mexanizmini ketma-ket ko'rib chiqamiz.

1. Bir biriga tegib turgan moddalar zarrachalarining issiqlik

taʼsirida o'zaro bir-birining ichiga kirishidan iborat. Diffuziya

koncentratsiyasining kamayish yo'nalishida sodir bo'ladi va

bu hajm bo'ylab bir tekis taqsimlanishiga (kimyoviy poten-

siya tenglashtirilishiga) olib keladi.

2. Sirtida bo'lgan biron-bir moddalarning zarrachalari ham, xususi

yaqin atrofdagi komponentlarning ham diffuziyanishi mumkin (o'z-o'zidan diffuziyanishi).

3. Gazlarda juda tez sodir bo'ladi. Gazda zarrachalarning

harakati tartibsiz bo'lishi tufayli, haqiqiy yo'l uzunligi konsentratsiya

gradienti bo'ylab yo'nalishdagi to'g'ri yo'l uzunligidan sezilarli kattadir.

4. Gazlarda sodir bo'lgan diffuzion jarayonlar uchun to'g'ri bo'lgan

qonun munosabatni olgan:

$$\bar{L}^2 \sim Dt,$$

bu yerda $\bar{L}$ — zarrachaning o'rtacha siljishi; D — proporsionallik

ko'rsatkichi, t — diffuziya vaqti.

5. Suyuqliklarda diffuziya molekularning bitta turg'un holatdan

ikkinchi holatga sakrab o'tishi natijasida amalga oshadi. Energetik jihatdan

bu holat bo'lgan yangi holatga har bir sakrash molekular orasidagi

masofa katta bo'lmaydi. Suyuqlikdagi diffuziyaga ishqalanish bilan

bu harakat deb qaraladi va unga Eynshteynning ikkinchi

qonun munosabatini qo'llash mumkin:

bu yerda: U — diffuziyanuvchi zarrachalarning harakatlanuvchi k — Bolsman doimiysi.

Qattiq jismlarda ham diffuziya sodir bo'ladi, lekin uning juda kichik bo'ladi. Qattiq jismlardagi diffuziyaning bir nechta bo'lishi mumkin: atomlarning vakansiyalar bilan o'rin almashib atomlarning tugunlar orasida siljishi, bir nechta atomning bir siklik siljishi, ikkita qo'shni atomning o'rin almashishi. Masalan, eritmalar hosil bo'lganda o'rin egallash atomlar bilan vakansiyalar orasidagi o'rin almashtirishdan ustunlik qiladi. Joriy etiladigan eritmalar hosil bo'lishida atomlarning tugunlararo siljishi ham sodir qiladi. Qattiq jismlarda diffuziya koeffitsiyenti D kristall panjara tashkilidagi atomlariga nihoyatda ta'sirchan bo'ladi. Nuqsonlar sonining oshishi diffuziyaning o'sishiga olib keladi. Temperatura ortganda D ning qiymati juda ortadi. Masalan, misning ruxga diffuziyanishi temperatura 20 dan 300 °C gacha ortganda kuzatiladi, ya'ni D kattalik 10¹⁰ ga ortadi.

Diffuziya massa uzatish usullaridan biri hisoblanadi. Uning kinetikasi quyida ko'rib o'tiladi. Diffuziyaning harakatlanuvchi konsentratsiyadan tashqari temperatura (termodiffuziya), (barodiffuziya), elektr maydon (elektr diffuziya) bo'lishi ham ta'sir qiladi. Qattiq jismlarda diffuziya faza hajmida sodir bo'ladi. Faza ajralish chegarasidan o'tish esa sirtiy hodisalar va kimyoviy mexanizmi yoki erishga bog'liq.

Quyida qotishmalarni suyuqlantirish jarayonida sirtiy hodisalar juda katta rol o'ynaydi. Fazalarning ajralish chegarasidagi hodisalar bilan po'lat qaynayotganda va metallmas qo'shilma degazatsiyalanishida murtak hosil bo'lish jarayonlari, shuningdek ularning yiriklanishi, chiqarib yuborilishi va boshqa ko'p hodisalar bog'liq.

Moddaning sirtqi qatlamlaridagi xossalari uning hajmidagi hodisalaridan juda farq qiladi. Parchalanish darajasi ortganda sirtning yuzasi ancha sezilarli bo'ladi. Masalan, agar qirrasining uzunligi 1 sm bo'lsa, kubni olsak, uning sirti 6 sm² ga teng bo'ladi. Agar uni qirrasining uzunligini 10 Å ga teng kubchalarga «ajratsak», unda sirt 600 sm² ga teng bo'ladi. Hajm ichida zarrachalarga ta'sir qiladigan zarrachalararo kuchlar muvozanatlashgan, sirtida esa muvozanatlashgan bo'ladi. Natijada suyuqlik sirti o'z yuzasini eng kichik o'lchamga qisqartirishga intiladi. Bu hodisa sirt taranglik deb ataladi. Moddaning shakldagi tomchilarning hosil bo'lishi, suyuqlikning kapillarlik ko'rsatkichi, ularning g'ovak qattiq jismga kirishi sirt taranglik hodisalarining ta'siri natijasida sodir bo'ladi.

taranglik koefitsiyenti σ uzunlik birligiga ta'sir qiladigan kuch yuzasi birligining hosil bo'lishiga sarflangan ish (J/m^2) hisoblanadi. Oxirgi holat *adgeziya* kattaligini, ya'ni ikkita suyuq (suyuqlik, metall va shlakni) ajratishga sarflangan ishini hisoblashga imkon beradi:

$$A_a = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_{1-2},$$

bu yerda σ_1 — suyuqlik 1 ning sirt tarangligi; σ_2 — suyuqliklarning gaz fazasi chegarasida 2 suyuqlik uchun sirt taranglik; σ_{1-2} — ajralish davri fazalararo taranglik.

Adgeziya, ya'ni bir jinsli muhitni buzish uchun sarflangan ishning xususiy holi hisoblanadi. Bu ish ikkita yangi ajralish suyuqlik — gazning hosil bo'lishi uchun sarflangan ishga teng:

$$A_k = 2\sigma_1,$$

bu yerda σ_1 — suyuqlik 1 ning gaz fazasi bilan chegarasidagi sirt taranglik.

Adsorbsiya kradigan fazalar sirt qatlamining tarkibi ularning tarkibidan tafovutlanadi, bu esa adsorbsiya hodisalariga nisbatlanadi. Adsorbsiyalangan faza yuzasi gaz bilan kontaktlashganda adsorbsiya natijasida uning ozroq miqdori qattiq modda shaklida qoladi. Adsorbsiyaning ikkita turi mavjud: fizik adsorbsiya va kimyoviy adsorbsiya.

Fizik adsorbsiya barcha qattiq moddalarda kuzatiladi. Uning ta'siri natijasida gaz molekullari sirtida ushlab qolinadi. Jarayon biror vaqt davomida (adsorbsiyalangan gazning 40 J/mol igacha) issiqlik ajralib chiqadi, natijada gaz bosimi ortishi bilan empirik tenglamaga asoslanib adsorbsiyalanish darajasi ortadi:

$$\omega = k \cdot p^n,$$

bu yerda ω — adsorbentning birlik massasi bilan adsorbsiyalangan gaz miqdori, k va n — konstantalar ($n < 1$).

Fizik adsorbsiya o'tirish bilan adsorbsiya darajasi kamayadi. Shu sababli, adsorbsiya bu turi past va o'rtacha past temperaturalarda, ayniqsa, suyuqlik sirtida adsorbsiyalangan gaz bir nechta molekular qatlamida to'planib qoladi, deb hisoblanadi, chunki Van-der-Vaals kuchlari natijasida bitta qatlamidan boshqasiga tarqalishi mumkin.

Kimyoviy adsorbsiya elektron juftlarning hosil bo'lishida yoki gaz molekullari bilan adsorbent orasidagi kimyoviy bog'lanish natijasida adsorbentning almashinishida sodir bo'ladi. Elektronlar gaz molekullari bilan qattiq moddaga va aksincha, qattiq moddadan gaz molekullariga o'tishi mumkin. Bunda qattiq moddaning elektronlarini o'zgartirish mumkin.

Eritma sirtidagi adsorbsiya Gibbs formulasi yordamida tavsiflanadi:

$$G_i = -\frac{C_i}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC_i},$$

bu yerda: G_i — adsorbsiyalangan modda miqdori, mol/m²; C_i — konsentratsiya, mol/m³; σ — sirt taranglik, J/m²; R — universal doimiysi, J/mol · K.

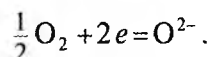
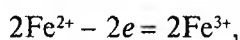
Metallurgik jarayonlar uchun eritmalar jumlasiga kiritish muhim bo'lgan suyuqlanmalar sirtidagi adsorbsiya juda katta ahamiyatga ega.

Erish jarayoni termodinamik muvozanatdagi sistema hosil bo'lgan ikkita yoki undan ortiq komponentlarning makroskopik birikma aralashmalarining hosil bo'lish jarayonidan iboratdir.

Eritmada barcha komponentlar molekular-dispers holatda bo'ladi. Ular alohida atomlar, molekulalar, ionlar yoki bu zarrachalar bo'lgan uncha katta bo'lmagan sonidan iborat guruhlar ko'rinishida bo'lgan taqsimlangan. Eritmalar gazsimon, suyuq va qattiq bo'lishi muhim. Suyuqlantirish jarayonlari uchun suyuq metalli va shlakli eritmalar hosil bo'lishi muhim ahamiyatga ega.

Erish mexanizmi eritgich va eritiladigan komponentlarning o'zaro ta'siriga bog'liq. Erish kimyoviy, solvatatsion va dispers erish bilan farqlanadi.

Kimyoviy erish turida eritgich va eriydigan modda reaksiya kiritishadi, buning natijasida uning komponentlaridan biri eritiladi qoladi. Masalan, rux xlorovodorod kislotasida o'zining H⁺ ionlari elektroneytral vodorodgacha qaytara olish qobiliyati hisobiga eritiladi. Bunda rux eritmaga ionlar ko'rinishida o'tadi. Tarkibida o'zgaruvchan valentli ionlari bo'lgan shlak suyuqlanmasida kislorodning erishi erish mexanizmning o'ziga asoslangan:



Eriydigan modda va eritgich zarrachalarning assotsiatsiyalangan guruhlarini tashkil etadigan holdagi jarayon *solvatatsiya* (eritmalarda *gidrotatsiya*) deb ataladi. Bunda eriydigan modda zarrachalari bamisoli eritgichning zarrachalari bilan o'rab olinadi kompleks hosil qiladi. Masalan, ohak kislotali shlaklarda eritilgan Ca²⁺ ion SiO₄⁴⁻ ionlarning qurshoviga tushib qoladi. Natijada Ca_{x1}Si_{x2}O_y^{z-} komplekslar hosil bo'ladi.

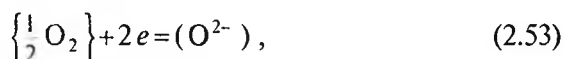
Uchinchi erish mexanizmiga *dispersion effekt* sabab bo'ladi. Bu bir gazlar, suyuqliklar va hatto qattiq jismlarda molekulalar bir-biri bilan molekulalararo ta'sir kuchlari bilan shunchalik bo'sh bog'lanadi.

ularni o'ziga o'xshash moddalarning molekulari bilan o'zaro ta'sir qilishini mumkin. Bunda energetik o'zgarishlar juda kam

shartidagi kimyoviy akt — fazalarning o'zaro ta'sir mexanizmi — faqat faqat kimyoviy momentdir. Ko'pchilik geterogen reaksiyalar o'zining faqat kimyoviy elektrokimyoviy hisoblanadi. Masalan, temirning oksidlanish reaksiyasi



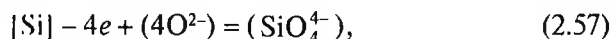
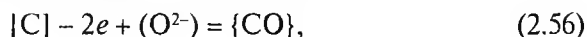
(2.52) va anod (2.54) bosqichlardan iborat:



bu yerda Fe^{2+} ionlarning bo'lishi C, Si, Mn kuyindining ionlarining faqat kimyoviy reaksiyasining rivojlanishiga imkon beradi. Bunda katod reaksiyasi temirning qaytarilishi hisoblanadi:



shartida esa mazkur temperaturada tarkibidagi ΔG ning qiymati faqat kimyoviy aralashmaning oksidlanishidan iborat:



bu yerda $\text{Me} - ze \rightarrow \text{Me}^{z+}$ elektrod jarayoni uchun elektrod potentsialining ma'lum qiymati mavjud:

$$\varphi_{\text{Me}} = \varphi_{\text{Me}}^{\circ} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{\text{Me}}^{z+}}{a_{\text{Me}}}, \quad (2.59)$$

bu yerda $\varphi_{\text{Me}}^{\circ}$ — berilgan metall uchun standart elektrod potentsiali; R — gas konstantasi; F — Faradey soni; a_{Me}^{z+} va a_{Me} — mos ravishda shlak va metallidagi Me^{z+} ionlari va atomlarining aktivligi.

Elektrod potentsiallarining qiymati erkin energiya kattaligi bilan bog'liq holda vositasida bog'langan:

$$\Delta G = -zF(\varphi_0^{\circ} - \varphi_{\text{Me}}^{\circ}), \quad (2.60)$$

bu yerda φ_0° — kislorodning elektrod potentsiali (amaliy maqsadlar uchun $\varphi_0^{\circ} = 0$ qabul qilinadi va unga nisbatan $\varphi_{\text{Me}}^{\circ}$ shkalasi beriladi).

Konkret suyuqlantirish sharoitlari uchun φ_{Me}° kattalik element shlakdan metallga va aksincha, metall dan shlakka o'tishi bilan bog'liq. Shu sababli, $Me \rightarrow [Me]$ jarayon uchun, ya'ni elementlarning metallga o'tishi uchun oksiddan tashqari, ΔG kattalik hisobga olinadi kerak.

Elektrokimyoviy muvozanat holatida, ya'ni $[Fe] - 2e^-$ reaksiya uchun i_{Fe} nolga teng bo'lganda fazalarning ajralish chegarasi elektr potensial sakrashi paydo bo'ladi. Natijada metallning o'rtadagi qatlami musbat zaryadlanadi, shlakning ionli suyuqlanmas esa qo'sh elektr qatlami hosil bo'ladi. Ionlar orasidagi tortishilarning birinchi qatlamdan keyin qarama-qarshi belgili ortiqcha zaryadli qatlam paydo bo'lishiga olib keladi. Bu hodisa elektrostatik kuchlar bilan bog'liq bo'shashgan sari sekin-asta so'nuvchi manzarani yaratgan holda bir necha bor suyuqlanma ichkarisi tomon takrorlanib boradi.

Diffuziya, erish, kimyoviy akt ma'lum tezlikda o'tadi. Ushbu jarayonlar o'rganish bilan kinetika shug'ullanadi.

2.6. Metallurgik jarayonlar kinetikasi

Geterogen reaksiyalar kinetikasi. Tezliklarning uchta bosqichga ajratilganligi farqlanadi: reaksiyaga kiradigan moddalarni fazalarning ajralishini ko'chirish, reaksiyalarning o'zi va reaksiya mahsulotlarini reaksiya mahsulotidan zonadan chetlatish.

Jarayonning umumiy tezligi eng sekin o'tadigan bosqichning tezligiga teng (agar bu tezlik qolganlaridan ancha kichik bo'lsa). Barcha tezliklar bir tartibda bo'lsa, unda jarayonning tezligi taqqoslanmaydigan tezliklarning eng sekini bilan aniqlanmaydi.

Agar reaksiyaga kiradigan moddalarni keltirish yoki reaksiya mahsulotlarini olib ketish tezligi reaksiyaning o'zining tezligidan kichik bo'lsa, unda jarayon diffuzion zonada, agar sekin bosqich reaksiya mahsulotlarini o'zi bo'lsa, unda jarayon kinetik zonada sodir bo'ladi, deb hisoblanadi.

Massa uzatish jarayonlarining tezligi massa oqimi M (kg/s) moddalar miqdorining oqimi J (mol/s), shuningdek, ularning miqdorining zichligi m (kg/s · m²) va modda miqdori j (mol/s · m²) deb ataladigan solishtirma qiymatlari bilan baholanadi. Biror qatlam ichida Ω yuza orqali uzatilgan massa $M_{\tau} = m \Omega \tau$ formula bo'yicha aniqlanadi. Mos ravishda $J_{\tau} = j \Omega \tau$ modda miqdori aniqlanadi.

Ko'chirishning asosiy qonunlaridan biri *Fik qonuni* hisoblanadi. Unga muvofiq oqim zichligi massa uzatish harakatlantiruvchi kuchlar gradientiga proporsional:

$$dm = -D \frac{dp}{dx} \quad \text{yoki} \quad \frac{dM_{\tau}}{d\tau} = -D \Omega \frac{dp}{dx}, \quad (2.1)$$

ρ — diffuzion komponentning parsial zichligi, kg/m^3 ; D — ko'effitsiyenti, m^2/s ; x — diffuziya yo'li.

Uning miqdori oqimining zichligi quyidagi formuladan aniq-

$$dj = -D \frac{dC}{dx} \text{ yoki } \frac{dJ_z}{d\tau} = -D\Omega \frac{dC}{dx}, \quad (2.62)$$

C — konsentratsiya, mol/m^3 .

) va (2.62) tenglamalardagi minus ishora Fik qonuniga muvobiq siljishi konsentratsiyaning kamayishi tomon sodir bo'ladir.

Konsentratsiya gradiyenti diffuzion qatlamning δ_d qalinligi bilan bog'lanadi, bu qatlam chegarasida konsentratsiya C hajmiy qiymatga o'tgacha o'zgaradi.

Uning taqsimlanish chiziqli deb hisoblansa, unda

$$\frac{dC}{dx} = \frac{C^\omega - C}{\delta} \text{ yoki } j = \frac{D}{\delta} (C^\omega - C) = \beta (C^\omega - C), \quad (2.63)$$

bu yerda δ — diffuzion qatlamning effektiv qalinligi; $\frac{D}{\delta} = \beta$ —

bu yordamda massa uzatish ko'effitsiyenti, m/s .

Ushbu holda, ya'ni massa uzatishning barcha uchta bosqichi massa uzatish ko'effitsiyenti quyidagicha bo'ladi:

$$k = \frac{1}{1/\beta_1 + 1/\alpha + 1/\beta_2},$$

bu yerda α — fazalararo massa uzatish ko'effitsiyenti, u kimyoviy reaksiya yoki erish tezligini xarakterlaydi.

Agar muhitda modda nafaqat diffuziya bilan, balki konvektiv bilan ham ko'chiriladi. Biror ρ zichlikka ega bo'lgan aralashma qandaydir hajmini v tezlik bilan siljitganda massa ko'chishi m_k bo'ladi. Molekular va konvektiv ko'chirish hisobiga aralashma yig'ma zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$m = m_k + m_d.$$

Ushbu holda konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasidan foydalaniladi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = \rho \text{div} \mathbf{v}. \quad (2.64)$$

Agar ρ const bo'lganda (2.64) da o'ng qismning oxirgi hadi nolga

qaytadi.

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = D \nabla^2 \rho.$$

Shunga o'xshash, (2.65) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \nabla^2 C.$$

Bir o'lchovli masala uchun (2.66) tenglamadan Fikning ikkinchi tenglamasi chiqariladi:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2},$$

bu formuladan, odatda, eksperiment ma'lumotlari bo'yicha diffuziya koeffitsiyentini hisoblab topish uchun foydalaniladi.

(2.61)–(2.67) tenglamalar bo'yicha barcha hollar uchun hisoblashlar o'tkazib bo'lmaydi. Ba'zan *tuyulma massa uzatish koeffitsiyenti* k^v tushunchasidan foydalaniladi. U element massa oqimi zichligi ρ ning bir protsent K konsentratsiyasiga bo'lgan nisbatidan iborat:

$$k^v = \frac{dM_i}{\Omega \cdot d\tau \cdot K},$$

k^v kattalik $\text{kg/m} \cdot \text{s} \cdot \%$ larda o'lchanadi (konsentratsiya protsent). Shu sababli kiritilganki, amaliy hisoblashlarda qotishma tarkibini aniqlash xarakterlash uchun ayni shu kattalik ishlatiladi).

Metallning massasi M_Σ o'zgarmas bo'lgan suyuqlantirish zoni Ω da i - element massasining o'zgarishi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$dM_i = M_\Sigma \cdot dK_i \cdot 10^{-2}, \quad (2.68)$$

bu yerda $M_i = \frac{M_\Sigma K_i}{100}$ — i - element massasi.

$$dK = 10^2 \cdot k^v \cdot \frac{K}{M_\Sigma} \cdot \Omega d\tau, \quad (2.69)$$

$k^{v'} = k^v \cdot 10^2$ belgilash kiritamiz, unda $dK = k^{v'} \cdot K \cdot \frac{\Omega}{M_\Sigma} d\tau$

$\frac{dK}{K} = k^{v'} \cdot \frac{\Omega}{M_\Sigma} d\tau$ bo'ladi. Bu tenglamani K^0 dan K gacha va 0 dan τ (massa uzatilish vaqti) gacha integrallab, shuningdek, shlang materiallarining solishtirma yuzasi $\omega = \frac{\Omega}{M_\Sigma}$ (m^2/kg) ni kiritib, quyidagi tenglamaga bo'lamiz:

$$K = K^0 \exp(k^{v'} \omega \tau). \quad (2.70)$$

massa uzatish ko'effitsiyenti uning haqiqiy konstantalari yordamida bog'langan:

$$k^v = \frac{\beta(C_0 - C_\infty)M_m}{K},$$

M_m — komponent molining massasi, kg/mol;

$$k^v = \frac{a \cdot C \cdot M_m}{K},$$

shu yordamida real suyuqlantirish jarayonlarining murakkabliklari uchun massa uzatishning matematik modelini yasash

imkonda ko'rsatib o'tilganidek, o'zaro ta'sirning ko'p turlari elektrokimyoviy hisoblanadi. Bu o'zaro ta'sirlar kinetikasi elektrokimyoviy xarakteristikalar yordamida tavsiflanadi.

Elektrokimyoviy kinetikaning asosiy holatlari

metallarning shlak ostida oksidlanish kinetikasi elektrokimyoviy tenglamasiga bo'ysunadi [5]:

$$I = n F \cdot i_0 \frac{C_{Red}^\omega}{C_{Red}} e^{\frac{\beta n F}{RT}(\varphi - \varphi_p)} - i_0 \frac{C_{Ox}^\omega}{C_{Ox}} e^{\frac{-\alpha n F}{RT}(\varphi - \varphi_p)}, \quad (2.72)$$

bu yerda I — almashinuv toki; n — stexiometrik ko'effitsiyent; F — Faradey soni, i_0 — ko'effitsiyent α ning analogi bo'lgan «nolinchi» almashinuv toki, ya'ni massa ko'chirish ko'effitsiyenti; C_{Red} — ionlar reduksiyalash shaklining konsentratsiyasi; C_{Ox} — ionlar oksidlanish shaklining konsentratsiyasi; C^ω — sirtiy konsentratsiyalar; α va β — transfer sonlari, φ va φ_p — potentsiallar.

Shunday qilib, elektrod reaksiyasining tezligi potensialning haqiqiy qiymatidan muvozanat qiymatlari orasidagi ayirmaga bog'liq. Qutbiylik η deb bu ayirma jarayonning qaytmovchanlik o'lchovidir. Qutbiylik kichik bo'lganda sistema muvozanatga yaqin bo'ladi va razryad qaytaruvchi bo'ladi. Agar qutbiylik qiymati katta bo'lsa, qaytaruvchi jarayonning tezligini hisobga olmasa bo'ladi va (2.72) tenglamaning o'ng tomonidagi birinchi qo'shiluvchiningina hisobga olish mumkin.



III BOB

PECHLI JARAYONLARNING NAZARIY ASOSLARI

3.1. Pechlarda issiqlikni generatsiyalash

Sanoat pechlarida issiqlik manbayi sifatida qattiq, suyuq va gazsimon yoqilg'i, shuningdek, elektr energiya ishlatiladi.

Sanoat pechlarida yoqilg'i sifatida foydalaniladigan moddalarning quyidagi talablar qo'yiladi:

- tabiatda yetarli darajada tarqalganligi;
- yoqqanda issiqlik energiyasining katta miqdori ajralib chiqishi;
- zaharli va zararli tashkil etuvchilarning xavfli miqdordagi bo'lishi;
- toksik yoki portlash jihatdan haddan tashqari xavfli bo'lishi;
- uncha qimmat bo'lmasligi.

Agregat holatiga ko'ra, yoqilg'i qattiq, suyuq va gazsimon yoki ularning birlashtirilgan bo'linadi. Yoqilg'ining bu turlaridan har qaysisi tabiiy va sintetik bo'lishi mumkin (14- jadval).

14- ja

Yoqilg'i turlarining klassifikatsiyasi

Qattiq		Suyuq		Gazsimon	
Tabiiy	Sun'iy	Tabiiy	Sun'iy	Tabiiy	Sun'iy
O'tin	Pistako'mir	Neft	Mazut	Tabiiy,	Suyultirilgan,
Torf	Torf koksi		Benzin	yo'lakay	yoritilgan
Qo'ng'ir va	Frezer torfi		Ligroin	va shaxta	generatsiya
toshko'mir			Kerosin	gazlari	dominant
Antratsit	Briketlar		Gazoyl		slanes va
Slaneslar	Koks		Slanes		neft
	Koks		smolasi		gazlari
	briketlari				
	Kukunsimon				
	ko'mir				
	Neft koksi				

Yoqilg'ining kimyoviy tarkibi. Yoqilg'ilarning barcha turlarining tarkibida u yoki bu kimyoviy birikmalar ko'rinishidagi uglor

h, kislorod, azot va oltingugurt bo'ladi. Qattiq yoqilg'ining
rinishidagi tarkibi ishchi yoqilg'ining massasini xarakterlovchi
bilan tavsiflanadi:

$$C^i + H^i + O^i + S^i + N^i + A^i + W^i = 100\%, \quad (3.1)$$

bu yerda C^i , H^i , O^i , N^i va S^i — ishchi yoqilg'i massasi tarkibidagi
elementlarning protsent miqdori; A^i — kul miqdori; W^i —
miqdori.

undan to'la ozod etilgan yoqilg'i massasi quruq massa deb

$$C^q + H^q + O^q + N^q + S^q + A^q = 100\%. \quad (3.2)$$

yoqilg'ining namsiz va kulsiz olingan massasi yonuvchi massa
hisoblanadi

$$C^{yo} + H^{yo} + O^{yo} + N^{yo} + S^{yo} = 100\%. \quad (3.3)$$

yoqilg'ining oltingugurtsiz yonuvchi massasi organik massa deb

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100\%. \quad (3.4)$$

yoqilg'ining tarkibini aniqlash uchun u elementar va texnik analiz
qilishda. Elementar analiz qilishda C, H, O, N va S lar yoqilg'i
qanday ko'rinishda kirishidan qat'iy nazar, ularning miq-
dori aniqlanadi. Texnik analiz qilishda namlik (W^i), kul (A^i) va
organik moddalar (L) miqdori aniqlanadi.

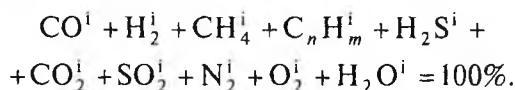
yoqilg'i tarkibidagi namni aniqlash uchun yoqilg'i quritish shka-
fidagi W^i da o'zgarmas massagacha quritiladi. Massadagi farq protsent
hisobida W^i namlik bilan hisoblanadi. Kulni aniqlash uchun tortilgan
yoqilg'i o'zgarmas massagacha ochiq tigelda qizdiriladi. Yonmaydigan
qolgan A^i kul miqdori deb qabul qilinadi va u protsent hisobida
hisoblanadi.

qattiq yoqilg'ini havo kiritmasdan qizdirish jarayonida uning
qismining termik parchalanishida hosil bo'ladigan gazsimon
moddalar *uchuvchan modda* deb ataladi. Ularni aniqlash uchun
yoqilg'i miqdori tiqini mahkam yopiladigan chinni tigelda
qizdiriladi. Bunda tortilgan yoqilg'i
kamayadi. Massadagi tafovut uchuvchan moddalar (%) hiso-
bida hisobiga bo'ladi.

gazsimon moddaning kimyoviy tarkibi, odatda, quruq gaz tar-
qilish sharoitida tashkil etuvchilarning hajmiy protsentlardagi miqdori
bilan xarakterlanadi:

$$\begin{aligned} CO^q + H_2^q + CH_4^q + C_n H_m^q + H_2S^q + \\ + CO_2^q + SO_2^q + N_2^q + O_2^q = 100\%. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Gazning ishchi tarkibi quyidagi formula yordamida ifodal



Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati. Yoqilg'ining chiqarish qobiliyati yoki uning *issiqlik chiqaruvchanligi* deb, g'ining birlik massasi yoki hajmi to'la yonganda ajralib chiqarilgan issiqlik miqdoriga aytiladi. U kJ/kg yoki kJ/m³ da o'lchanadi. A MKTC sistemasida kcal/kg yoki kcal/m³ larda o'lchanar edi (o'zgarishlar belgilashlar eski adabiyotlardan foydalanishda qulay bo'lishi uchun qo'yiladi). Issiqlik chiqarish qobiliyati ikkita turga ajratiladi: yuqori va pastki.

Yoqilg'i to'la yonib bitganida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori *yuqori issiqlik chiqarish qobiliyati* hisoblanadi, bunda yonish mahsulotlari tarkibida bo'lgan suv kondensatsiyalanadi, ya'ni bug'lanish uchun sarflangan issiqlik qaytadi, degan shart qo'yiladi.

Real sharoitlarda yoqilg'i yoqishda namlik, odatda, kondensatsiyalanmaydi, chunki yonish mahsulotlari pechdan kamida 100 °C da chiqib ketadi. Bu shartlarga *pastki issiqlik chiqarish qobiliyati* deyiladi.

Bu kattaliklar Q_{yu}^i va Q_p^i lar orqali belgilanadi. Ular $Q_p^i = Q_{yu}^i - W_{yo.m.}^i$ munosabat bilan bog'langan va normal fizik sharoitlarda, ya'ni 0 °C (0 °C) temperatura va 0,101 MPa (1 atmosfera) bosimda o'lchanadi. Bu yerda: q — namlikning 100 g suv uchun xona temperaturasigacha bug'lanish va sovish temperaturasi: q — kJ/kg; $W_{yo.m.}^i$ — normal fizik sharoitlarda yoqilg'ining yonish mahsulotlaridagi namlik miqdori, kg/m³.

Qattiq va suyuq yoqilg'i uchun yonish mahsulotlaridagi namlik miqdori quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$W_{yo.m.}^i = \frac{9H^i + W^i}{100} \quad (\text{kg yoqilg'i}).$$

Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati eksperimental yo'l bilan aniqlanadi. Izolatsiyalangan sistemada — kalorimetrdan yoqilg'i tortilgan miqdori yondiriladi va temperaturaning ortishi bo'yicha ajralib chiqqan issiqlik miqdori aniqlanadi.

Komponentlardan har birining issiqlik chiqarish qobiliyati qiyamati ma'lum bo'lganda yoqilg'ining issiqlik chiqaruvchanligi hisoblash yo'li bilan aniqlash mumkin:

$$Q_p^i = \sum_{i=1}^n Q_{p_i}^i \cdot r_i,$$

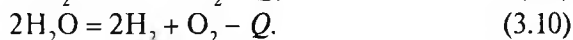
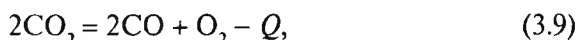
bu yerda r_i — har bir komponent ulushi.

Yonish mahsulotlarining temperaturasi. Yoqilg'ining muhim xarakteristikasi — uning yonish mahsulotlarining temperaturasi.

$$t_k = \frac{Q_p^i}{c \cdot V}, \quad (3.8)$$

c — yonish mahsulotlarining issiqlik sig'imi, J/(m³ · °C);
 V — yonish mahsulotlarining hajmi, m³/kg.

Chiqariladigan yonish mahsulotlarining bir qismi issiqlik yutilishi hisobga olinishi mumkin, masalan, quyidagi reaksiyalar



Yonish mahsulotlarining dissotsiatsiyaga sarflanishini hisobga olgan holdagi yonish mahsulotlari temperaturasi *nazariy temperatura* deb ataladi. U quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$t_n = \frac{Q_p^i - Q_{\text{diss}}}{c \cdot V}, \quad (3.11)$$

Yoqilg'i va havo temperaturasi ko'tarilsa, ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$t_n = \frac{Q_p^i + Q_{yo} + Q_h - Q_{\text{diss}}}{c \cdot V}, \quad (3.12)$$

Ushbu pechdagi temperatura haqiqiy nazariv temperaturadan past, chunki yoqilg'i yonganida issiqlik yo'qotiladi. Yo'qoladigan issiqlik yonish mahsulotlari yoki yonish kamerasining konstruksiyasiga bog'liq bo'ladi. η_p — nisbat *pirometrik koeffitsiyent* deb ataladi. Shunday qilib,

$$t_h = \eta_p \cdot \frac{Q_p^i + Q_{yo} + Q_h - Q_{\text{diss}}}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot V_i}, \quad (3.13)$$

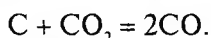
bu yerda c_i va V_i — yonish mahsulotlari alohida komponentlarining issiqlik sig'imi va hajmi.

Yoqilg'ining har xil turlari uchun temperaturalar masshtabini belgilash uchun ularning ba'zi bir qiymatlarini keltiramiz:

pirometrik — tabiiy gaz 2030 °C, toshko'mir 2080 °C, quruq o'tinlar 2000 °C, quyimakorlik pechlaridagi real temperatura — sterjenlarni qizdirish 200–300 °C, qoliplarni quritish 300–450 °C, qum va loyni qizdirish 500 °C gacha, termik ishlov berish uchun qizdirish 600–800 °C, yengil qotishmalarni suyuqlantirish 700–800 °C, cho'yanni suyuqlantirish 1450–1550 °C.

Yoqilg'ining yonuvchanligi va reaksiyaga kirish qobiliyati
 Yonuvchanlik deb, bo'lak-bo'lak qattiq yoqilg'ining kislorod bilan reaksiyaga kirish qobiliyatiga aytiladi. Yonuvchanlik kattaligi $t = 800^\circ\text{C}$ da 10 minut davomida kislorod o'tkazilganda yoqilg'ining massa yo'qotishi bilan aniqlanadi.

Reaksiyaga kirish qobiliyati deb, qattiq yoqilg'ining gaz oksidlarining kislorodi, masalan, CO_2 bilan quyidagicha reaksiyaga kirish qobiliyatiga aytiladi:



Ayni holda reaksiyaga kirish qobiliyatini tortilgan yoqilg'ining kislorod bilan reaksiyaga kirish qobiliyatiga aytiladi. $t = 900^\circ\text{C}$ da texnik jihatdan toza CO_2 ni o'tkazib aniqlanadi. Unda

$$R = \frac{\text{CO}_2 \text{ (aylangan)}}{\text{CO}_2 \text{ (qo'llanilgan)}} \cdot 100\% = \frac{\text{CO}}{\text{CO} + 2\text{CO}_2} \cdot 100\%.$$

Reaksiyaga kirish qobiliyatini bilish — yoqilg'ini qalin qatlamda yoqishda, masalan, vagrankalarda yoqilg'ini yoqishda katta ahamiyatga ega. Agar vagrankada reaksiyaga kirish qobiliyati yuqori bo'lsa, yoqilg'idan foydalanilsa, u holda (3.14) reaksiya shunday darajada avj oladiki, bunda temperatura keskin pasayadi va suyuqlashtirish mumkin bo'lmay qoladi. Yoqilg'ilarning koks va termoantratsiyalarning qiymati kichik R ga ega bo'ladi, shu sababdan vagrankalarda ishlatiladi. Domnalarda va gaz generatorlarida aksincha, R katta bo'lsa, ko'ngildagidek bo'ladi.

Yoqilg'ilar har xil turlarining xarakteristikasi

Yog'och yoqilg'i. Organik massaning o'rtacha tarkibi: 50% C; 6% H^o; 44% (O^o + N^o); ballast 1% Aⁱ va 30% Wⁱ. Uchta moddalarning chiqishi $Q_p^i = 2800$ kcal/kg yoki 11800 kJ/kg. Uchta moddalarning chiqishi 80–87%.

Torf — botqoqlik o'simliklari organik moddalarining parchalanish natijasida hosil bo'lgan mahsulot. Yonuvchi massaning tarkibi: 60% C^o; 6% H^o; 27% N^o; 33 O^o; 0,3% S^o; Wⁱ = 40–50%; Aⁱ = 1–2% bo'ladi. $Q_p^i = 3000$ kcal/kg yoki 12600 kJ/kg.

Yonuvchi slanetslar mineral moddalar va chirish bo'lmagan bo'lgan organik massaning toshko'mirlarga yaqin bo'lgan asoslaridan iborat. Ularning tarkibidagi kul miqdori 65% ga yetadi, 10 dan 20% gacha o'zgaradi. Organik massa tarkibi: 70% C^o; 10% H^o; 20% (O^o + N^o). $Q_p^i = 2000 - 2200$ kcal/kg yoki 8400–9200 kJ/kg.

Qo'ng'ir ko'mirlar — bu torf bilan toshko'mir o'rtasidagi oralik o'rin egallaydigan o'simliklarning chirish mahsulotidir. Ularning tarkibida 30% gacha kul, 5% oltingugurt, 15–35% namlik bo'ladi.

tan tarkibi: 65–71% C°; 5% H°; 1–2% N°; 23–25% O°. Moddalar miqdori 45% gacha. $Q_p^i = 3150$ kcal/kg yoki

o'z miqdori qo'ng'ir ko'mirlarga o'xshash, lekin geokimik jihatdan katta bo'ladi. Tarkibidagi uchuvchan moddalar miqdori (umumiy tarkibida 6%). $Q_p^i = 5000 - 7000$ kcal/kg (21000–29000 kJ/kg). Uchuvchi massaning tarkibida: C° = 76–93,5%; H° = 0,5–1,8%; N° = 1,0–1,6%; S° = 1,9–4,8%; namlik bo'ladi.

Uchuvchi qattiq yoqilg'ining eng ko'p tarqalgan turi. Quymakorlikda ko'lamda ishlatiladi. Koks toshko'mirni 900–1000 °C da kimyoviy termodinamik parchalash vositasida olinadi.

Uchuvchi cho'yan suyuqlantirish uchun koks-kimyo zavodlari uchun KL-1, KL-2 va KL-3 markali quymakorlik koks ishlatiladi.

Markaning barchasida $Q_p^i = 6500 - 7000$ kcal/kg, hajmiy $W^i = 400 - 500$ kg/m³, $W^i = 4\%$, $L^i = 1,2\%$. Markalari tarkibidagi suv va kul miqdori (%) bilan farqlanadi: KL-1 da S° = 0,6 va KL-2 da 1,0 va 11,0; KL-3 da 1,4 va 12,0.

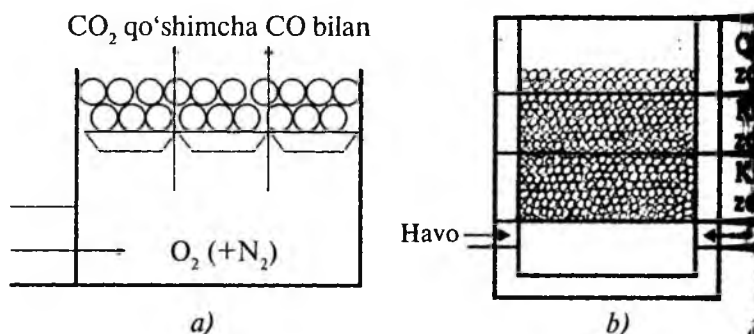
Uchuvchi va mazut. Neft qo'ng'ir yoki to'q qo'ng'ir rangli suyuqlikdan iborat bo'lib, turli-tuman organik birikmalardan iborat. Birikmalar ichida uglevodorodlar (C_nH_{2n+2}, C_nH_{2n}, C_nH_{2n-2}) ko'pchilikni tashkil qiladi. Organik massa tarkibi: 84–92% C°; 11% H°; 0,5–0,7 (O° + N°).

Uchuvchi sifatida neft tabiiy ko'rinishda ishlatilmaydi, lekin neftni mazutga aylantirib, undan motor yoqilg'isi ajratib olingandan so'ng qolgan mazutdan keng ko'lamda foydalaniladi. Mazut tarkibida: 87,6% C°; 11% H°; 0,5–0,7 (O° + N°) bo'ladi. $Q_p^i = 9870$ kcal/kg.

Tabiiy gaz yoqilg'ining eng qulay turi. Quymakorlikda undan ko'lamda foydalaniladi. Tabiiy gaz metan (CH₄ = 77–98%) dan, etan (C₂H₆), propan (C₃H₈), butan (C₄H₁₀) va og'ir uglevodorodlardan iborat. Issiqlik chiqarish qobiliyati $Q_p^i = 8000 - 8500$ kcal/m³.

Yonilg'ining yonishi. Yonayotganida yoqilg'ining tashkil etuvchi qismlari kislorod bilan birikadi. Ularning birikishini ifodalovchi reaksiya jadvalida keltirilgan.

Yonilg'ining har xil turlarining yonish mexanizmi turlicha bo'ladi. Uchuvchi yoqilg'isi o'txonadagi kolosniklarda yoki qalin qatlamlab (qattiq) yoniladi. Kolosniklarda yonganida uglerod kislorod bilan birikadi va shu bilan jarayon tugaydi (15- a rasm). Uchuvchi yoqilg'isida, ya'ni qalin qatlamda yonganida C + O₂ → CO₂ reaksiyasi sodir bo'lgandan keyin karbonat angidrid gazi yuqoriga ko'tariladi va qaytadan uglerod bilan reaksiyaga kirishadi. Bu zona yonilg'ining yonish zonasida ataladi (15- b rasm).



15- rasm. Yoqilg'ining yupqa (a) va qalin (b) qatlamlarda yonish

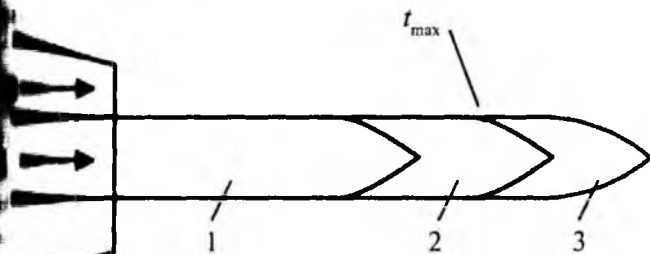
15-

Yoqilg'ini tashkil etuvchilarning yonish reaksiyalari

Reaksiya	Komponentlarning massalar nisbati, kg	Issiqlik effekti, kJ
$S + O_2 = CO_2$	$12 + 32 = 44$	4088
$C + \frac{1}{2}O_2 = CO$	$12 + 16 = 28$	1222
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$	$2 + 16 = 18$	2420
$SO_2 + C = 2CO$	$44 + 12 = 56$	-162
$C + H_2O = CO_2 + H_2$	$12 + 18 = 28 + 2$	-118
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	$16 + 64 = 44 + 36$	8053
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	$28 + 96 = 88 + 36$	1340
$S + O_2 = SO_2$	$32 + 32 = 64$	2970
$H_2S + \frac{1}{2}O_2 = SO_2 + H_2O$	$34 + 48 = 64 + 18$	5040

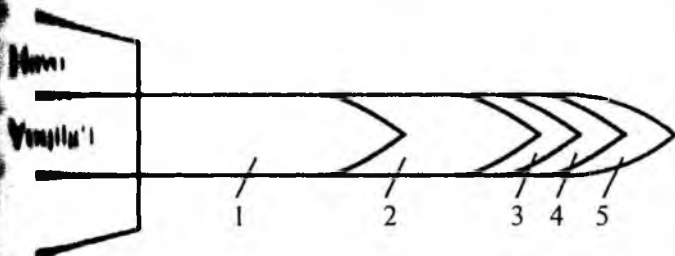
Suyuq va gazsimon yoqilg'ilarning yonishida mash'al sodir va ana shu bilan qattiq yoqilg'ining yonishidan farqlanadi. Y va havoning aralashish sharoitlariga qarab, mash'allar turlicha b mumkin. Gazsimon yoqilg'i havo bilan gorelkadan chiqishida a tirilgandagi yonish mash'alining shakli 16- rasmda ko'rsatilgan. va kukunsimon yoqilg'i yonganidagi mash'al shakli 17- rasmda k tilgan.

Yoqilg'ining yonishini hisoblash. Hisoblar mavjud yoq yoqishda zarur bo'ladigan havo miqdorini, shuningdek, y mahsulotlarining miqdori hamda tarkibini aniqlash uchun ba Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati va yonish mahsulotla temperaturasi (3.7)–(3.13) formulalar bo'yicha hisoblanishi mu



16-rasm. Gazning yonish mash'ali:

1 — yadro, 2 — qizish va alangalanish zonasi, 3 — yonish zonasi.



17-rasm. Changsimon va suyuq yoqilg'ining yonish mash'ali:

1 — yadro, 2 — qizish, bug'lanish va dissotsiatsiya zonasi, 3 — alanga
zonasi, 4 — qattiq qoldiqlar zonasi, 5 — yonish zonasi.

barfni, shuningdek, yonish mahsulotlarining miqdori va
antqlash yoqilg'ining elementar tarkibi (3.1–3.6 ga q.) va
keltirilgan reaksiyalar bo'yicha yonish material balansi aso-
sirladi. Hisoblash normal fizik sharoitlar uchun bajariladi. Masa-
lar uchun $C + O_2 = CO_2$ massaviy nisbat $12 \text{ kg} + 32 \text{ kg} = 44 \text{ kg}$
qiladi, ya'ni 1 kg uglerodning yonib tugashi uchun

2,67 kg kislorod zarur. Kislorod bilan birgalikda $2,67 \cdot \frac{76,8}{23,2} = 8,83 \text{ kg}$

azot (76,8% massa — N_2) qatnashadi. 1 kg uglerodga

11,5 kg (8,83–2,67) yoki $8,89 \text{ m}^3 \left(\frac{11,5}{1,293} \right)$ havo

qiladi. Gazsimon va suyuq yoqilg'idan foydalanilganda yonish

materialning tarkibi shunga o'xshash hisoblanadi.
yonish uchun zarur bo'lgan haqiqiy havo miqdorining (L_h)
havo miqdori (L_n) ga nisbati havo sarfi koeffitsiyenti deb

$$\alpha = \frac{L_h}{L_n} \quad (3.15)$$

Issiqlikni elektr energiyadan foydalanish yo'li bilan generatsiyalash

Gidroelektr stansiyalar va atom elektr stansiyalarida elektr energiya ishlab chiqarish usullarining keng rivojlanishi shunga olib keladi. Issiqlik texnologik jarayonlarini amalga oshirish uchun, shu jumladan quymakorlikda ham u eng foydali energiya manbai bo'lib qoladi.

Elektr energiya osongina issiqlik energiyasiga aylanadi, undan foydalanish uchun qulay va oson avtomatlashtiriladi. Elektr energiyadan foydalanilganda amalda talab etiladigan istalgan temperaturada erishish mumkin.

Elektr energiyani issiqlik energiyasiga aylantirish quyidagi prinsip bo'yicha amalga oshiriladi.

Qarshilik prinsipi. Bu prinsip shunga asoslanganki, o'tkazgich orqali elektr toki o'tkazilganda uning qarshilik ko'rsatishi natijasida issiqlik ajraladi. Bu hodisa Joule-Lenz qonunida ta'riflangan:

$$Q = I \cdot U \cdot \tau, \quad (3.10)$$

bu yerda: U — kuchlanish, V; I — tok, A; τ — vaqt, s.

Induksion prinsip. Bu prinsip o'zgaruvchan magnit maydon joylashtirilgan metall jismning unda vujudga keladigan (induksiya) toklar vositasida qizishiga asoslangan. Bu prinsip qarshilik prinsipiga juda yaqin, chunki issiqlikning ajralib chiqishi elektr tokining o'tishiga ko'rsatilgan qarshilik (3.16) natijasida sodir bo'ladi. Farq faqat shundaki, bu tok bevosita issiqlik ajratadigan o'tkazgichga keltirilmasdan, balki induksiyalangan.

Elektr yoy prinsipi. Bu prinsip elektr energiyaning issiqlik energiyasiga gazli muhitda kuchli elektr razryadidan iborat elektr yoyda aylanishiga asoslangan. Gazli muhit ionizatsiyalangan ko'rinishdagina elektr energiya o'tkazgichi bo'lib qoladi. Shuning uchun turg'un razryad hosil qilishdan oldin elektrodlar o'rtasidagi oraliqni ionizatsiyalash kerak. Agar elektrodlar bir-biriga tekizilsa, u holda ular orasidagi kontaktning takomillashtirilmaganligi sababli uchqunlanish boshlanadi va tok ortadi, natijada elektrodlar orasidagi oraliqda hamda oraliq yaqinidagi bo'shliqda havo ionizatsiyalanadi. Agar elektrodlar biror masofaga uzoqlashtirilsa, u holda tok, binobarin, ionizatsiya ham to'xtamaydi va elektrodlar orasida shixtani qizdiradigan elektr yoyi vujudga keladi.

Plazma prinsipi. Texnikada past temperaturali plazma deb ataladigan plazma ishlatiladi. Uni gaz oqimida katta quvvatli qisilgan elektr yoyi hosil qilib olinadi. Yoy zonasiga beriladigan neytral gaz (masalan, argon) bamisoli elektronlar va ionlarga parchalanadi. Ularning o'zi qizdirish uchun foydalaniladigan plazma oqimini hosil qiladi.

Elektron-nur prinsipi. Qizdirish vakuumda elektronlar oqimi bilan amalga oshiriladi. Elektronlar yuqori kuchlanish ta'siri ostida katoddan chiqib ketadi va yuqori tezlikda anoddagi qizdiriladigan materialni bombardimon qilib, unga o'z energiyasini beradi.

Elektr energiyani issiqlik energiyasiga aylantirishning u yoki bu prinsipi asoslangan qarshilikli elektr qizdirishning konkret usullarini ko'rib chiqamiz.

Qarshilikli elektr qizdirish. Qarshilikli elektr qizdirishning bir nechta usullari mavjud: bevosita, bilvosita, koaksial, tuzli vannaning qarshiligi bilan qizdirish va elektr shlak usuli.

Bevosita qizdirish o'zining texnologik sxemasiga ko'ra juda sodda (18- a rasm). Qizdiriladigan o'tkazgichning qarshiligini quyidagi formula bo'yicha hisoblab topish mumkin:

$$R = \rho \frac{L}{S},$$

bu yerda: ρ — solishtirma elektr qarshilik, $\text{Om} \cdot \text{m}$ ($\text{Om} \cdot \text{sm}$ yoki $\text{Om} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$); L — o'tkazgich uzunligi, m; S — o'tkazgichning yuzi, mm^2 .

Elektr qarshilikli bevosita qizdirish termik usulda ishlash uchun yoki suyuq metallni yopiq kanalda qizdirish uchun qo'llaniladi. Metallarning solishtirma elektr qarshiligi juda kichik bo'lishi bu usulning kamchiliklaridandir, shuning uchun past kuchlanishdan foydalanishga to'g'ri keladi, bu esa tok o'tkazadigan muhitda katta yo'qotishlarga sabab bo'ladi.

Bilvosita qizdirishda qarshilik elementi metallning o'zi emas, balki katta solishtirma elektr qarshilikka ega bo'lgan materialdan tayyorlangan maxsus element hisoblanadi (18- b rasm).

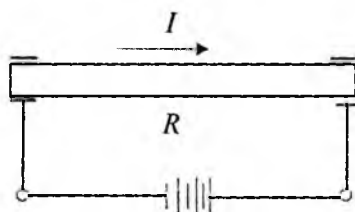
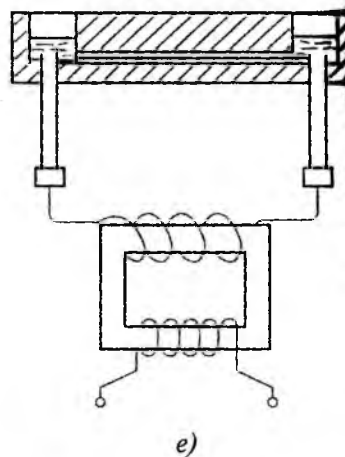
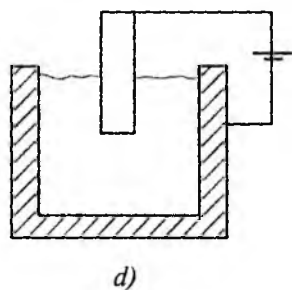
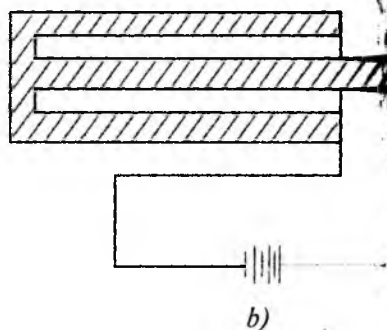
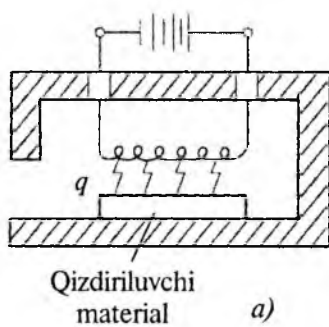
Bunday qizdirish usulida iqtisodiy jihatdan foydali bo'lgan kuchlanishdan foydalaniladi, lekin qizdiriladigan materialga issiqlikning hammasi emas, balki ma'lum qismi uzatiladi:

$$dq = I^2 \cdot R \cdot d\tau = \frac{m_m \cdot C_m \cdot \Delta t_m}{\eta_i},$$

bu yerda: η_i — issiqlikning FIK; m_m , C_m — qizdiriladigan metallning massasi va issiqlik sig'imi; Δt_m — uning temperaturasining o'zgarishi.

Elektr xarakteristikalarining qizdiriladigan metall xossalariga bog'liq emasligi bu usulning afzalligidir, shu sababli, undan quymakorlikda termik qizdirish va quritish pechlarida keng foydalaniladi.

Koaksial usul shundan iboratki, unda elektr toki ikkita yaqin va o'qdosh joylashgan hamda ketma-ket ulangan o'tkazgichlardan o'tkaziladi (18- d rasm). O'tkazgichlar bunday joylashganda va ulanganda magnit maydon tarqalib ketmaydi, balki konsentratsiyalanadi. Magnit



18- rasm. Qarshilik usulida elektr energiya issiqligini generatsiyalash sxemasi.

maydon bo'yo o'tkazgichlar orasidagi tirqishda berkitib qo'yilgandek bo'lishi Vujudga keladigan effektlar natijasida o'tkazgichlarning aktiv qarshiligi 10–20 marta ortadi (tajriba ma'lumotlariga ko'ra), bu hol o'tkazgichlar uchun odatdagi materiallar (masalan, Ст 3) dan foydalanishga imkon beradi.

Tuzli vanna qarshiligi vositasida qizdirish. Faqat qattiq jismlar emas, balki suyuqliklar ham (ion o'tkazuvchanlik) qarshilik elementi bo'lishi mumkin. Bunday suyuqliklar jumlasiga suyultirilgan tuzlar va suyuq shlaklarni kiritish mumkin. Bu usulga zagotovkani potash yoki o'yuvchi kaliy eritmasida *elektrolitik qizdirishni* misol sifatida keltirish mumkin (18- e rasm).

Elektr shlak usuli suyuq shakli suyuqlanmalarning ion o'tkazuvchanligiga asoslangan (18- f rasm).

Kiyevdagi Y.O.Paton nomli elektr payvandlash institutida payvandlash jarayonlari uchun birinchi bo'lib ishlab chiqilgan. Bu usul elektr o'tkazuvchi shlak yordamida qayta suyuqlantirishda va po'lat hamda boshqa qotishmalarni quyishda keng qo'llaniladi.

Induksion elektr qizdirish induksion pechlarning ikkita — kanal va tiqel tiplari amalga oshiriladi (19- rasm).

Kanal tipidagi pech o'zining ishlash prinsipi jihatidan elektr transformatoridan iborat bo'lib, uning kanalidagi suyuq metall ikkilamchi chulg'am bo'lib xizmat qiladi. Ayni holda ikkilamchi chulg'am bir yo'la bu o'ziga xos transformator uchun nagruzkadan ham iborat bo'ladi (19- a rasm).

Birlamchi chulg'amdanda o'tadigan birlamchi I_1 tok o'zgaruvchan magnit maydon hosil qiladi, bu maydon, asosan, alohida po'lat listlardan to'plangan o'zakda konsentratsiyalanadi. Bunda magnit yurituvchi kuch yuzaga keladi, uning kattaligini quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

$$\Theta = 0,4\pi \cdot I_1 \cdot \omega_1,$$

bu yerda ω_1 — birlamchi chulg'am o'ramlarining soni.

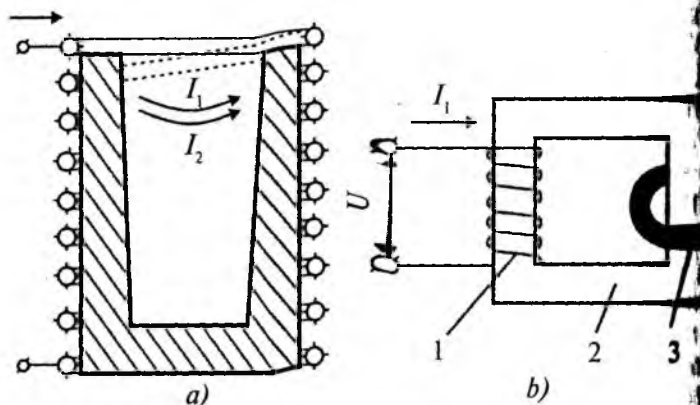
O'zgaruvchan elektr toki hosil qilgan Φ magnit oqimi o'zgaruvchan tok chastotasiga muvofiq vaqt bo'yicha o'zgaradi. Magnit maydonda joylashtirilgan o'tkazgichda elektromagnit induksiya qonuniga muvofiq EYK (elektr yurituvchi kuch) vujudga keladi:

$$E = \frac{d\Phi}{dt}.$$

Transformatorning har bir o'ramida vujudga keladigan EYK quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$e = 4,44 \Phi \cdot f \cdot \omega_2,$$

bu yerda f — magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarish chastotasi.



19- rasm. Elektr energiyani issiqlik energiyasiga aylantirishning va induksion tigeli (b) prinsiplari:

1 – birlamchi chulg'am, 2 – o'zak, 3 – ikkilamchi chulg'am (kanal)

Umumiy EYK ikkilamchi zanjirda induksiyalanadi:

$$E_2 = 4,44 \Phi \cdot f \cdot \omega_2$$

Transformatorning umumiy nazariyasiga muvofiq

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Binobarin, ikkilamchi zanjirdagi elektr toki

$$I_2 = I_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

ni tashkil qiladi, ya'ni birlamchi zanjirdagi tokdan ancha ko'p

Issiqlikning bevosita ajralib chiqishi endi kanalidagi metall ikkilamchi tokning o'tishi natijasida sodir bo'ladi:

$$dQ = I_2^2 \cdot R \cdot d\tau$$

Induksion tigeli pech ham elektr energiyani dastlab elektr energiyaga, so'ngra esa qaytadan elektr energiyaga aylantirish bo'yicha ishlaydi (19- b rasm), lekin kanal tipidagi pechdan oqimini «ikkilamchi» chulg'amga konsentratsiyalangan tarzda y beroladigan o'zakning bo'lmasligi bilan farqlanadi. Mazkur uning rolini tigeldagi metall massasi o'ynaydi. EYK ikkilamchi hosil bo'ladi:

$$e = a \cdot \Phi \cdot f,$$

bu yerda a – tok o'zgarish egri chizig'ining shakl koeffitsiyenti

Ushnatilishi I_1 tok pech indikatorini orqali o'tib o'tirishlar parallel tekislikda I_2 uyurmaviy tokni vujudga keltiradi. Ushnatilishning ko'rsatishicha, katta pechlardagi tok chastotasi quyidagicha mumkin:

$$f_{\min} \geq \frac{25 \cdot 10^8 \cdot \rho_2}{d^2},$$

bu yerda $f_{\min}$ — tokning minimal chastotasi, Hz; ρ_2 — suyuqlanishning solishtirma elektr qarshiligi, $\text{Om} \cdot \text{sm}$; d — sadki diametri, sm.

Shunday qilib, $d = 0,1$ m diametrlilik kichik pechlarda uchun $f_{\min} = 4750$ Hz, $d = 1$ m bo'lgan katta pechlarda uchun esa $f_{\min} = 47,5$ Hz, shuning uchun diametri 1 m ga yaqin pechlardan boshlab sanoat tokidan (50 Hz) foydalanish mumkin. So'nggi yillarda pechlardan tobora ko'p foydalanilmoqda.

Yoy usulida qizdirish. Elektr yoy yoki yoy razryadi — bu elektr razryad turlaridan biridir. Elektr yoy, odatda, qizdirishni qisqa muddatga tekkizib va bug'lanish hisobiga oraliqni qizdirib hosil qilinadi.

Ushnatilish usulidan farqli o'laroq, yoy o'zgarmas tok bilan ham, o'zgaruvchan tok bilan ham hosil qilinishi mumkin. Musbat ionlar katodga keladi va unda qisman o'tirib qoladi. Shu sababli, ionlar qizdiriladi.

Elektr razryad toki (o'zgarmas) quyidagi formula bo'yicha aniq-

$$I_{\text{yo.r}} = \rho \cdot v \cdot S,$$

bu yerda ρ — razryadlarning hajmiy zichligi; v — ularning siljish tezligi; S — yoyning ko'ndalang kesim yuzi.

Yoy bevosita va bilvosita bo'ladi. Bevosita yoy elektrod bilan bevosita, bilvosita yoy esa ikkita elektrod orasida yonadi. Yoyning quvvat quyidagicha tashkil qiladi:

$$W_{\text{yo.r}} = E \cdot I_{\text{yo.r}},$$

bu yerda E — EYK.

Yoy yotmayotganida bu quvvat issiqlikka aylanadi:

$$Q = W_{\text{yo.r}} \cdot \eta.$$

O'zgaruvchan tok yoyi uchun kuchlanish (razryadning EYK) va tok, asosan, sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi.

O'zgaruvchan tok chastotasiga ega elektrodlar navbatma-navbat qizdiriladi va katod vazifasini o'taydi. Bunga muvofiq, ionizatsiya va reionizatsiya jarayonlari o'tadi, termoelektron emissiya ortadi va

kamayadi hamda yoy oralig'ida kuchlanish o'zgaradi. Buning
yoy razryadining dinamik volt-ampere xarakteristikasi o'zgaradi.

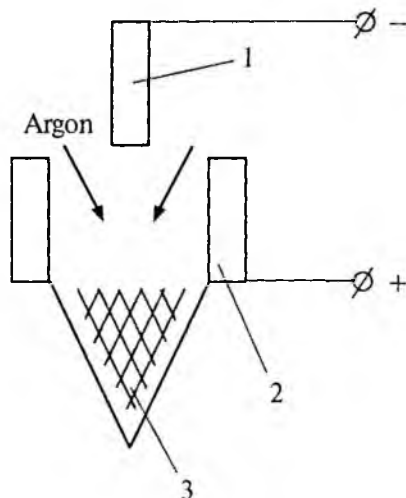
Plazma vositasida qizdirish. Sanoat plazmatronlarida (20-rasm) temperaturasi 30000 K gacha va ionizatsiyalanish darajasi yuqori bo'lgan «sovuq» plazmadan foydalaniladi. Bunday ionizatsiya darajasiga, masalan, vodorod uchun $T = 2500 \text{ K}$ da ($\alpha = 1,66 \cdot 10^{-2}$) mumkin.

Past temperaturali sanoat plazmasi gaz oqimi va magnit maydon bilan stabilizatsiya qilingan yuqori kuchlanishli elektr yoy vositasida qizdiriladi. Plazma bilan qizdirish bir qator metallurgik jarayonlar uchun konsentratsiyali energiya olishga imkon beradi.

Elektron-nur yordamida qizdirish. Suyuqlantirish pechlarida qizdirishning bu usulidan nisbatan yaqinda (15–20 yil) foydalanish boshlandi. U jarayonning yuqori darajada toza bo'lishini ta'minlaydi, chunki suyuqlangan yoki ishlov beriladigan materialni bombalar bilan qizdirish qiladigan tezlatilgan elektronlar hisobiga vakuumda bajariladi. Tezlashtiruvchi potentsiallar farqi ta'siri ostida tezlatilgan elektronlar dastasining kinetik energiyasini (21-rasm) formula bo'yicha hisoblash mumkin. Bitta elektron uchun u quyidagini tashkil qiladi:

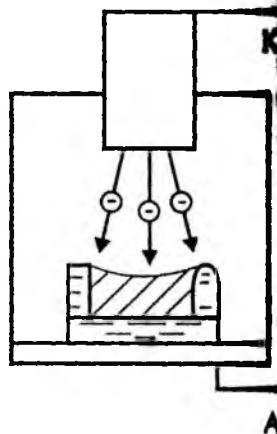
$$P = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

bu yerda: m – elektron massasi; v – elektron tezligi.



20-rasm. Plazmatron sxemasi:

1 – volframli katod; 2 – suv bilan sovutiluvchi mis anod; 3 – plazma.



21-rasm. Elektron-nur qizdirish sxemasi.

1 s ichida ajraladigan quvvat

$$P = n \cdot \frac{m v^2}{2} = n \cdot e \cdot U_{\text{tez-sh}} = I \cdot U_{\text{tez-sh}},$$

qiladi, bu yerda: e – elektron zaryadi, I – elektronlar tezlashtiruvchi potensial.

3.2. Pechlarda gazlar harakati

3.2.1. Bosimning statikasi va dinamikasining asosiy tushunchalari

Bosimning geometrik, pyezometrik va dinamik turlari bir-biridan farqlanadi.

Geometrik bosim – bu yerning tortishish maydonida bo‘lgan solishtirma potensial energiyasidir. Bosimning bu turi gazning og‘irligi havoning solishtirma og‘irligidan tafovutlangan bo‘ladi (22- rasm). Masalan, p_1^h va p_1^g – havoning balandliklardagi bosimi, $\gamma_1^h = \gamma_1^g$.

Agar H – deyak ($H = 80$ m chegaralarida bu mumkin). Unda geometrik bosim quyidagicha bo‘ladi:

Yuqori muhitda $p_1^g = p_1^h + H \cdot \gamma^g$;

Past muhitda $p_2^g = p_2^h + H \cdot \gamma^h$.

Bosimlarning ayirmasi geometrik bosimning o‘zi bo‘ladi:

$$h_{\text{geom}} = p_2^h - p_1^g = H (\gamma^h - \gamma^g) = H (\rho^h - \rho^g) \cdot g.$$

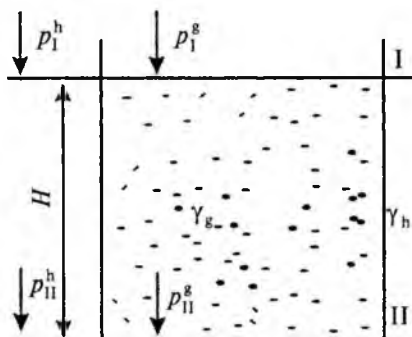
Pyezometrik bosim berk idishdagi gazning bosimi bilan atrofdagi bosimning ayirmasidan iborat. Bosimning bu turi statik bosim bo‘ladi.

Bosimning geometrik va pyezometrik turlari o‘zaro bog‘liq. Shu aniqroq qilib aytganda, geometrik bosim pyezometrik bosim yaratadi.

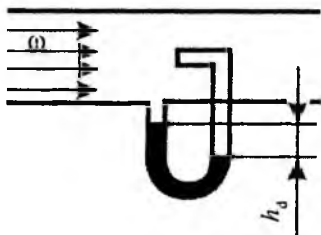
Shunday qilib,

$$h_{\text{pyez}} = H (\gamma^h - \gamma^g).$$

Dinamik bosim gazning harakati natijasida hosil bo‘ladi va gazning kinetik energiyasini ifodalaydi (23- rasm):



22- rasm.



$$h_d = \frac{\omega^g}{2} \cdot \gamma^g,$$

bu yerda: ω^g – temperatura t^g da gaz harakatining tezligi, m/s; γ^g – temperatura t^g dagi gazning solish tirma og'irligi, kg/m³.

$$h_d = \frac{\omega_0^g}{2} \cdot \rho_0 (1 + \alpha t),$$

23- rasm. Dinamik bosimning hosil bo'lish sxemasi.

bu yerda: ω_0 va ρ – normal fizik sharoitlarda gazning tezligi va zich-

ligi, tegishlicha m/s va kg/m³; α – temperaturaviy kengayish koef-fitsiyenti.

Bosimlarning o'zaro bog'lanishi *Bernulli tenglamasi* yordamida ifodalanadi. Bu tenglama gazning barqaror oqimida ideal sharoitlar uchun (I va II kesim orqali gaz sarfi $V_1^g = V_II^g$) quyidagi ko'rinishga ega:

$$h_{geom} + h_{pez} + h_{din} = \text{const}, \quad (3.17)$$

ya'ni

$$h_{geom}^I + h_{peyz}^I + h_{din}^I = h_{geom}^{II} + h_{peyz}^{II} + h_{din}^{II}. \quad (3.18)$$

Pechlar, gaz yo'llari, truboprovodlarning real sharoitlarida gaz o'z yo'lida turli qarshiliklarga duch keladi, ularni yengib o'tishda bosim yo'qotiladi. Bosimning ishqalanishga va mahalliy qarshilikka yo'qotilishi bir-biridan farqlanadi.

Ishqalanish natijasida yo'qotiladigan bosim quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$h_{yo'q.}^{ishq.} = \lambda \frac{L}{d_g} \cdot \frac{\omega^2}{2g} \cdot \gamma \quad (3.19)$$

yoki

$$h_{yo'q.}^{ishq.} = \lambda \frac{L}{d_g} \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (3.20)$$

bu yerda: λ – ishqalanish koeffitsiyenti; L – truboprovod uzunligi; d – truboprovodning gidravlik diametri.

$$d_g = \frac{4F}{P},$$

bu yerda: P – perimetr va F – kanal yuzasi.

11-ubun

$$d_g = \frac{4\pi d^2}{4\pi d} = d.$$

Mahalliy qarshiliklarda bo'ladigan yo'qotishlar

$$h_{yo'q.}^{m.q.} = \xi \frac{\omega^2}{2g} \cdot \gamma, \quad (3.21)$$

$$h_{yo'q.}^{m.q.} = \xi \frac{\omega_0^2}{2g} \cdot \gamma_0 (1 + \alpha t), \quad (3.22)$$

$$h_{yo'q.}^{m.q.} = \xi \frac{\omega_0^2}{2} \cdot \rho (1 + \alpha t), \quad (3.23)$$

bu yerda ξ — tajriba yo'li bilan aniqlanadigan mahalliy qarshilik ko'rsatkichi.

Gazlarning Bernulli tenglamasi deb ataladigan harakat tenglamasi real sharoitlar uchun quyidagi ko'rinishga ega:

$$h_{geom}^I + h_{pyez}^I + h_{din}^I = h_{geom}^{II} + h_{pyez}^{II} + h_{din}^{II} + h_{yo'q.}^{\Sigma}, \quad (3.24)$$

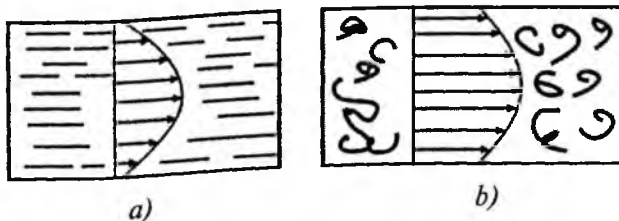
bu yerda

$$h_{yo'q.}^{\Sigma} = h_{yo'q.}^{ishq} + h_{yo'q.}^{m.q.}$$

Pechlardagi gazlarning harakati

Gazlarning harakatlanish xarakteri uning tezligiga, gaz harakatlanadigan kanalning o'lchamlariga va shu gazning o'zining xossalriga (asosan, qovushoqligiga) bog'liq.

Harakat laminar yoki turbulent bo'lishi mumkin. Laminar harakatda gaz oqimi parallel va to'g'ri chiziqli harakatlanadi. Oqim tezligi devorlar yaqinida eng kichik (nolga teng) va o'rtada juda katta bo'ladi (24- rasm). Turbulent harakatda gazning ayrim oqimlari uyurlanadi.



24- rasm. Gazlarning laminar (a) va turbulent (b) harakatlari sxemasi.

Pechlarda gazlar, odatda, turbulent harakatlanadi. Harakatlanish rejimi Reynolds kriteriyi kattaligi bilan aniqlanadi:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_g}{\nu}, \quad (3.25)$$

bu yerda: ω – tezlik, m/s; d_g – gidravlik diametr, m; ν – kinematik qovushoqlik, m²/s.

$Re > 3320$ da harakatlanish rejimi turbulent bo'lishi aniqlangan, ya'ni

$$\omega_{kr} = \frac{2320 \nu}{d_g}. \quad (3.26)$$

O'xshashlik nazariyasi va pechlardagi gazlar harakatini modellash haqida asosiy tushunchalar. Modellashda o'xshashlik tushunchasi geometrik o'xshashlikka asoslangan:

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BC}{B'C'} = \frac{CA}{C'A'} = C_l, \quad (3.27)$$

bu yerda C_l – chiziqli o'lchamning o'xshashlik konstantasi.

$$C_l = \frac{l_1}{l'_1} = \frac{l_2}{l'_2}. \quad (3.28)$$

Yuza uchun o'xshashlik konstantasi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$C_f = \frac{l_1 \cdot a_2}{l'_1 \cdot a'_2} = \frac{l_2 \cdot a_2}{l'_2 \cdot a'_2} = C_l \cdot C_a = C_l^2.$$

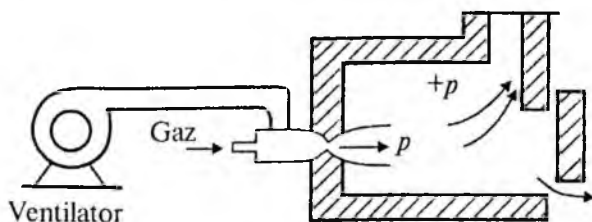
Hajm uchun ham u shunga o'xshash aniqlanadi.

Shunday qilib, o'lchamlar, yuzalar va hajmlarni modellash o'xshashlik konstantalarining qabul qilingan kattaliklariga muvofiq bajariladi. U yoki bu hodisa to'g'risida fikr yurgizish uchun bu hodisalarni xarakterlovchi kriteriylarni bilish zarur. Gazlar harakati uchun bu Reynolds kriteriyi (Re) dir, ya'ni o'xshashlik sharti $Re = idem$ (bir xil):

$$Re = \frac{\omega \cdot d_g}{\nu} = idem. \quad (3.29)$$

Pech gazodinamikasining harakatlantiruvchi kuchlari. Gazning tabiiy harakatlanish sababi – gazning va atrofdagi havoning solishtirma og'irligi orasidagi tafovut natijasida vujudga keladigan geometrik bosimdir (25- rasm).

Pechlarda gazlarning majburiy harakatlanish sababi – musbat yoki manfiy bosim hosil bo'lishidir. Pechda manfiy bosim yo tutunso'rgich, yo tutun trubasi vositasida vujudga keltiriladi:



25-rasm. Pech gazlarini harakatlantiruvchi kuchlarning hosil bo'lish sxemasi.

$$-h_{geom}^{III} = -p_{pech}^I = H_3 (\gamma_h - \gamma_g),$$

$$h_{geom}^{II} = H_g (\gamma_h - \gamma_g),$$

$$p_{pech}^{II} = h_{geom}^{II} - p_{pech}^I = H_g (\gamma_h - \gamma_g) - H_3 (\gamma_h - \gamma_g).$$

Bundan pechda truba balandligidan pastda joylashgan barcha balandlikda gaz-havo aralashmasining siyraklanishi sodir bo'ladi.

Gazning pechdagi teshik orqali oqib chiqishi (26-rasm). Gazlarning harakat tenglamasi yoki Bernulli tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$h_{geom}^I + h_{pyez}^I + h_{din}^I = h_{geom}^{II} + h_{pyez}^{II} + h_{din}^{II},$$

$$h_{geom}^I = h_{geom}^{II},$$

$$h_{din}^I = 0.$$

Agar gazlar pechdagi teshik orqali atmosferaga oqib chiqsa, unda

$$h_{pyez}^{II} = 0,$$

$$h_{pyez}^I - h_{pyez}^{II} = \Delta p$$

bo'ladi, bu yerda Δp — bosimlar ayirmasi, bu bosim ta'siri ostida gazlar oqib chiqadi. Umumiy holda

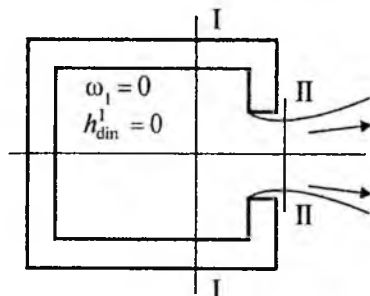
$$h_{pyez}^I = h_{pyez}^{II} + h_{din}^{II}$$

yoki

$$h_{pyez}^I = h_{pyez}^{II} + \frac{\omega_2^2}{2g} \cdot \gamma.$$

Bundan

$$\omega_2 = \sqrt{2g \frac{h_{pyez}^I - h_{pyez}^{II}}{\gamma_g}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\gamma_g}}.$$



26-rasm. Gazning pechdagi teshik orqali oqib chiqishi sxemasi.

Teshikdan oqib chiqadigan gaz miqdori

$$V = \varphi \cdot S \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\gamma_g}},$$

bu yerda: φ — gazning teshik orqali o'tayotganida paydo bo'ladi qarshilikni hisobga oluvchi sarf koeffitsiyenti; S — teshik yuzi.

3.3. Pechlarda issiqlik uzatilishi

Asosiy tushunchalar va ta'riflar

Yoqilg'i yondirish yoki elektr energiyadan foydalanish yo'li bilan pechda generatsiyalanadigan issiqlik energiyasi isitiladigan jismlarga uzatiladi. Isitilayotgan materialda, masalan, induksion elektr pechlarida bevosita issiqlik energiyasining ajralib chiqishi bundan mustasnodir.

Issiqlik energiyasining uzatilishi temperaturalar farqi bo'lgandagina amalga oshiriladi. Bu termodinamika ikkinchi qonunining xususiy hol uchun ta'rifidir.

Pechlarda issiqlik uzatish eng muhim ahamiyatga ega, chunki jarayonning o'zi issiqlik uzatilishi hisobiga sodir bo'ladi, va u qanchalik effektiv bo'lsa, butun jarayon ham shunchalik effektiv bo'ladi. Bundan tashqari, issiqlik uzatish pechdagi issiqlik yo'qotishlarni, binobarin, uning FIK va tejamliligini aniqlaydi.

Issiqlik uzatish yoki issiqlik almashinish fazoda issiqlik tarqalishining qaytmas jarayonidan iborat, ya'ni muhitning alohida elementlari, jismlari yoki zonalar orasida ichki energiya bilan almashinuv bo'ladi. Issiqlikning ko'chishi issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya va issiqlik nurlanish yordamida amalga oshiriladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik jismlarda yoki ular orasida issiqlikni molekular ko'chirishdan iborat bo'lib, unga qaralayotgan fazoda temperaturalarning turlicha bo'lishi sabab bo'ladi.

Konveksiya — bu fazoda suyuqlik yoki gaz hajmlarining bir temperaturali zonadan boshqa temperaturali zonaga siljishida issiqlikning ko'chish jarayonidan iborat.

Issiqlik nurlanish — bu issiqlikni nurlanish energiyasiga aylantirish hisobiga uzatish, shuningdek, elektromagnit to'lqinlar yordamida tarqatish va bu to'lqinlar boshqa jismlar tomonidan yutilib, keyinchalik bu to'lqinlar energiyasini issiqlikka aylantirishdan iborat.

Issiqlik ko'chirishning ko'pchilik jarayonlari moddalarni ko'chirish bilan birgalikda sodir bo'ladi. Masalan, metallurgik jarayonlarda — komponentlarning suyuq fazadan gazsimon fazaga va aksincha, gazsimon fazadan suyuq fazaga o'tishi yuz beradi. Bu hodisa *massa almashinuv* deb ataladi. Massa almashinuvda issiqlik almashinuv

ni murakkablashadi, chunki massani ko'chirish bilan birgalikda uning qandaydir miqdori ham ko'chiriladi. Agar issiqlik temperaturani tafovutisiz uzatilsa, hodisa *diffuzion termoeffekt* deb ataladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik yordamida issiqlik uzatish

Ma'lumki, issiqlik o'tkazuvchanlik temperaturalar tafovuti bo'linadigan issiqlikni molekular ko'chirishdan iborat. Bundan fazoda vaqt ichida temperaturalar ayirmasi issiqlik o'tkazuvchanlikning xarakteristik manzarasini aks ettirishi kelib chiqadi. Jism yoki muhitda temperaturalar taqsimoti temperatura maydoni bilan xarakterlanadi. Bu maydon statsionar yoki nostatsionar, fazoviy yoki uch o'lchamli, bir o'lchamli yoki bir o'lchamli bo'lishi mumkin.

Issiqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik yordamida uzatilishi Fure qonuni bilan tavsiflanadi. Bu qonunga muvofiq, $d\tau$ vaqt oralig'ida izotermik yuza elementi orqali o'tadigan dQ_τ issiqlik miqdori $\partial t/\partial n$ temperatura gradiyentiga proporsional bo'ladi:

$$dQ_\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau. \quad (3.30)$$

λ proporsionallik koeffitsiyenti moddaning fizik xarakteristikasi bo'lganligi tajriba yo'li bilan aniqlangan. Bu koeffitsiyentni *issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti* deb ataladi.

Vaqt birligi ichida izotermik yuzaning birlik maydoni orqali o'tadigan issiqlik miqdori *issiqlik oqimining zichligi* deb ataladi. U quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$q = \frac{dQ_\tau}{dF \cdot d\tau}. \quad (3.31)$$

Issiqlik oqimining zichligi izotermik yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan vektordir:

$$\vec{q} = -\vec{n}_0 \cdot \lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (3.32)$$

Issiqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik orqali uzatilishi umumiy holda issiqlik uzatuvchanlikning differensial tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c \cdot \rho}, \quad (3.33)$$

bu yerda: q_v — ichki manbalardan keladigan oqim zichligi, kW/m²; c — muhitning issiqlik sig'imi, kJ/(m³ · °C); ρ — muhitning zichligi, kg/m³;

$\frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ — temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (a orqali belgilanadi);

$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$ — Laplas operatori (∇^2 orqali belgilanadi).

Qiymatlarni o'z joyiga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{c \cdot \rho}. \quad (3.34)$$

Agar ichki issiqlik manbalari bo'lmasa, u holda

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t. \quad (3.35)$$

Statsionar temperatura maydoni uchun

$$\nabla^2 t = 0. \quad (3.36)$$

Ushbu tenglama issiqlik uzatishning statsionar jarayoni uchun *issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi* deb ataladi. Bu tenglamadan foydalanib, konkret hollarda uni hisoblash uchun formulalar chiqarish mumkin. Masalan, statsionar rejimda va ichki issiqlik manbalari bo'lmaganda issiqlikni bir jinsli yassi devor orqali uzatishda issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi (3.36) ko'rinishga ega bo'ladi. Birinchi va uchinchi tur issiqlik uzatishning chegaraviy shartlarini ko'rib chiqamiz:

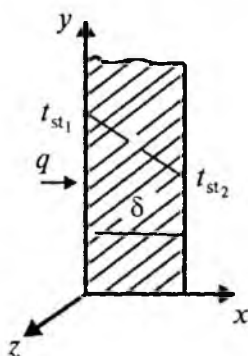
a) Birinchi tur chegaraviy shartlar (27-rasm):

$$\lambda = \text{const}, \quad t_{st1} \text{ va } t_{st2} = \text{const}, \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0.$$

Binobarin, issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi (3.36) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0.$$

$$x = 0 \text{ da } t = t_{st1}; \quad x = \delta \text{ da } t = t_{st2}.$$



Bu tenglamaning birinchi integrallanishi quyidagini beradi:

$$\int \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial t}{\partial x} = C_1.$$

Ikkinchi marta integrallash natijasida quyidagiga ega bo'lamiz:

$$t = C_1 \cdot x + C_2,$$

ya'ni t devorning qalinligi bo'yicha chiziqli o'zgaradi.

$$x = 0 \text{ da } C_2 = t_{st1} \text{ bo'ladi,}$$

$$x = \delta \text{ da } C_1 = -\frac{t_{st1} - t_{st2}}{\delta}.$$

27-rasm. Birinchi tur chegaraviy shartlarda issiqlik o'tkazuvchanlik sxemasi.

Solishtirma issiqlik oqimi Fure qonuniga muvofiq $q = \lambda \frac{\partial t}{\partial x}$ tenglama yordamida aniqlanadi. $\frac{\partial t}{\partial x} = C_1 = \frac{t_{st1} - t_{st2}}{\delta}$ ni qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{st1} - t_{st2}). \quad (3.37)$$

b) Uchinchi tur chegaraviy shartlar nuqtaq devor orqali issiqlik uzatishni, balki issiqlikni devorga berish va undan olinishini ham hisobga oladi (28-rasm). Devordan atrofdagi muhitga issiqlik berish jarayoni Nyuton-Rixman qonuni yordamida tavsiflanadi:

$$q = \alpha (t_{st} - t_s), \quad (3.38)$$

bu yerda: α — issiqlik berish koeffitsiyenti; t_s — issiqlik uzatish amalga oshiriladigan (yo muhitga, yo undan) muhit (suyuqlik) temperaturasi.

Qizdirilgan suyuqlikdan devorga beriladigan issiqlik oqimining zichligi (3.38) ga muvofiq

$$q = \alpha_1 (t_{s1} - t_{st1}) \quad (3.39)$$

bo'ladi. Statsionar issiqlik rejimida shu issiqlik oqimining o'zi devor orqali o'tadi (3.37 ga q.):

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{st1} - t_{st2}). \quad (3.40)$$

So'ngra issiqlik oqimi t_{s2} temperaturali muhitga beriladi:

$$q = \alpha_2 (t_{st2} - t_{s2}). \quad (3.41)$$

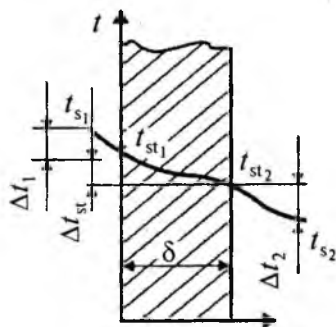
(3.39)–(3.41) larni qo'shib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$q = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

bu yerda $\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k$ — issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

Nurlanish yo'li bilan issiqlik uzatish

Nurlanish yo'li bilan issiqlik uzatish uchta ketma-ket bosqichdan iborat: issiqlik energiyasini nurlanish energiyasiga, ya'ni issiqlik nurlariga aylantirish; issiqlik nurlarini fazoda uzatish va ularni nurla-



28-rasm. Uchinchi tur chegaraviy shartlarda issiqlik o'tkazuvchanlik sxemasi.

nish priyomnigida qaytadan issiqlikka aylantirish. Issiqlikni bunda uzatish turi Stefan—Bolsman qonuni bilan tavsiflanadi, unga muvofiq absolut qora jismning nur sochish qobiliyati absolut temperaturaning to'rtinchi darajasiga proporsional:

$$E_s = C_s \cdot T^4, \quad (3.4)$$

bu yerda C_s — absolut qora jismning nur sochish koeffitsiyenti;

$$C_s = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ kkal/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot \text{K} \text{ yoki } 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4.$$

Absolut qora bo'lmagan (kulrang) jismlar uchun

$$E = \varepsilon \cdot C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (3.4)$$

bunda ε — jismning qoralik darajasi. Bu yerda $C = 5,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Konveksiya yo'li bilan issiqlik uzatish

Konvektiv issiqlik almashish tushunchasi suyuqlik yoki gaz harakatlanayotganidagi issiqlik almashinish jarayonini o'z ichiga oladi. Bunda issiqlikni ko'chirish bir yo'la konveksiya va issiqlik o'tkazuvchanlik bilan amalga oshiriladi. Konveksiya deganda, suyuqlik yoki gaz makrozarrachalarining fazodagi muayyan temperaturali zonadan boshqa temperaturali zonaga siljishidagi issiqlik ko'chishi tushuniladi. Konveksiya faqat oqadigan muhitda sodir bo'lishi mumkin, chunki bunday muhitda issiqlikning ko'chishi muhitning o'zining ko'chishi bilan chambarchas bog'liq [13].

Agar vaqt birligi ichida kontrol yuza birligi orqali unga nisbatan tik yo'nalishda $\rho \cdot \bar{\omega}$ suyuqlik massasi o'tsa, u holda u bilan birgalikda

$$\bar{q}_k = \rho \bar{\omega} h, \quad (3.44)$$

issiqlik oqimi zichligi ko'chadi; bu yerda: ρ — suyuqlik zichligi, kg/m^3 ; $\bar{\omega}$ — suyuqlikning harakatlanish tezligi, m/s ; h — suyuqlik entalpiyasi, J/kg .

Issiqlik konveksiyasi har doim issiqlik o'tkazuvchanlik bilan birga sodir bo'ladi, chunki suyuqlik yoki gaz harakatlanganda turli temperaturalariga ega bo'lgan alohida zarrachalar bir-biriga tegadi. Konveksiya natijasida quyidagi tenglama bilan tavsiflanadigan issiqlik almashinish sodir bo'ladi:

$$\bar{q} = \bar{q}_i + \bar{q}_k = -\lambda \nabla^2 t + \rho \bar{\omega} h. \quad (3.45)$$

Bu yerda $\bar{q}$ — konvektiv issiqlik almashinish hisobiga issiqlik oqimi zichligining lokal (mahalliy) qiymati. (3.45) tenglama o'ng qismining birinchi hadi issiqlikning issiqlik o'tkazuvchanlik orqali, ikkinchi hadi uning konveksiya yo'li bilan ko'chishini tavsiflaydi.

Suyuqlik yoki gaz oqimlari va unga tegib turuvchi jism yuzasi orasidagi konvektiv issiqlik almashinish *konvektiv issiqlik* uzatish shakli oddiygina *issiqlik* deb ataladi. Injenerlik hisoblarida ko'pincha issiqlik berishni aniqlashga to'g'ri keladi. Bunda suyuq muhit ichida konvektiv issiqlik almashinishni bilish bilvosita qiziqish uyg'otishi mumkin, chunki issiqlikning suyuqlik ichida ko'chishi issiqlik berishda ham o'z aksini topadi. Issiqlik berishni hisoblashda Nyuton—Rixman qonuni (3.38) dan foydalaniladi. α issiqlik berish koeffitsiyenti (3.38) ko'p faktorlarga bog'liq bo'ladi. Umumiy holda α jismning shakl va o'lchamlari, suyuqlikning harakatlanish rejimi, harakatlanish tezligi va temperaturasi, uning fizik parametrlari hamda boshqa kattaliklarning funksiyasi hisoblanadi. Issiqlik berish jarayonining o'tishi suyuqlik harakatining vujudga kelish tabiatiga bog'liq [14].

Erkin va majburiy konveksiya bir-biridan farq qiladi. Erkin harakatlanishda suyuqlikning ko'rib chiqilayotgan hajmida bir jinslilik bo'lmashligi hisobiga unda massaviy kuchlar vujudga keladi. Agar temperaturasi, binobarin, zichligi ham bir xil taqsimlanmagan suyuqlik Yerning tortish kuchi maydonida bo'lsa, erkin gravitatsion harakat vujudga kelishi mumkin.

Majburiy konveksiyada ko'rib o'tilayotgan suyuqlik hajmining harakati uning chegaralarida oldindan berilgan kinetik energiya hisobiga (masalan, nasos, ventilator, shamol ishi) tashqi sirt kuchlari ta'siri ostida sodir bo'ladi.

Konvektiv issiqlik almashinishning differensial tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial t}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial t}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \nabla^2 t + \frac{q_v}{\rho \cdot c}. \quad (3.46)$$

Differensial tenglamalarni yechish murakkab bo'lgani sababli, real sharoitlar uchun ko'pincha empirik yo'l bilan olingan kriterial ifodalardan foydalaniladi:

$$N_u = f(Re, Pr), \quad (3.47)$$

bu yerda: $N_u = \frac{a \cdot d}{\lambda}$ — Nusselt kriteriysi; Re — Reynolds kriteriysi;

$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}$ — Prandtl kriteriysi.

Pech ishchi bo'shlig'ining real sharoitlarida issiqlik almashinish

Pechning ishchi bo'shlig'ida yoqilg'ining yonish mahsuloti o'zining issiqligini qizdiriladigan buyumlarga, devorlarga va pech gum-baziga nur chiqarish hamda konveksiya vositasida beradi. Pech

devorlarining ichki yuzasining issiqlik o'tkazuvchanligi metallning issiqlik o'tkazuvchanligiga nisbatan kichik bo'lganligi sababli, u ancha yuqori temperaturagacha qiziydi. Temperaturalar farqi mavjudligida devorlar va gumbazdan gazlar orqali qizdirilayotgan buyumlar nurlanish vositasida issiqlik uzatiladi. Bunda pechda qizdirilayotgan metall uchta oqim hisobiga issiqlik oladi: harakatlanayotgan gazlar konveksion issiqlik oqimi; gazlarning nur sochishi va alanga nurlanish devorlar va gumbazning nur sochishi [27].

Gazlarning nur sochishi qator omillarga bog'liq: nurlanuvchi gazlar (CO_2 va H_2O) miqdori, ular qatlamining qalinligi va gazlar tarkibida maydalangan qattiq zarrachalar miqdori ortganda nur sochish ham ortadi. Yuqori temperaturali pechlar uchun devorlar va gumbazning nur sochishi ahamiyatga ega, bunda pechda qizdirilayotgan materialga uzatiladigan issiqlikning bir qismi undan qaytariladi va tutun gazlari va devor tomonidan yutiladi.

Qizdirilayotgan materialning 1 m^2 yuzasiga uzatilgan issiqlikning umumiy miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$Q = \alpha_{\Sigma}(t_g - t_m),$$

bu yerda: α_{Σ} — issiqlik berishning yig'ma koeffitsiyenti, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ yoki $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C}$; $t_g - t_m$ — gazlar va materiallarning o'rtacha-
lashtirilgan temperaturalar ayirmasi, $^\circ\text{C}$.

Shu kattalikning o'zini quyidagi formuladan ham hisoblab topish mumkin:

$$t_g - t_m = \sqrt{(t_{g.b.} - t_{m.o.})(t_{g.o.} - t_{m.o.})},$$

bu yerda: $t_{g.b.}$ — gazning boshlang'ich temperaturasi, $^\circ\text{C}$; $t_{g.o.}$ — gazning oxirgi temperaturasi, $^\circ\text{C}$; $t_{m.o.}$ — material yuzasining o'rtacha temperaturasi, $^\circ\text{C}$.

$$t_{m.o.} = \frac{t_{m.b.} + t_{m.o.}}{2},$$

bu yerda: $t_{m.b.}$ — materialning boshlang'ich temperaturasi, $^\circ\text{C}$; $t_{m.o.}$ — materialning oxirgi temperaturasi, $^\circ\text{C}$.

Issiqlik qizdirilayotgan material yuzasiga nurlanish va konveksiya yo'li bilan uzatilishi tufayli yig'ma issiqlik uzatish koeffitsiyentini quyidagi formuladan hisoblab topish mumkin:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_n + \alpha_k,$$

bu yerda: α_n — nurlanish vositasida issiqlik berish koeffitsiyenti, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ yoki $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C}$; α_k — konveksiya vositasida issiqlik berish koeffitsiyenti, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ yoki $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C}$.

Hunda

$$\alpha_n = \alpha_{n.g.} + \alpha_{n.d.},$$

yerda: $\alpha_{n.g.}$ — gazlardan nurlanish vositasida issiqlik berish koef-
fitsiyenti; $\alpha_{n.d.}$ — devordan nurlanish vositasida issiqlik berish koef-
fitsiyenti.

Issiqlik berish koeffitsiyenti devorlarning nurlanishini ham, gaz-
lardan nurlanishini ham hisobga oladi:

$$\alpha_n = \frac{C_{g.d.m.} \left[\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4 \right]}{t_g - t_m},$$

bu yerda $t_g - t_m$ va $\left(\frac{T_g}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_m}{100} \right)^4$ — gazlar va qizdiriladigan material
temperaturasining o'rtachalashtirilgan ayirmasi; $C_{g.d.m.}$ — gazlar, pech
devori va qizdiriladigan material orasidagi o'zaro nurlanishning
keltirilgan koeffitsiyenti.

$C_{g.d.m.}$ kattalik quyidagi formuladan aniqlanishi mumkin [27]:

$$C_{g.d.m.} = 4,9 \varepsilon_m \frac{1 - \varepsilon_g + \varphi}{\frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} [\varepsilon_m - \varepsilon_g (1 - \varepsilon_m) + \varphi]},$$

bu yerda: ε_g — temperatura t_g da gazning qoralik darajasi; ε_m — qizdi-
riladigan materialning qoralik darajasi; φ — g'ishtdan terilgan yuzaning
rivojlanish darajasini xarakterlaydigan kattalik, ya'ni pech devorlari
va gumbazi umumiy ichki yuzasining materialning effektiv yuzasiga
nisbati: $\varphi = F_d/F_m$.

Suyuqlantirish pechlari uchun F_m kattalik vanna sirti yuzasini,
qizdirish pechlari uchun qizdiriladigan buyumlarning pech tagiga
bo'lgan proeksiyasining yuzasini ifodalaydi.

Konveksiyaning roli katta bo'lmagan yuqori temperaturali pech-
larda (qizdirish va suyuqlantirish pechlari) hisoblashlarda quyidagini
qabul qilish mumkin:

$$\alpha_k = (0,05 - 0,10) \alpha_n.$$

Shaxta pechlaridagi issiqlik almashinuvi. Shaxta pechlarida (chu-
nonchi, vagrankalarda) oldin ko'rib o'tilgan alanga pechlaridan farqli
o'laroq, bo'sh alanga bo'shlig'i bo'lmaydi. Bu yerda ishchi bo'shliq
qizigan gazlar oqimiga qarshi harakatlanadigan shixta materiallari
bilan to'ldirilgan. Binobarin, shaxta pechi — qarama-qarshi oqimli
issiqlik almashinuv apparatidir.

Vagrankalarda gazlarning temperaturasi yonish zonasida 1600–1750 °C dan (salt kolosha) yuklash tuynugi yonida 300–500 °C gacha o'zgaradi. Vagranka shaxtasida (bu yerda yoqilg'i yonmaydi) shixta materiallarining qizishi, asosan, konveksiya hisobiga va qisman gazlarning nur sochishi hisobiga sodir bo'ladi.

Yoqilg'i yonadigan va metallning yuzasi juda yuqori temperaturalarigacha qiziydigan o'ta qizish zonasida (salt kolosha) metall tomchilari qizigan koks bo'lakchalari bo'ylab oqib tushib, qizib turgan koksning nur sochishi va unga tegib turishi, ya'ni konveksiya hisobiga ham qiziydi.

Vagrankadan qizdirilgan metall olishda issiqlik almashinuv jarayoni hal etuvchi ahamiyatga ega, bunda yoqilg'ining yonishi natijasida hosil bo'lgan issiqlik qizdirilayotgan metallga uzatiladi. Bunda metall shixta va shlak suyuqlanish temperaturasi gacha qiziydi hamda suyuqlanadi. Natijada metall va shlakning temperaturasi suyuqlanish temperaturasidan yuqori bo'ladi. Temperatura rezervidan suyuq metallni transportirovka qilish va idishlarga quyish uchun, ba'zan esa kovishda metallni oltingugurtdan tozalash, modifikatsiyalash va legirlash uchun ham foydalaniladi. Shunday qilib, eng muhim jarayonlar jumlasiga metallni qizdirish, suyuqlantirish va o'ta qizdirish kiradi.

Issiqlikni metallga uzatish jarayoni nuqtayi nazaridan vagrankani to'rtta zona bo'lish mumkin:

- qattiq metall suyuqlanish temperaturasi gacha qizdiriladigan vagranka shaxtasi;

- suyuqlanish zonasi, bu yerda metall suyuqlantiriladi;

- o'ta qizish zonasi (salt koloshaning reduksion va kislorod zonalari), bu yerda suyuq metall tomchilari suyuqlanish temperaturasidan yuqori temperaturagacha qiziydi;

- vagrankaning gorni va to'plagichi (kopilnik), bu yerda metall biroz soviydi.

Vagranka shaxtasida metall faqat suyuqlanish temperaturasi gacha qizishi mumkin. Shixtaning po'lat qismida suyuqlanish temperaturasi 1400–1500 °C chegaralarida (uglerod miqdoriga qarab) bo'lsa, cho'yanni asta-sekin qizdirganda bu temperatura 1150 °C ga yaqin bo'ladi. Cho'yan jadal suyuqlantirilganda qizish jarayonida metall massadagi grafitning hammasi erib ulgurmaydi, buning natijasida cho'yan metall massasining suyuqlanish temperaturasi ko'tarilishi mumkin.

Ma'lumki, issiqlik uzatishning konveksiya va nur sochish yo'li bilan uzatiladigan solishtirma qiymati bir-biriga tegib turgan gazlar va jismlar temperaturasi ga sezilarli darajada bog'liq bo'ladi. Shaxta pechlarida, shu jumladan, vagrankalarda issiqlik almashinuv vagranka balandligi bo'yicha gazlar va shixtaning o'zgaruvchan temperaturasi da

may bo'ladi. Shu sababdan issiqlik uzatish alohida turlarining solish-
lari qiymati vagrankaning balandligi bo'ylab o'zgaradi, buning
natijasida uni tabaqalashtirilgan tarzda hisoblab bo'lmaydi.

Metall tomchilari oqib tushadigan zonada bo'lak-bo'lak mate-
rialdagi issiqlik uzatilishini analitik yechish qiyin, chunki qattiq
jismning qizdirilayotgan bo'laklarida metall tomchilari ajralayotganda
nostatsionar issiqlik oqimi hosil bo'ladi va jismning yuzasi bilan
yadrosi orasida temperaturalar sezilarli darajada farqlanadi.

Atoqli olim B.I. Kitayev [22] tomonidan bu masalani kom-
pleks yechishga imkon beradigan metod ishlab chiqilgan. Shaxta pech-
larida issiqlik almashinuvining shu metod yordamida olinadigan hisob
ma'lumotlari amaliy natijalarga yetarli darajada yaqin.

Pechlarda gazlarning issiqlik almashinuvi suv sonlari deb ataladi-
gan son yordamida xarakterlanadi (W_g — gaz oqimining suv soni,
 W_{sh} — shixtaning suv soni). Suv soni mazkur oqimning temperaturasini
bir gradusga oshirish yoki pasaytirish uchun unga bir soatda qancha
issiqlik berish yoki undan qancha issiqlik olish kerakligini ko'rsatadi.

Vagrankada issiqlik almashinuvida quyidagi variantlar bo'lishi
mumkin:

1. $W_g > W_{sh}$. Bu holda gazda issiqlik shixta yutishi mumkin
bo'lganidan ortiq bo'ladi. Shu sababli issiqlik almashinuvi natijasida
shixta temperaturasi gazlarning boshlang'ich temperaturasiga erishadi,
gazlar esa issiqlik almashinuvidan ortiqcha temperatura bilan chiqadi.
 W_g/W_{sh} nisbat qanchalik katta bo'lsa, shaxtadan chiqishda gazlarning
temperaturasi shunchalik yuqori bo'ladi.

2. $W_g < W_{sh}$. Bunday holda gazdagi issiqlik shixta yutishi mumkin
bo'lgan issiqlikdan kam bo'ladi. Shu sababdan, issiqlik almashinuvi
natijasida gazning temperaturasi qariyb vagrankaga beriladigan metall-
ning boshlang'ich temperaturasigacha pasayadi, metall esa issiqlik
almashinuvidan gazlarning boshlang'ich temperaturasidan ancha past
temperaturagacha qizib chiqadi.

Vagranka shaxtasida odatdagidek suyuqlantirishda shixta va gazlar
suv sonlarining nisbati shunday bo'ladiki, bunda $W_g > W_{sh}$. Ushbu
holda shixta atrofdagi muhit temperaturasidan suyuqlanish tempera-
turasigacha qiziydi, gazlar esa T_k temperaturagacha soviydi. W_g/W_{sh}
nisbat qanchalik katta bo'lsa, T_k temperatura shunchalik yuqori bo'ladi.
Vagrankaning suyuqlantirish zonasida va salt kolosha qismida (bu
yerda metall tomchilarining temperaturasi suyuqlanish tempera-
turasidan ortiq bo'ladi) $W_g < W_{sh}$ va metall gazlarning temperatūra-
sidan ancha past bo'lgan temperaturagacha qiziydi.

Umuman aytganda, issiqlik uzatilishi issiqlik balansi tenglamasi
vositasida tavsiflanadi:

$$G_m \cdot c_m (t_m'' - t_m') + G_m \cdot L = k_v \cdot V \cdot \Delta t_{or},$$

bu yerda: G_m – vagranka unumdorligi, kg/s; c_m – metallning issiqlik sig'imi, kJ/kg · °C; L – yashirin suyuqlanish temperaturasi, kJ/kg; V – issiqlik almashinuv hajmi, m³; k_v – issiqlik uzatishning yig'ma hajmiy koeffitsiyenti, kW/m³ · °C; $\Delta t_{o'r}$ – gazlar va metallarning o'rtacha temperaturasi, °C.

$$\Delta t_{o'r} = \frac{(t'_g - t''_m) - (t''_g - t'_m)}{2,3 \lg \frac{t'_g - t'_m}{t''_g - t''_m}},$$

bu yerda: t'_g va t''_m – gazlar temperaturasi; $t'_g - t''_m$ – metallning shixtaga kirish va undan chiqishdagi temperaturasi.

B.I.Kitayev [20] k_v ni aniqlash uchun quyidagi yakunlovchi formulani tavsiya qiladi:

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{r^g}{9\lambda}},$$

bu yerda α_v – yig'ma issiqlik berish koeffitsiyenti,

$$\alpha_v = A_F \frac{\omega_0^{0,9} \cdot T^{0,3}}{d^{0,75}} \cdot M',$$

ω_0 – 0 °C va 0,101 MPa · m/s da shaxtaning erkin kesimidagi tezlik; M' – mayda shixtaning protsent miqdoriga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent (mayda shixta miqdori 20% bo'lganda $M' = 0,5$); A_F – domen jarayonini tekshirish ma'lumotlariga ko'ra tavsiya etiladigan koeffitsiyent ($A_F = 160$ kcal/m³ · soat · grad yoki 186 W/m³ · grad; d – qizdirilayotgan material bo'laklarining diametri, m).

Metall tomchilarining o'ta qizishida yonayotgan koks yuzasi bilan issiqlik almashinishi eng katta rol o'ynaydi. Vagranka gazlaridan tomchi oladigan issiqlik miqdori 5–8% ni tashkil qiladi [9]. Harakatlanishda salt kolosha orqali metall tomchisi yoxud koks yuzasi bo'ylab oqib tushadi (dumalab tushadi), yoxud uning bo'laklari orasiga tushadi. Birinchi holda issiqlik almashinish issiqlik o'tkazish va koks yuzasidan nur sochish, ikkinchi holda faqat nur sochish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Vagrankada tomchi qizishini taqriban issiqlik tashigichning o'zgarmas temperaturasida va shartli vaqt davomida (t_{shant}) jismning issiqlik o'tkazuvchanlik vositasida qizishi sifatida ko'rib chiqish mumkin. Bu masalani professor A.I.Beykin tomonidan ishlab chiqilgan o'zgaruvchilarni chiqarib tashlash metodi yordamida yechish vagranka jarayonining turli sharoitlarida vagrankadan olinadigan suyuq metall temperaturasini hisoblash uchun formula topishga imkon berdi:

$$T_{m.t.}^{o'r} = T_m^a + (T_k - T_m^a) \left(1 - \frac{1}{2} \Delta + \frac{1}{10} \Delta^2 \right) \Delta,$$

bu yerda: $T_{m.t.}^{o'r}$ — metall tomchisining issiqlik almashishdan chiqishdagi o'rtacha temperaturasi; T_m^a — suyuqlanayotgan shixta yuzasidan ajralib chiqayotgan metall tomchisining temperaturasi; T_k — issiqlik almashish qonunidagi yuza temperaturasi; $\Delta = r_x/r_k$ — metall tomchisi qizishining nisbiy chuqurligi.

3.4. Pechning issiqlik balansi

Issiqlik balansi pechda sodir bo'ladigan jarayonlarga energiya sarflanish qonunining xususiy tatbiqidan iboratdir. Shu maqsadda turli manbalardan keladigan issiqlik va uning texnologik jarayonga (masalan, qizish) hamda turli yo'qotishlarga sarflanish tenglamasi tuziladi:

$$Q_{kir} = Q_{sarf}$$

Balansning kiritim qismi quyidagi qismlardan tashkil topadi:

$$Q_{kir} = Q_{i.e.} + Q_{h.f.} + Q_{yo.f.} + Q_{ekz.},$$

bu yerda: $Q_{i.e.}$ — yoqilg'ini yoqish yoki elektr energiyani issiqlikka aylantirish natijasida olinadigan issiqlik (sarflangan texnologik energiyadan keladigan issiqlik); $Q_{h.f.}$ — havoning fizik issiqligi; $Q_{yo.f.}$ — yoqilg'ining fizik issiqligi; $Q_{ekz.}$ — yoqilg'ining yonishiga bog'liq bo'lmagan ekzotermik reaksiyalar issiqligi.

Balansning chiqim qismi:

$$Q_{sarf} = Q_f + Q_{ch.g.} + Q_{k.ch.yo.} + Q_{m.ch.yo.} + Q_{a.m.} + Q_{qiz} + Q_{end},$$

bu yerda: Q_f — foydali ishlatiladigan issiqlik (metallni qizdirish, suyuqlantirish va shunga o'xshashlarga); $Q_{ch.g.}$, $Q_{k.ch.yo.}$, $Q_{m.ch.yo.}$, $Q_{a.m.}$, Q_{qiz} , Q_{end} — chiqib ketayotgan gazlar bilan; kimyoviy chala yonishda; mexanik chala yonishda; atrofdagi muhitda; pechni qizdirishda endotermik reaksiyalarga yo'qotiladigan issiqlik.

Shunday qilib, tenglama yoyilgan holda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$Q_{i.e.} + Q_{h.f.} + Q_{yo.f.} + Q_{ekz.} = Q_f + Q_{ch.g.} + Q_{k.ch.yo.} + Q_{m.ch.yo.} + Q_{a.m.} + Q_{qiz} + Q_{end}.$$

Issiqlik balansi kiritim qismining issiqliklarini hisoblash

1. Generatsiya manbayidan olingan issiqlik:
— yoqilg'ini yoqishda:

$$Q_{i.e.} = B \cdot Q_n^r,$$

bu yerda B - yoqilg'i sarfi, kg/s; Q_h - yoqilg'ining issiqlik yaratish qobiliyati, kJ/kg.
elektr energiyadan foydalanganda:

$$Q_{te} = \frac{W}{\tau},$$

bu yerda: W - elektr energiya sarfi, kW · soat; τ - vaqt, soat.
2. Isitilgan havo bilan kiritilgan issiqlik:

$$Q_{i.h.} = B \cdot V_{h.n.} \cdot \alpha \cdot c_h \cdot t_h,$$

bu yerda: $V_{h.n.}$ - 1 Nm³/kg yoqilg'iga havoning nazariy sarfi, Nm³/Nm³; α - havo sarfi koeffitsiyenti; c_h va t_h - isitilgan havoning issiqlik sig'imi va temperaturasi, tegishliha kJ/(m³ · °C) va °C.

3. Isitilgan yoqilg'i bilan kiritilgan issiqlik:

$$Q_{i.yo.} = B \cdot c_{yo} \cdot t_{yo},$$

bu yerda c_{yo} va t_{yo} - isitilgan yoqilg'ining issiqlik sig'imi va temperaturasi.

4. Ekzotermik reaksiyalardan olingan issiqlik reaksiyalar bo'lishiga qarab hisoblanadi. Masalan, pechda qanday ishlash yo'li bilan qizdirishda hisoblash quyidagi metallni termik bajariladi: formula bo'yicha

$$Q_{ekz} = 5652 G \cdot a,$$

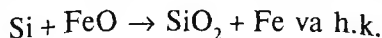
bu yerda: 5652 - 1 kg metall oksidlanganida olinadigan jami issiqlik effekti, kJ/kg; G - samaradorlik, kg/s; a - metall kuyindisi 0,015-0,025 (ya'ni 1,5-2,5%).

Suyuqlantirish pechi uchun Q_{ekz} barcha egzotermik reaksiyalar issiqlik effektining yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$Q_{ekz} = \sum_{i=1}^n q_{e_i} \cdot U_{e_i},$$

bu yerda: q_{e_i} - i -elementning oksidlanish issiqlik effekti; U_{e_i} - i -element kuyindisi.

Masalan, suyuqlantirishda kremniy, marganes va temir kuyadi:



Bunda: $q_{\text{Si}} = 29366$ kJ/kg, $U_{\text{Si}} = 18$ kg; $q_{\text{Mn}} = 6904$ kJ/kg, $U_{\text{Mn}} = 13$ kg
va $q_{\text{Fe}} = 4486$ kJ/kg, $U_{\text{Fe}} = 20$ kg.

Issiqlik balansining chiqim qismi issiqliklarini hisoblash

1. Samarali foydalanilgan issiqlik:
metallarni qizdirishda:

$$Q_s = G(i'' - i'),$$

$$Q_s = G(c''t'' - c't'),$$

bu yerda: i' va i'' — qizdirilgunga qadar va undan keyingi issiqlik miqdori; c' va c'' — qizdirilgunga qadar va undan keyingi issiqlik sig'imi, $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$; t' va t'' — qizdirilgunga qadar va undan keyingi temperatura, $^\circ\text{C}$;

— suyuqlantirishda:

$$Q_s = G(c'^{\text{suyuq}} \cdot t_m^{\text{suyuq}} - c_0 \cdot t_0) + G \cdot L + G(c'^{\text{suyuq}} \cdot t_m^{\text{per}} - c'^{\text{suyuq}} \cdot t_m^{\text{suyuq}}).$$

2. Chiqib ketayotgan gazlar bilan yo'qoladigan issiqlik:

$$Q_{\text{ch.g.}} = B \cdot V_{\text{yo.m.}} \cdot c_{\text{ch.g.}} \cdot t_{\text{ch.g.}},$$

bu yerda: $V_{\text{yo.m.}}$ — 1 kg yoki 1 Nm^3 yoqilg'i yonishi natijasida hosil bo'ladigan mahsulotlar miqdori; $c_{\text{ch.g.}}$ va $t_{\text{ch.g.}}$ — chiqib ketayotgan gazlarning issiqlik sig'imi va temperaturasi, kJ/Nm^3 .

Agar teshiklar bo'lsa, unda gaz «to'kilishi» hisobga olinadi:

$$Q_{\text{ch.g.}} = B(V_{\text{yo.m.}} - V_t) \cdot c_{\text{ch.g.}} \cdot t_{\text{ch.g.}}$$

3. Kimyoviy chala yonish natijasida bo'ladigan yo'qotishlar:

$$Q_{\text{k.ch.yo.}} = B \cdot Q_n^r \cdot \pi^3,$$

bu yerda $\pi^3 = 0,02-0,05$ — yo'qotishlar ulushi, ya'ni yoqilg'idan keladigan barcha issiqlikning 2–5% i.

Pechlarni sinab ko'rishda bu yo'qotishlar pechdan chiqib ketayotgan gazlar analizining natijalariga ko'ra aniqlanadi:

$$Q_{\text{k.ch.yo.}} = B \cdot V_{\text{yo.m.}}^{\text{sux}} \frac{12749 \text{ CO} + 10760 \text{ H}_2 + 36126 \text{ CH}_4}{100}$$

yoki

$$Q_{\text{k.ch.yo.}} = B \cdot V_{\text{yo.m.}}^{\text{sux}} (Q_{n(\text{CO})}^r \cdot r_{\text{CO}} + Q_{n(\text{H}_2)}^r \cdot r_{\text{H}_2} + Q_{n(\text{CH}_4)}^r \cdot r_{\text{CH}_4}),$$

bu yerda: r_{CO} , r_{H_2} , r_{CH_4} — bu komponentlarning hajmiy ulushi ($\frac{\text{CO}\%}{100}$ va h.).

4. Mexanik chala yonish natijasida bo'ladigan $Q_{\text{m.ch.}}$ yo'qotishlar faqat qattiq yoqilg'idan foydalanilganda sodir bo'ladi. Quymakorlikda bu yo'qotishlar faqat vagrankalar uchun ahamiyatga ega:

$$Q_{m.ch.} = B_{m.yo.} \cdot Q_n^r,$$

bunda $B_{m.yo.}$ — mexanik tarzda olib ketilgan yoqilg'i miqdori. N
vagranka uchun $B_{m.yo.} = 3000 \text{ mg/m}^3$ yoki $5000 \text{ m}^3/\text{soat}$
 $= 15000000 \text{ mg} = 15 \text{ kg}/\text{soat}$.

$$Q_{m.ch.} = 15 \cdot 7000 = 105000 \text{ kcal}/\text{soat}.$$

5. Atrofdagi muhitga sarflanadigan issiqlik:

$$Q_{a.m.} = Q_{ter.g'} + Q_g + Q_{tesh.nur.} + Q_s;$$

bu yerda: $Q_{ter.g'}$, Q_g , $Q_{tesh.nur.}$, Q_s — terilgan g'isht orqali, gazl
teshik orqali nurlanish vositasida, sovitadigan suv bilan yo
digan issiqlik.

Terilgan g'isht orqali yo'qotiladigan issiqlik:

$$Q_{ter.g'} = Q_{st} + Q_{sv} + Q_{kr} + Q_p = k_{st} \cdot F_{st}(t_p - t_v) + k_{sv} \cdot F_{sv}(t_p - t_v) + k_{kr} \cdot F_{kr}(t_p - t_v) + k_p \cdot F_p(t_p - t_v).$$

Pechdan chiqqan gaz bilan yo'qotiladigan issiqlik:

$$Q_g = V_{ch.g.} \cdot t_p \cdot c_{s.g.},$$

bu yerda: $V_{ch.g.}$ — chiqarib yuboriladigan gazlar miqdori, N
pech temperaturasi, °C; $c_{s.g.}$ — issiqlik sig'imi, kJ/(m³·°C).

Teshik orqali nurlanish natijasida yo'qotiladigan issiqlik:

$$Q_{tesh.nur.} = C_{ch.t.} \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_v}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{tesh} \cdot k_d \cdot \tau_{och},$$

bu yerda: k_d — diafragmalash ko'effitsiyenti; τ_{och} — nisbiy
vaqti, s.

$$k_d = f\left(\frac{D}{x}\right),$$

bu yerda: D — eng katta o'lcham; x — qalinlik.

Sovituvchi suv bilan yo'qoladigan issiqlik:

$$Q_s = D(t'' - t')c_{suv},$$

bu yerda D — suv sarfi, Nm³; c_{suv} — suvning issiqlik sig'imi, kJ/(m³·°C)
 t' t'' — suvning isitilgunga qadar va undan keyingi temperaturasi.

6. Pechni qizdirishda yo'qotiladigan issiqlik:

$$Q_{qiz} = \frac{V_{t.g'} \cdot \rho_{t.g'} \cdot c_{t.g'} \cdot (t_{t.g'}^* - t_{t.g'})}{\tau_{qiz}},$$

$V_{t.g.}$ – terilgan g'ishtning hajmi, m^3 ; $\rho_{t.g.}$ – uning zichligi, kg/m^3 ; $t_{t.g.}$ – uning issiqlik sig'imi, $kJ/m^3 \cdot ^\circ C$; $t'_{t.g.}$ va $t''_{t.g.}$ – terilgan qizdirishga qadar va undan keyingi temperaturasi, $^\circ C$; τ – ishlash vaqti, s.

Ekzotermik reaksiyalarga yo'qotiladigan issiqlik ekzotermik ulemin hisoblangani kabi hisoblanadi:

$$Q_{\text{end}} = \sum_{i=1}^n q_{e_i} \cdot D_{e_i}.$$

Pech Ishining samaradorligini baholash

Foydali ish ko'effitsiyentlarining bir nechta turlari bir-biridan farqlanadi.

Termik FIK, bu foydali ishlatilgan issiqlikning keltirilgan barcha issiqlikka nisbatidan iborat:

$$\eta_{\text{term}} = \frac{Q_f}{Q_{\text{kel}}} \cdot 100\%;$$

Elektr FIK, bu foydali ishlatilgan issiqlikning yoqilg'i yonishi natijasida ajratilib chiqqan (yoki elektr energiyaning issiqlikka aylantirilgan) issiqlikka nisbatidan iborat:

$$\eta_{\text{ef}} = \frac{Q_f}{Q_{\text{i.e.}}} \cdot 100\%.$$

Pechning ish samaradorligi issiqlik va yoqilg'idan foydalanish ko'rsatkichi yordamida ham baholanadi:

$$k_i = \frac{Q_{\text{kel}} - Q_{\text{ch.g.}}}{Q_{\text{kel}}} \text{ va } k_{\text{yo}} = \frac{Q_{\text{i.e.}} - Q_{\text{ch.g.}}}{Q_{\text{i.e.}}}.$$

Pechni ishlatish bilan ishlaydigan qurilmalardan foydalanishda shartli issiqlik sarfi ham hisobga olinadi:

$$B = \frac{B}{G} \cdot \frac{Q_n^r}{29300},$$

B – yoqilg'i sarfi, kg/s yoki Nm^3/s ; Q_n^r – yoqilg'ining qizib chiqish qobiliyati, kJ/kg ; G – pech unumdorligi, kg/s .



IV BOB

QUYISH SEXLARINING SUYUQLANTIRISH PECHLARI

4.1. Cho'yan suyuqlantiriladigan pechlar

Cho'yan suyuqlantirish jarayonlari klassifikatsiyasi pechlarning texnologik sxemalari

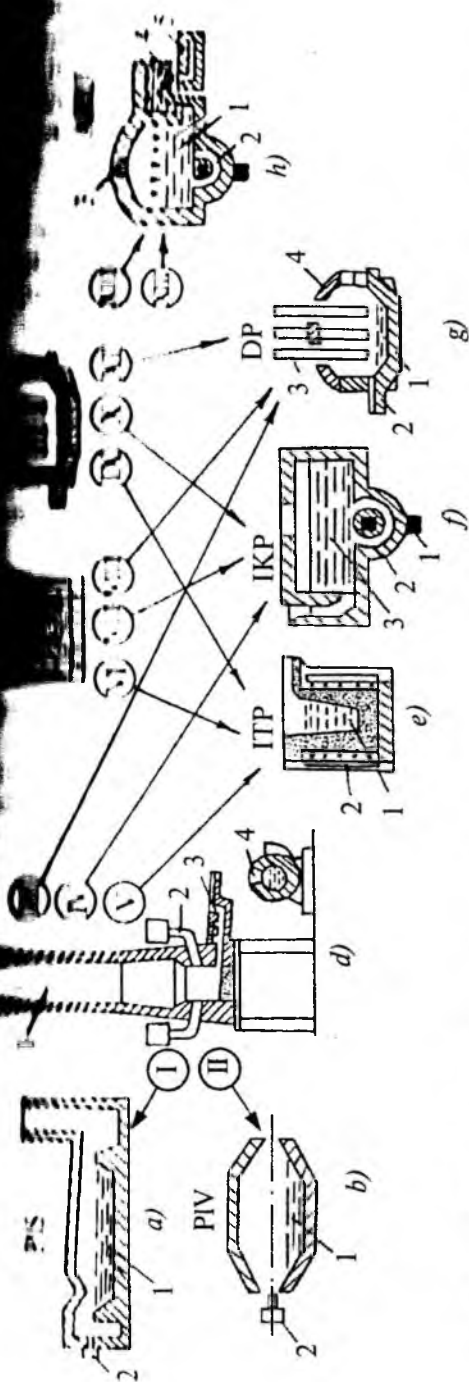
Quymakorlikda cho'yanni suyuqlantirish yoki cho'yan lamchi suyuqlantirish deb ataladigan jarayon vagrankalar (29- *e* rasm), induksion elektr pechlar (29- *e* rasm) va elektr yoy pechlar (29- *g* rasm) amalga oshiriladi. Cho'yanni tegishli vaqtida vagrankalar induksion va yoy pechlarida suyuqlantirish metodlari bilan farqlanadi.

Alangali pechlar (PIS, PIV) keng tarqalmadi. Monojalar faqat katta o'lchamli temir-tersak, masalan, prokats, valkalarni qayta suyuqlantirishda yoki bir yo'la katta metall maolishda ishlatiladi. Avval ular KY cho'yan olish uchun jarayonlarda keng foydalanilardi. Bu agregatlar hozir quyish sexlarida ishlamoqda, lekin, asosan, elektr pechlar

Quymalarni yirik seriyalab va ko'plab ishlab chiqarishda suyuqlantirishning dupleks va tripleks-jarayonlari keng tarqalgan. 29- rasmda pechlarning ikki turidagi o'n bitta dupleks ko'rsatilgan. Suyuqlantirish pechlaridan birini ARU orqali (29- *h* rasm), shuningdek, tripleks-jarayonlarini amalga oshirish mumkin. Tripleks-jarayonda cho'yan pechlardan birida suyuqlantirish boshqa pechda nihoyasiga yetkaziladi va qolipga quyiladi yordamida bajariladi. Bu holda III-XI duplekslarni birga qayta y'a'ni tripleks-jarayonlarning to'qqiz turi bo'lishi mumkin.

Bundan tashqari, dupleks-jarayon: domna pechi – elektr pechi dan foydalanish mumkin va bu energetika jihatidan tejimli. Suyuq cho'yan nihoyasiga yetkazish uchun domna pechdan induksion yoki yoy pechiga quyiladi. Polijarayonlardan foydalaniladigan suyuqlantirish metodlarining ko'p bo'lishiga qaramasdan, suyuqlantirish texnologiyasi suyuqlantirish pechlarining yetti turining (V, PIS, ITP, DP, IKP va ARU) ishlashiga bog'liq.

Cho'yan suyuqlantiriladigan agregatlardan eng ko'p tarqalgani vagrankadir. U shaxta 1 dan (29- *d* rasmga q.) iborat bo'lib, shaxta pastki qismida havo beriladigan firma 2 lar, shlakdan ajratiladi.



29- rasm. Suyuqlantirish jarayonlarining klassifikatsiyasi va cho'yan suyuqlantiradigan pechlar asosiy turlarining texnologik sxemalari.

3 qurilma 4 to'plagich joylashgan. Shaxtaga furmalar sathidan shaxta diametriga teng balandlikkacha koksning salt koloshasi, shuningdek metall shixta, koks va flusning ishchi koloshalari yuklanadi. Cho'yan koks yonishi natijasida ajraladigan issiqlik hisobiga suyuqlanadi. Shaxtaning gorn deb ataladigan pastki qismiga oqib tushadi va shu yerda to'planadi, yo uzluksiz to'plagichga ketadi, bu yerda quyishga chiqarish uchun ma'lum porsiya yig'iladi.

Alangali pechlar (PIS va PIV, 29- a va b rasm) davriy ishlaydigan. Ishchi bo'shliq 1 ga qattiq shixta yuklanadi yoki vagrankadan suyuq metall quyiladi, gorelkalar yoki forsunka 2 lar ishga tushiriladi va suyuqlantirish ishlari olib boriladi.

Tobora keng ko'lamda tarqalayotgan induksion pechlar (ITP) konstruksiyasi jihatidan juda sodda (29- g rasmga q.). Metall tigellar da joylashtiriladi. Shixta «botqoq» deb ataladigan, ya'ni oldingi suyuqlantirib olish jarayonidan qolgan suyuq metallga (suyuqlantirilgan cho'yan massasining 1/3 qismiga yaqin) yuklanadi. Induksion toklar metallda tigelni o'ram ko'rinishida qamrab olgan induktor 2 vositasida yaratiladi. Tayyor cho'yan pechni qiyalatib tarnov 3 orqali chiqarib yuboriladi.

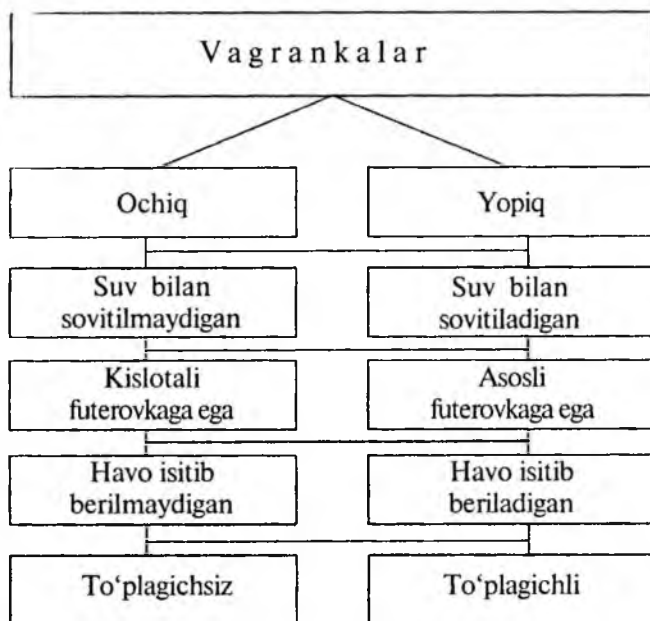
Yoy pechlari (DP, 29- e rasm) shixta bilan ust tomondan yuklanadi, bunda gumbaz 4 chekkaga chetlatiladi, shixta, so'ngra esa suyuq metall vanna 2 da bo'ladi. Suyuqlantirish elektrodlar 3 bilan yaratiladigan yoy razryadlari yordamida bajariladi. Tayyor cho'yan pechni qiyalatib tarnov 2 orqali chiqarib yuboriladi.

Kutish pechi sifatida IKP dan foydalanilsa, juda maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki ularning FIK boshqa elektr pechlarining FIK idan ancha yuqori bo'ladi. Bu pechlarda issiqlik suyuq metall to'ldirilgan va transformator o'rami singari birlamchi o'ramli o'zak 1 ni qamrab oladigan kanal 2 da hosil qilinadi (29- f rasm).

ARU da (29- h rasm) ham, odatda, issiqlik hosil qiladigan kanalli induksion manbadan foydalaniladi (IKP dagidek). Metall 1 kanal 2 da joylashib doimo isitilib turiladi. Avtomatik tarzda quyish uchun gumbazdagi tuynuk 3 orqali siqilgan havo vositasida metall ustida bosim hosil qilinadi. Bunda asosiy sig'imdagi sath pasayadi va metall teshik 4 orqali ARU dan siqib chiqariladi va qolipga quyiladi.

Vagrankalar

Vagrankalar klassifikatsiyasi 30- rasmda keltirilgan. Hozirgi vaqtda eng ko'p tarqalgan cho'yan suyuqlantirish agregati vagranka bo'lib, u silindrik shaxta pechidan iborat. Uning konstruksiyasi juda sodda bo'lganligi uchun u butun dunyoda keng tarqalgan. Lekin sodda koks vagrankalari murakkab quymalarni ishlab chiqarishda temperatura va cho'yan sifatiga qo'yiladigan zamonaviy talablarni qoniqtir-

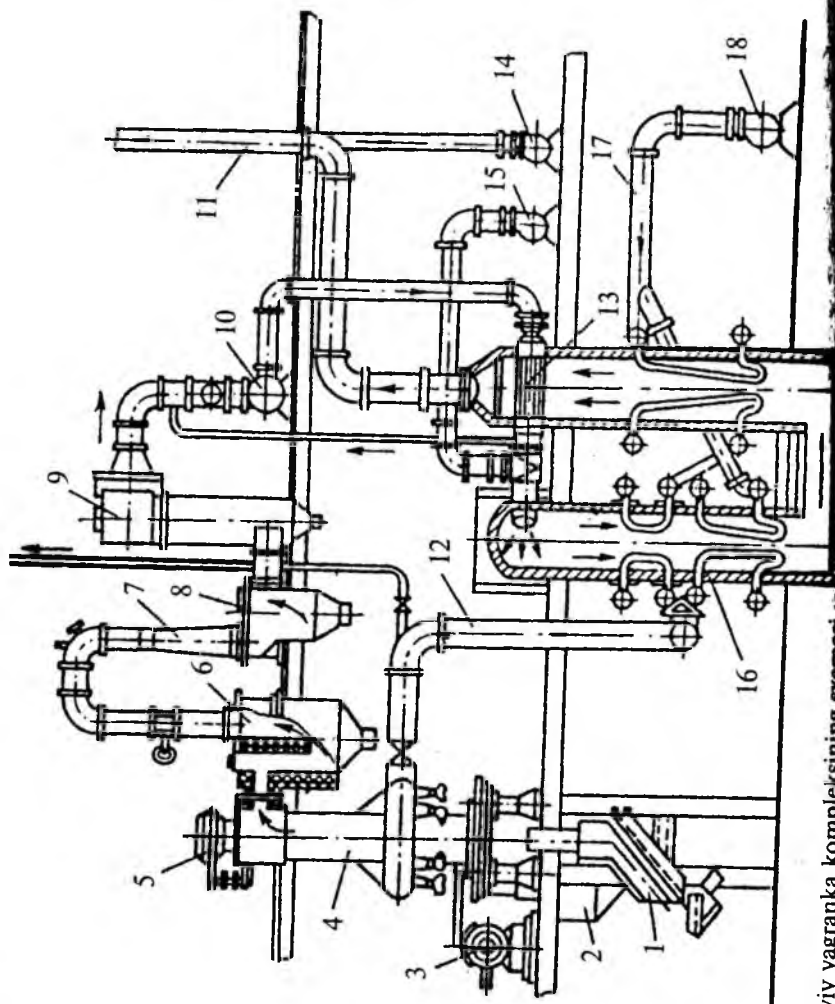


30- rasm. Zamonaviy vagrankalarning klassifikatsiyasi.

maydi. Bundan tashqari, ular atmosferaga ko'p miqdorda zararli gazlar va chang chiqarib yuboradi (amaldagi sanitariya normalariga binoan atmosferaga chiqarib yuboriladigan 1 m³ gazlarda ortig'i bilan 100 mg chang va 0,1% CO bo'lishiga yo'l qo'yiladi). Shuning uchun vagrankalar puflanadigan havoni isitish, chiqib ketayotgan gazlar chalasini yoqish va bu gazlarni tozalash qurilmalari bilan jihozlanadi. Vagranka gazlarini bunday tozalash sistemasiga ega suyuqlantirish agregatining sxemasi 31- rasmda ko'rsatilgan.

Qurilma quyidagilarni o'z ichiga oladi: vagranka 4, qumoqlangan shlak uchun bak 2, buriladigan to'plagich 3, germetik yuklash qurilmasi 5, bunker-sovitgich 6, Venturi trubasi 7, shlam ajratgich 8, skrubber 9, tutun so'rgich 10, sovutilgan va tozalangan vagranka gazlarini isitish uchun konvektiv rekuperator 13, beriladigan havoni isitish uchun uchta seksiyadan iborat bo'lgan radiatsion-konvektiv rekuperator 16, ejektorli tutun trubasi 11 va havo haydagich-damlagich 18, shuningdek, qizigan 12 va sovuq 17 havo truboprovodlarini hamda haydash 14 va ejeksiya 15 uchun ventilatorlarni o'z ichiga oladi.

Mazkur qurilmada chiqib ketayotgan vagranka gazlarini tozalash uch bosqichda amalga oshiriladi. Avval gazlar vagranka 4 dan bunker-sovitgich 6 ga yuboriladi, bu yerda ular 80–100 °C gacha sovutiladi va changning yirik zarrachalaridan tozalanadi. Gazlar



31- rasm. Zamonaviy vagranka kompleksining sxemasi.

tozalashning ikkinchi bosqichi Venturi trubasi 7 da bajariladi, bu gaz 100–140 m/s tezlikda trubaning suv pardali og'zidan chiqib, unda gazlarda qolgan chang ho'llanib iflos tomchilar va qatranaylanadi, ularning deyarli ko'pchilik qismi shlam chiqarib yuborilgan sistemaga oqib tushadi. So'ngra chiqib ketayotgan gazlar tozalashning uchinchi bosqichi — tomchilarni ushlab qolish va yallangan gazlarni quritishdan o'tish uchun ho'l skrubber 9 ga o'tiriladi. So'ngra gazlarni yoqish oson bo'lishi uchun ular isitiladi va maxsus gorelkada havo bilan aralashtirib rekuperator 16 ning o'txonasida yoqiladi. Yonish jarayonini stabillash va gazni yondirish uchun o'txonada tabiiy gaz beriladigan gorelkalar o'rnatilgan.

Bir nechta gaz tozalash qurilmalari shunday sxema bo'yicha qurilgan va quyish zavodlarida ishlamoqda. Ularni ekspluatatsiya qilish jarayonida gazlarning atmosferaga chiqishida olingan namuna changlanganlik darajasi sanitariya normalariga muvofiqligini ko'rsatdi. Koks anqli 14% bo'lganda tarnovdagi cho'yanning temperaturasi 1535 °C ga yetadi (botirma termopara o'lchovlariga ko'ra).

Berk tipdagi suyuqlantiruvchi vagranka agregatlari (GIPROstanok Institutida konstruksiyalangan (Rossiya) vagranka qurilmasi sanoatda ishlatiladigan varianti hisoblanadi) — zavodda sinchiklab tayyorlashni va malakali xizmat ko'rsatishni talab qiladigan avtomatlashtirilgan murakkab sistemalardir. Shunday sharoitlarda chiqib ketadigan gazlarning talab etilgan tozaligi va cho'yanning yuqori temperaturasi ta'minlanadi [38]. 31- rasmda keltirilgan vagranka qurilmasiga kiradigan bu tipdagi vagranka konstruksiyasi 32- rasmda ancha mukammal ko'rsatilgan.

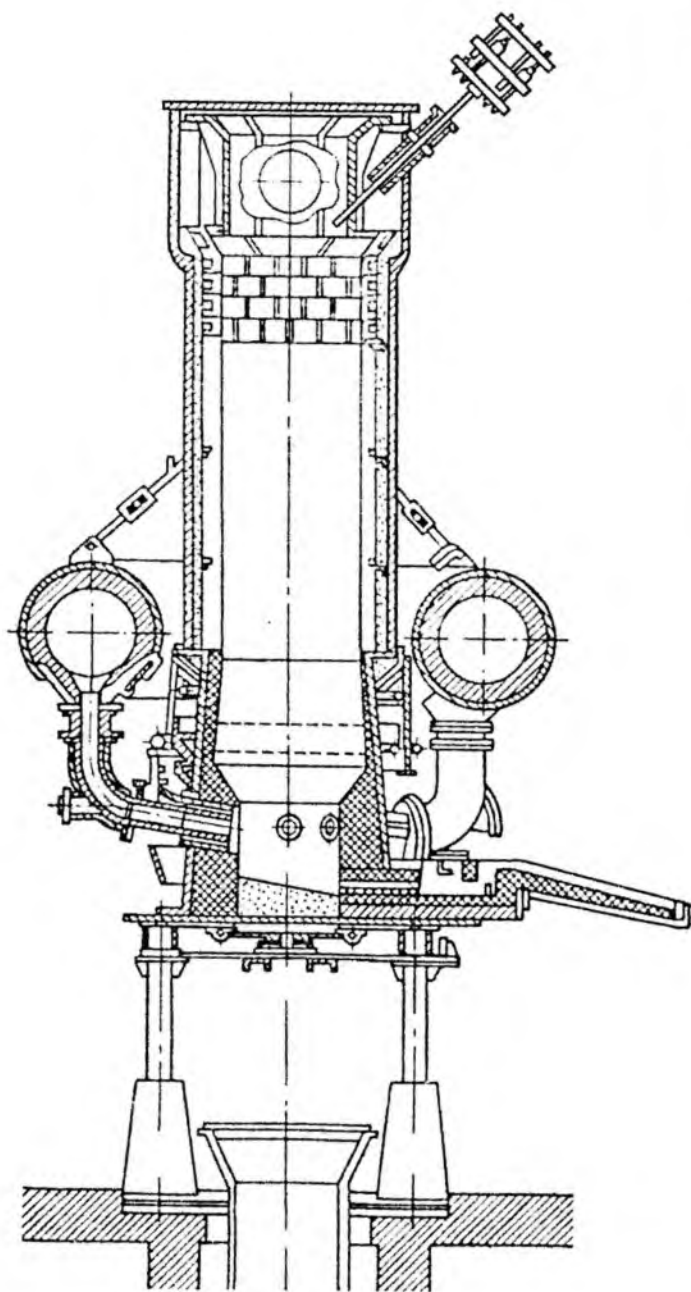
Zamonaviy koks vagrankasining o'ziga xos xususiyati suyuqlantirish zonasining domna profiliga o'xshashligidir. Bunday profil tashqaridan suv bilan sovitiladigan domna pechlari furmalarga mos tez almashtiriluvchi mis furmalar uchun ancha qulay; u gazodinamika va vagrankada issiqlik almashinuvni sezilarli yaxshilaydi.

Suv bilan sovitch keng ko'lamda qo'llanishiga qaramasdan, amalda barcha vagrankalar olovbardosh futerovkaga ega. Ko'pchilik hollarda bu futerovka vagranka uchun mo'ljallangan maxsus shamot g'ishtidan tayyorlanadi. Bu g'isht shakli va o'lchamlari bo'yicha vagrankalarni futerovka qilish uchun maxsus belgilangan. GOST 3272-71 ga muvofiq vagranka g'ishtlarining uchta markasi chiqariladi:

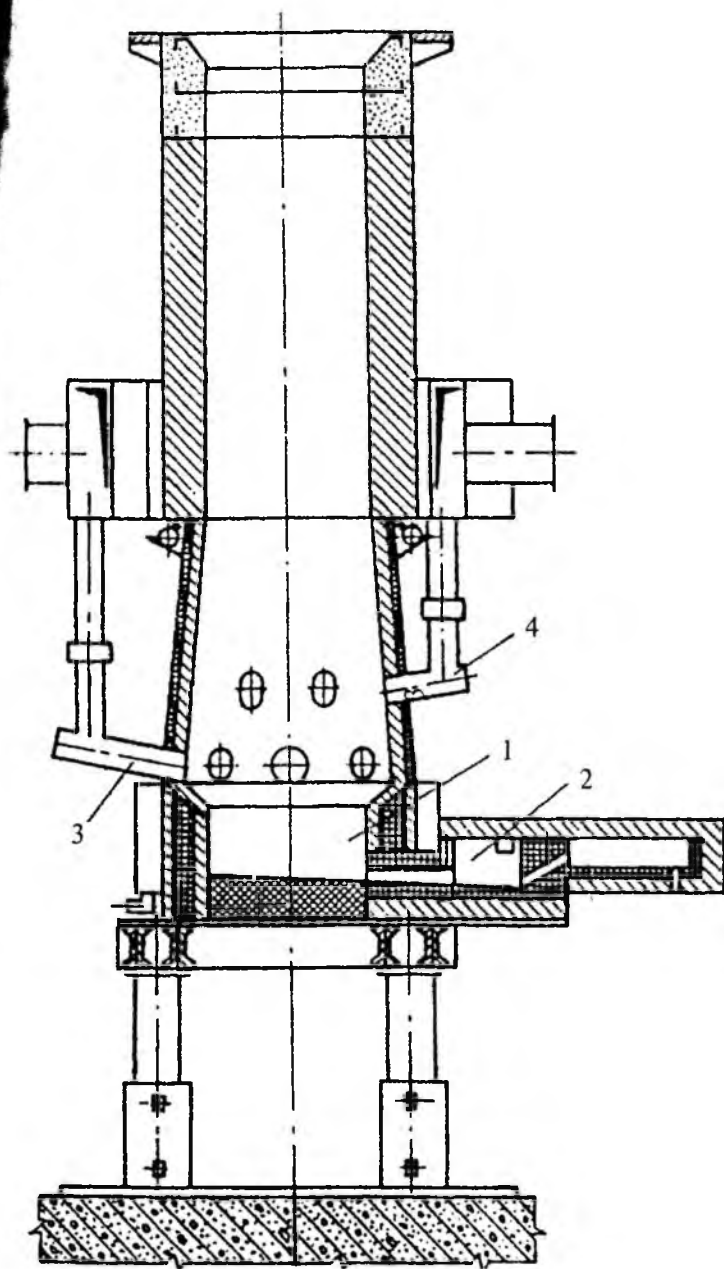
ШАВ — olovbardoshlilik kamida 1730 °C bo'lgan shamot buyumlari;

ШБВ — olovbardoshlilik kamida 1670 °C bo'lgan shamot buyumlari;

ПБВ — olovbardoshlilik kamida 1670 °C bo'lgan yarim kislotali buyumlar.

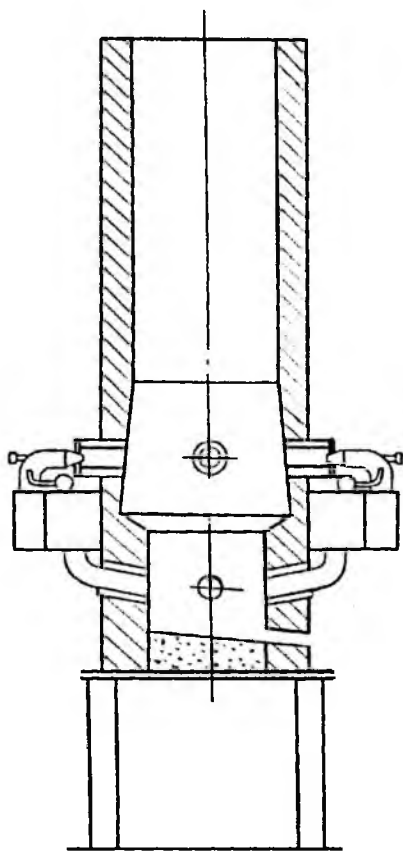


32- rasm. GIPROstanok instituti ishlab chiqqan vagranka.



33- rasm. Havo ikki joydan beriladigan uzoq davom etadigan siklli vagranka:

1 – gorn, 2 – shlak ajratgich, 3 – birinchi qator furalari,
4 – ikkinchi qator furalari.

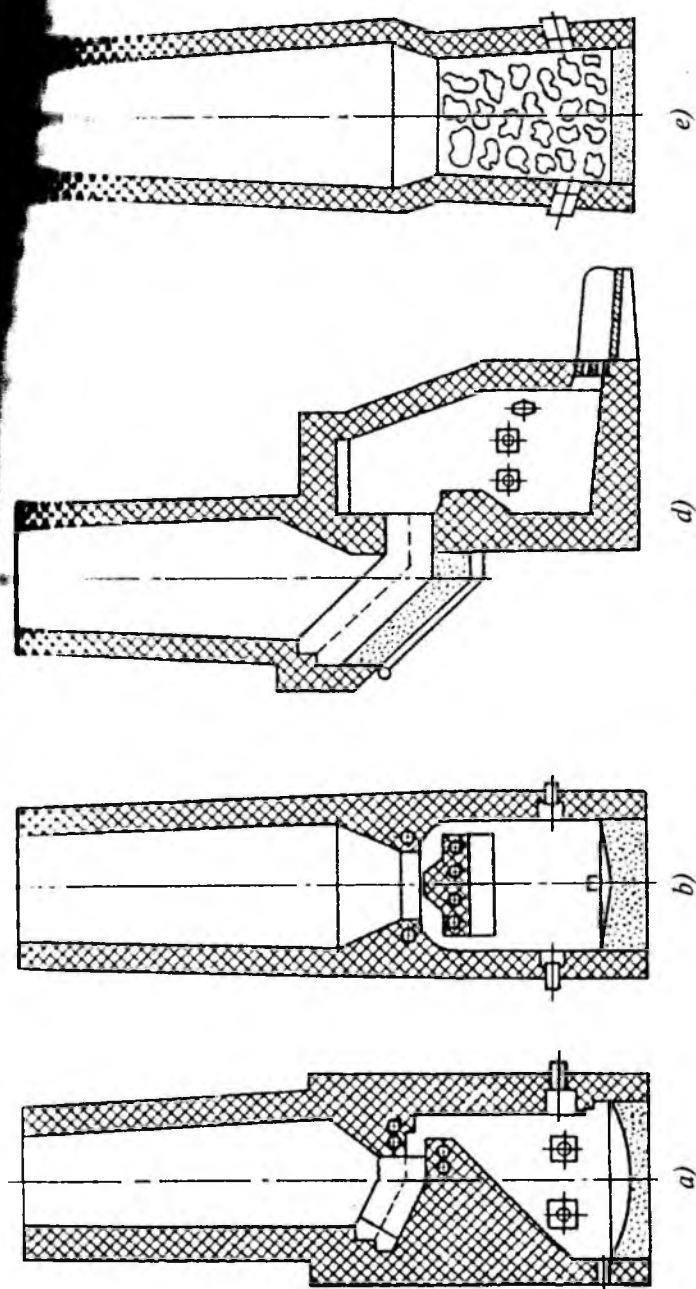


34- rasm. Koks-gaz vagrankasi.

IIIAB markali buyum suyuqlantirish zonasi va ya'ni eng yuqori temperaturatiladigan zonalarini futerovka qilish uchun ishlatiladi. Qonalar IIIAB va IIBB markali buyumlar bilan futerovka qill

Vagrankaning uzluksiz idavomiyligi futerovkaning xil qilish muddatiga bog'liq, u o'z navbatida, futerovkaning jarilish sifati va olovbardosh materiallar sifati ga bog'liq bo'ladi. Sining uchun futerovkaning sh va vagranka suyuqlantirish zoni ning o'lchamlariga qat'iy keladigan olovbardosh materiallarni ishlatish zarur. Masalan, diametr 1250 mm bo'lsa, IIIAB markali buyumlar ishlatish zarur terilish radiusi 633 mm bo'lad boshqa radiuslarda — tegishli buyumlar. Bunda chokning qalini ligi 1–2 mm bo'lishi kerak. Ko'rsatilgan qalinlikka rioya qilish qat'iy majburiydir. Chokning bog'lovchi materiali o'zining tarkibi bo'yicha ishlatilayotgan olovbardosh materialga mos bo'lishi kerak.

Shamot yoki yarim kislotali olovbardosh materiallardan bajari ladigan kislotali futerovkadan tashqari vagrankalar asosli futerovkaga ega bo'lishlari mumkin. Bunday vagrankalar kamdan kam va ulardan asosli shlaklar ishlatish hisobiga oltingugurti kam cho'yan olish kerak bo'ladigan hollardagina foydalaniladi. Ular, odatda, beriladigan havoni qizdirib ishlatiladi. Bu vagrankalarning futerovkasi standart xrommagnezit g'ishtdan yoki asosli olovbardosh aralashmalardan tayyorlanadi. Uzoq ishlash sikliga ega bo'lgan va suv bilan sovitish sistemali vagrankalarning ayrim zonalarini futerovka qilish uchun bloklar yoki tiqma uglerodli massa ko'rinishidagi uglerodli olovbardosh materiallar ishlatiladi. Hozirgi vaqtda suyuqlantirish mintaqasi suv bilan sovitiladigan gorni uglerodli materiallardan yasalgan va qizdirib beriladigan havoda ishlaydigan vagrankalar urib chiqarmasdan va ta'mirlanmasdan bir oygacha ishlashi mumkin. Bunday vagran-



35- rasm. Gaz vagrankalari:

a – chiqiqdari bor, *b* – kashakili (peremichkali),
d – chiqarma o'ta qizdirish kamerali, *e* – olovbardosh nasadkali.

kalarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori bo'ladi. 3- gorni 1 va shlakdan ajratgichi 2 uglerodli tiqma massa bilan qilingan vagranka ko'rsatilgan.

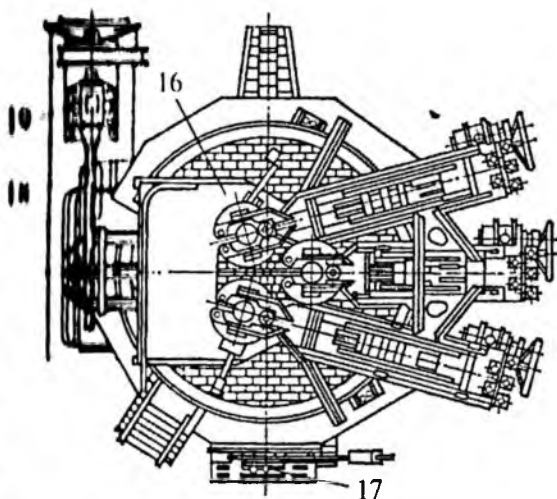
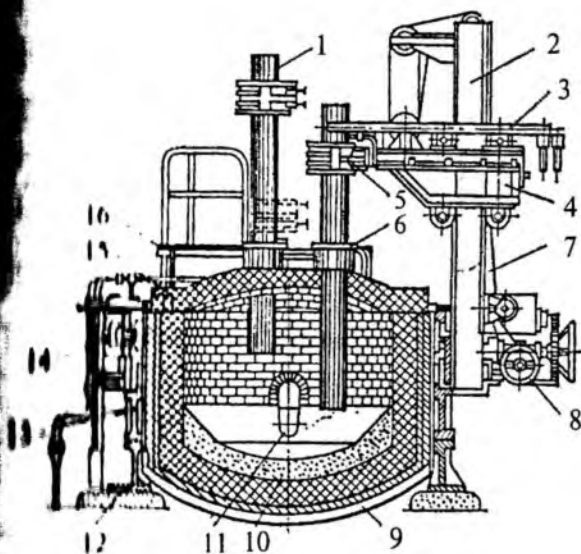
So'nggi yillarda havo ikkita joyga beriladigan vagranka topdi, ularda birinchi qator 1 furmalardan tashqari, asosiy 700—900 mm yuqorida joylashgan 4 furmalar bo'ladi. Havo ning yuqori qatoriga alohida beriladi. Beriladigan havonin rostlanishi vagranka ishini yaxshilashga imkon beradi. Metal koks vagrankalaridan tashqari koks-gaz va gaz vagrankalar tiladi. Koks-gaz vagrankalarining koks vagrankalaridan farqi ularda furmalardan 700—900 mm balandlikda gaz gorelkalar (34- rasm).

Gaz vagrankalarining to'rtta konstruksiyasi mavjud: chiqiqlari bor (35- a rasm), shaxtada kashakisi bor (35- chiqarma o'ta qizdirish kamerali (35- d rasm) va olovbardosh kali (35- e rasm). Barcha bu vagrankalarda o'ta qizdirish zon struktiv jihatdan alohida bo'ladi (chiqiq, kashak va shunga o lar bilan ajratilgan). Eng ko'p tarqalgani chiqarma kamerali bardosh nasadkali vagrankalardir.

Elektr yoy pechlari

Cho'yanni suyuqlantirish uchun pechlarning maxsus ko siyasi bo'lmaydi. Po'latni suyuqlantirish uchun mo'ljallangan tipidagi yoy elektr pechlaridan foydalaniladi. Pech konstr 36- rasmda ko'rsatilgan. Pech po'lat g'ilof (karkas)dan, q mexanizmidan, futerovka (tubi, devorlar va gumbaz)dan, el va elektrodnlarni yurg'uzuvchi mexanizmdan iborat. Pech g'ilof yoki yuqori tomoni salgina kengayadigan konus shaklida bo'lishi m U 12—20 mm qalinlikdagi po'lat listdan payvandlab y G'ilofning tubi yassi, konussimon yoki sfera shaklida bo'lishi m G'ilofda yuklash tuynugi va metall lyotka uchun teshik q Pech g'ilofi futerovka va suyuqlantirilayotgan metallning og'irligini hamda termik kuchlanishni sezadi, shu sababli u mustahkamlikka ega bo'lishi kerak.

Metallni pechdan bo'shatish uchun uni to'kish jo'mragi 40—45° ga, shlakni tortib olish uchun ish tuynugi tomon lo qiyalatish zarur. Pechni qiyalantirish uning yon tomonida yoki joylashgan maxsus mexanizm yordamida ma'lum tezlik bilan b Qiyalatish mexanizmi yon tomonda joylashganda pech g'ilof bilan qattiq birlashtirilgan, ikkita quyma segment vositasida p vorga o'rnatilgan quyma o'rindiqqa tayanadi. Segmentlar va q o'rindiqla pechni puxta qayd qiladigan tishlar joylashgan. Pech v



30-раун Qona metallar suyuqlantiradigan yoy elektr pechi:

1 - elektrodlar, 2 - yo'naltiruvchi kolonnalar, 3 - tok o'tkazgichlar, 4 - elektrod tutgichlar, 5 - elektrod sovitkichlari, 6 - trosalar, 7 - elektrod silindri mexanizm, 8 - po'lat g'ilof (kojux), 9 - tiqma tub, 10 - tiqma tub, 11 - tiqma tub, 12 - tiqma tub, 13 - tiqma tub, 14 - tiqma tub, 15 - tiqma tub, 16 - ish maydoni, 17 - tiqma tub, 18 - tiqma tub, 19 - tiqma tub.

aylantirib qiyalatiladi. Vint segmentlarning birida sharnir mahkamlangan gaykaga burab kiritilgan. Pechni qiyalat gidroyuritmadan ham foydalaniladi [10].

Pech futerovkasi bir nechta qatlamlardan iborat. Tub metall va shlakka tegib turadigan birinchi qatlami — ol poroshok tiqmadan iborat. Kislotali jarayonda kvars qum asosli jarayonda magnezit poroshok tiqmadan foydalaniladi. Ikkinchi qatlami kislotali jarayonda dinasdan, asosli jarayonda magnezitdan bajariladi. Keyingi qatlamlar shamotdan, di asbesdan bajariladi.

Pechlarning devorlari qatlam-qatlam qilib teriladi: birinchi dinas yoki magnezit g'ishtdan, ikkinchi qatlam shamot uchun uchunchi qatlam diatomit poroshokdan iborat bo'ladi. Diatomit poroshok issiqlikni izolatsiyalovchi material bo'lib, bir yo'l bilan pechdagi qandaydagi olovbardosh materiallarning kengayishini kompensatsiya qiladi va shu bilan uning g'iloqini vayron bo'lishdan saqlab qoladi. Olovbardosh g'ishtlar o'rtida ba'zan kvars qumdan yoki magnezit poroshokdan tayyorlangan tiqma bloklar ishlatiladi. Gumbaz maxsus yordamida elektrodinas normal va fason g'ishtdan tayyorlanadi.

Elektr toki pech ishchi bo'shlig'ining ichiga ko'mir yoki antrasit yoki koksdan, grafitlangan elektrod esa sun'iy grafitdan tayyorlanadi. Ko'mir elektrodning grafitlangan elektrodga nisbatan mustahkamligi kichik, elektr o'tkazuvchanligi esa ancha past. Shu sababli ulardan odatda sig'imi 3 t gacha bo'lgan kichik elektrod dagina foydalaniladi.

Elektrodning kesimi doiraviy, uzunligi 1000—1800 mm bo'ladi. Elektrodning chetlarida rezbalı teshiklar bor. Pechda joylashgan elektrodning pastki qismi oqib tushishi sayin u uzaytiriladi. Elektrod uchun ishlab turgan elektrodning yuqorigi qismiga ulash uchun yordamida yangi elektrod burab kiritiladi.

Sig'imi 1,5 va 3 t bo'lgan pechlar qo'lda yuklanadi. Katta pechlarni yuklashda maxsus mexanizmlar ishlatiladi. Elektrodni bir tarqalgani ust tomondan yuklashdir. Shixtani yuklashda pechda elektrod bilan birgalikda yuqoriga ko'tariladi va 80—90° gacha buriladi. Ochiq pech maxsus yuklash savatlari yordamida yuklanadi. Pechni yuklab bo'lgandan so'ng gumbaz o'zining dastlabki holatiga qaytariladi.

Hozirgi vaqtda turli mamlakatlardagi mutaxassislarining ishtirokida bilan elektr yoy vositasida suyuqlantirishga bog'liq bo'lgan metallurgiya murakkab texnik muammolar hal etilgan, bu esa zamonaviy metallurgiya elektr pechlarida barcha texnologik operatsiyalarni yuqori darajada ishonchli, manevrli bo'lishini va avtomatlashtirilishini ta'minlaydi. Bu imkon berdi.

Elektr yoy pechlarida (EYP) shixta yuklashni to'la avtomatlashtirish va avtomatlashtirishga quyidagilarni qo'llab avtomatik rejimda 12 ta tashkil etuvchini dozalashga imkon beradigan dozalovchi qurilmalar (masalan, «Ramsey» tipidagi dozalovchi qurilmalar), bir marta yuklashni 60 t gacha yetkazishga imkon beradigan yoy yoki zanjir tipdagi ko'p tavaqali yuklash qovg'alari (masalan, Ford zavodi, KamAZ quymakorligi), bir yo'la 50 t gacha yuklash jarayonini o'zining davomiyligini 5 minutgacha uzatadigan. Yaponiyada EYP ga shixtani uzluksiz yuklash uchun avtomatlashtirilgan va shixtali qurilmalar joriy qilib bo'lingan.

Elektr yoy pechlari 1 t metall shixtaga sarflanadigan quvvat bo'yicha ko'p variatsiyali katta quvvatli pechlar bilan jihozlanadi (odatdagi quvvatli pechlar — 100 A/t gacha, yuqori quvvatli — 250–500 kV · A/t, o'ta yuqori quvvatli — 700–1000 kV · A/t). Yoy pechlarining texnik xarakteristikalarida keltirilgan.

16-jadval

Yoy pechlarida chiqariladigan elektr yoy pechlarining texnik ko'rsatkichlari

Uchlilik, V	Xarakteristikalar				
	sig'im, t	transformatorning nominal quvvati, mV · A	transformatorning solishtirma quvvati, kV · A/t	past tomon kuchlanish chegaralari, V	nominal tok kuchi, A
100/250	0,5	0,4	400	110–190	1200
250/500	1,5	1,0	600	118–225	2500
500/1000	3	1,8	600	244,5/123,5	6270
1000/2000	6	4,0	667	130–281	9850
2000/4000	5	2,8	578	114–257	6300
4000/8000	10	5,0	416,6	120–478	11560
8000/16000	12	9,0	750	115–317,5	16370
16000/32000	25	15,0	600	126–368	23500
32000/64000	50	25,0	500	131–417	34600
64000/128000	80	32,0	308,8	162–478	38800
128000/256000	100	50,0	500	189–514	57400

70- yillar boshida elektr yoy pechlarida butun cho'yan suyuqlantirish texnologik sikli avtomatlashtirilgan tarzda boshqa sistemaga o'tkazilgan edi. Elektr yoy pechlarida o'zgartgichsiz tiristor yoki parametrik tok manbalaridan ta'minlanadigan ventillaridan foydalanila boshlandi, suyuqlanmani aralashitirish elektrmagnit qurilmalar o'zlashtirildi. Konus korpuslari futerovkalarining progressiv konstruksiyalarini joriy qilishga hisobiga futerovkaning xizmat qilish muddatini bir necha marta oshirib olishlargacha oshirishga imkon berdi. Hozirgi vaqtda kumush suv bilan sovitiladigan qismlari (arka, ustunchalar, gumbaz va umuman gumbaz) salmog'i katta bo'lgan elektr yoy pechlarida chiqarilmoqda.

Zamonaviy elektr yoy pechlarida bu yutuqlarning joriy qilish cho'yan suyuqlantirib olishni to'la avtomatlashtirishga, olov maning yuqori darajada o'ta qizitilishini (1700 °C dan yuqorilashga va unumdorligini 30 t/soat gacha va undan ko'progacha oshirishga imkon berdi.

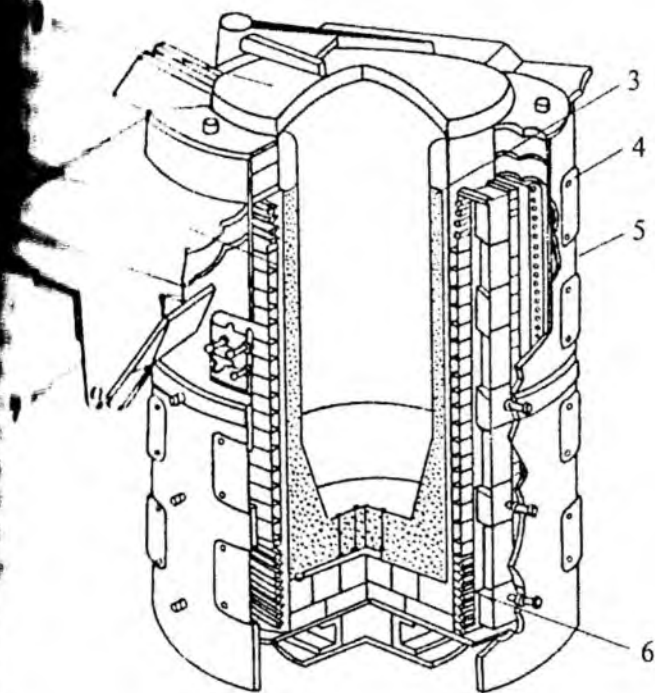
Tigelli induksion pechlar

Pech konstruksiyasi 37- rasmda ko'rsatilgan. Tigelli pechlarida tori I g'altak shakliga ega. Indikator ichida olovbardosh metall yasalgan tigel 3 joylashgan. Tigelning ichki bo'shlig'i suyuqlan metall bilan to'ldiriladi. Induktor metall ta'siridan tigel va himoyalanaadi. Tigel devorining qalinligi, ya'ni induktor bilan metall orasidagi masofa pechning elektr parametrlariga ta'sir etadi: devor qanchalik qalin bo'lsa, g'altakni yorib o'tuvchi kuch chiziqlarining shunchalik ko'p miqdori metall o'z ichiga o'qatnashmaydi va pechning cos φ si shunchalik kichik bo'ladi.

Tigel bo'lishi tufayli pechlarning cos φ si kichkina bo'ladi. Tarmog'ining reaktiv quvvati katta bo'lmasligi uchun induktor parallel ravishda kondensatorlar ulanadi, ularning soni suyuqlan jarayonida o'zgaradi, chunki qizdirganda shixtaning elektr oqimi o'zgaradi, ayrim hollarda esa uning magnit xossalari ham o'zgaradi.

Induktor va kondensator batareyasidan iborat konturda katta qiymatli tok o'tadi. Shu sababli ularni birlashtirish uchun kesimli shina va kabeldan foydalaniladi. Induktor yaratadigan magnit oqimi berk chiziqlar bo'yicha uning ichidan va tashqarisidan o'tadi. Induktorning tashqi tomonidan magnit oqimining o'tkan miqdori qarab, pechlarning ochiq, ekranlangan va berk konstruksiyalariga biridan farqlanadi.

Ochiq konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi tomonidan havodan o'tadi. Magnit maydonning kuch chiziqlari induktorning ichidan o'tgan bo'shliqni yorib o'tadi. Shu sababdan pechning konstruksiyasi



37- rasm. Tigelli induksion pech:

1 — induktor, 2 — qopqoq, 3 — tigel, 4 — magnit o'tkazgich,
5 — metall konstruksiyalar, 6 — pechni burish o'qi.

lari, masalan, uning karkasining detallari metallmas mate-
bo'lishi yoki induktordan shunday masofada joylashishi kerak-
maydon ularga ta'sir qilmasin. Induktor yaqinida yog'och
elementdan yasalgan elementlar joylashtiriladi. Magnitmas
va uglerodli po'latdan tayyorlangan elementlar induktordan
kattajada katta masofaga uzoqlashtirilgan (kamida uning bitta
bo'lishi kerak. O'lchamlari katta bo'lmagan pechlarga
konstruksiyaga ega bo'lishlari mumkin.

Yengilgan konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi
po'lat konstruksiyalardan misdan yasalgan ekran bilan
Misolning elektr qarshiligi uncha katta bo'lmaydi va elektro-
maydonda joylashtirilgan jismda quvvat ajralishi uning qarshi-
bo'lgani uchun mis ekran maydon energiyasini kam yutadi.
bo'lganda po'lat konstruksiyalarni induktorga yaqin joylashti-
mumkin, bu esa pechning gabarit o'lchamlarini kichraytiradi.

Yeni konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi tomonidan
joylashgan transformator po'lati paketlari — magnit o'tkaz-
gich bo'yicha o'tadi. Transformator po'latining magnit singdi-

ruvchanligi havonikiga nisbatan bir necha marta ortiq bo'lganligi sababli amalda butun magnit oqimi magnit o'tkazgichlardan o'tkazib induktorga mumkin qadar yaqin joylashtirilsa, maqsadga erishilishi bo'ladi, chunki bunda uning bikrligi ortadi va pech qizib kichrayadi (37- rasmga q.). Induktor 1 va 2 berk qopqoq bilan olingan 3 pech tigeli 5 va 7 metall konstruksiyalarni qizish uchun olingan 4 magnit o'tkazgich bilan o'rab olingan. Induktor 1 va 2 va yuqorida tigelni qamrab olgan suv bilan sovutuvchi bilan joylashgan.

Metallni chiqarib yuborish uchun pech 8 o'q atroflarda Induktor to'g'ri burchakli kovak o'tkazgich (mis nay)dan o'tkazib lanadi, o'tkazgichni sovutish uchun uning ichidan suv o'tkaziladi.

Rossiyaning elektr texnika sanoati chiqaradigan tigelli induksiya pechlar ИЧТ harflar (induksion, cho'yan suyuqlantiruvchi) pechning tonnalar hisobidagi nominal quyimini belgilash uchun raqamlar bilan markalanadi. Masalan, ИЧТ-1 (pech quyisi 1 ton). Bundan tashqari, markasida transformatorning quvvati markasida larda ko'rsatiladi. Masalan, ИЧТ-10/2,5 – quvvati 2,5 ming vatt teng transformatorga ega, undan tashqari ИЧТ-1; ИЧТ-2,5; ИЧТ-10 va ИЧТ-31 markali pechlar ham chiqariladi.

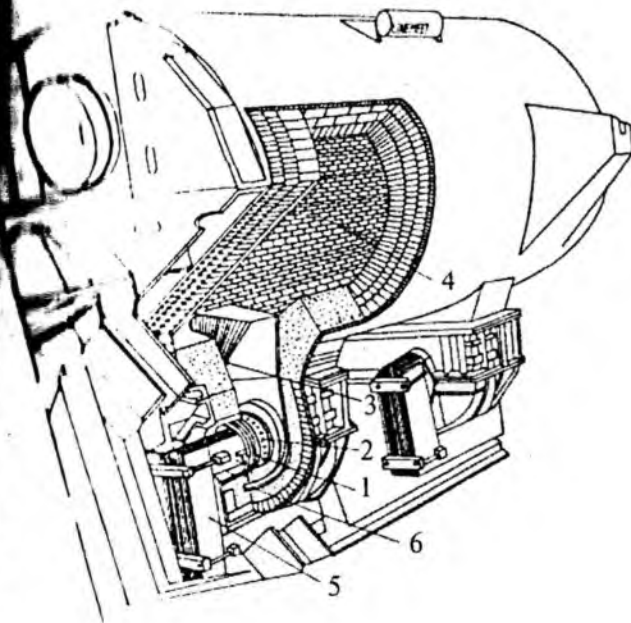
Kanalli induksion pechlar

Kanalli pechlar suyuq metallni saqlash (viderjka), uning oqimini dirish (rejim temperaturadan eng ko'pi bilan 100 °C ga yuqoriga) zarur bo'lganda qo'shimchalar kiritish uchun xizmat qiladi. Kanalli pechlar valda Rossiyada chiqariladigan ИЧКМ tipdagi kanalli pechlar nomenklaturasi keltirilgan. Kanalli pechlarning sig'imini o'lchash uchun moyillik mo'ljallanmoqda (AQSHda, masalan, sig'imi 120 va 180 l pechlar mavjud).

17-

Kanalli induksion pechlarning texnik ko'rsatkichlari

Tipi	Sig'imi, t	Quvvati, kW	Unumdorlik, t/soat
ИЧКМ-6	6	300	7,6
ИЧКМ-10	10	300	7,0
ИЧКМ-16	16	400	10,0
ИЧКМ-25	25	600	15,0
ИЧКМ-40	40	900	22,0
ИЧКМ-60	60	—	—



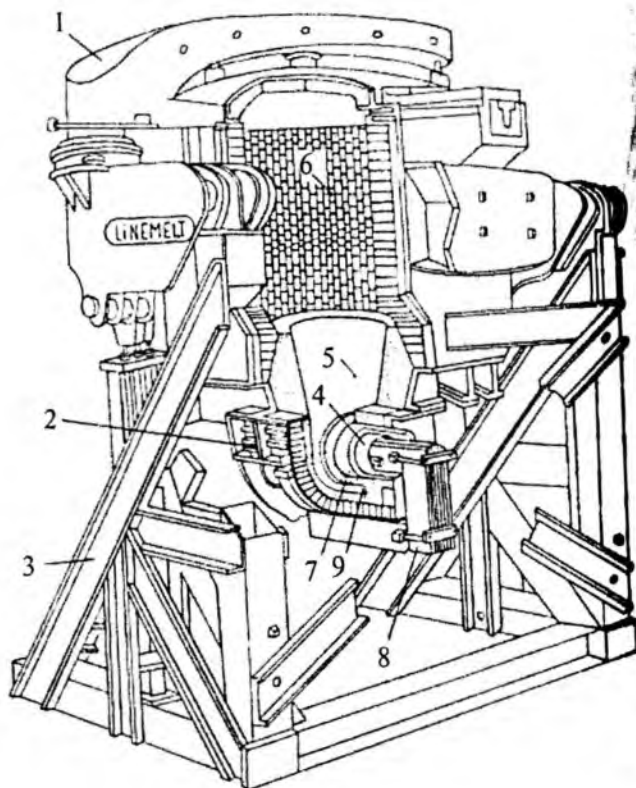
38- rasm. Baraban tipidagi kanalli induksion elektr pechi:

1 — induktor, 2 — o'g'iz, 4 — ishchi boshliq, 5 — o'zak, 6 — kanal.

Baraban pechlari Rossiyada va boshqa davlatlarda keng ko'lamda ishlatiladi, chunki undan yuqori sifatli cho'yan olish mumkin va metallni qaynatib olishdan cho'yaning 1300°C dan ortiq temperaturada o'ta qizdirilishini ta'minlaydi.

Baraban konstruksiyasi 38- rasmda ko'rsatilgan. Pech induktori 1 induktor prinsipi bo'yicha ishlaydi. Unda birlamchi chulg'am induktor o'zak 5 dagi induktor g'altagining o'ramlari, ikkilamchi induktor esa kanal 6 dagi suyuqlantirilgan metallning qisqa tutashishini ta'minlaydi. Kanal vanna 4 bilan (pechning ishchi hajmi) metallasida birlashtirilgan. O'ramda induksiyaalanadigan toklar qizdiriladi va suyuqlantirilgan muhitning berk konturda sirqalash (nylonishi) uchun sharoit yaratadi. Sirkultatsion oqimlarning shakllanishiga sabab kanaldagi metall temperaturasining vanna ishchi hajmidagi temperaturaga nisbatan yuqoriligidir. Shu sababdan kanal futerovkasining xizmat qilish muddati vannada metallni qaynatib olishdan kam bo'ladi.

Baraban pechlarning joylashishi va ishchi bo'shliqning shakliga ko'ra baraban pechlari gorizontal va vertikal pechlarga bo'linadi. Gorizontal pechlari (38- rasm) baraban tipdagi, vertikal pechlari (39- rasm) shasta tipdagi pechlari deb ataladi.



39- rasm. Shaxta tipidagi induksion pech:

1 — qopqoqni burish qurilmasi, 2 — induksion kanalli birlik, 3 — karkas, 4, 7 — induktor, 5 — og'iz, 6 — ishchi boshliqning futerovkasi, 8 — o'zak, 9 — kanal.

Shaxta tipidagi pech 1 burilma qurilmadagi qopqoq bilan qopatilgan tigol ko'rinishidagi 6 ishchi bo'shliqqa ega, qurilmaning qismida 2 induksion kanalli birlik joylashgan. Pech 3 karkasda o'rnatiladi. Kanalli induksion birlik asosiy ishchi bo'shliq bilan 5 vositasida birlashtirilgan kanalga ega. O'zak 8 dagi 4 va 7 induktorlar bilan qamralgan.

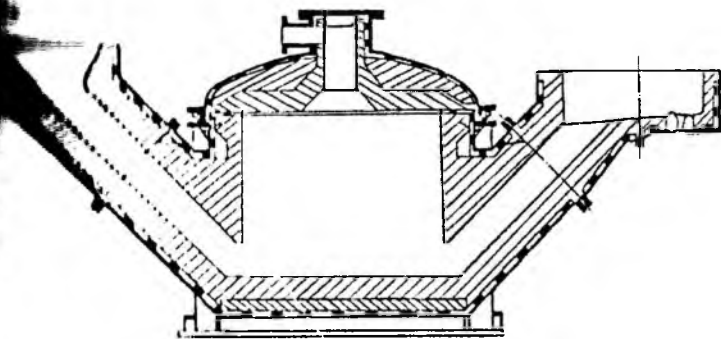
Kanalli pechlardan faqat bir-biri bilan almashiniladigan qopqoqlar bilan kanal bloklari ishlab chiqilgandan so'ng, suyuq cho'yanni qaynatish uchun keng ko'lamda foydalanila boshlandi. O'zaro almashiniladigan kanallik kanal blokini pech vannasi bilan tutashadigan joyida mustahkamligi muammosini chokni sovitish, shuningdek, metall konstruktsiyalar va chokni unga metall sizib kirishidan saqlaydigan yoxlit olovbardosh g'ishtni qo'llash vositasida hal etilganidan ko'proq gina mumkin bo'ldi.

metallni qaynatish sharoitlarida kanal bloklari pechni metall bilan almashtiriladi. Metall bilan almashtiriladigan kanal blokining bo'shatiladi, bu esa pechni tegishli burchakda burib olinadi. Kanal blokining konstruksiyasi jihatidan shunday bajariladi, yoki kran balka mavjud bo'lsa, uni bir necha soat ichida almashtirish mumkin. Kanal blokini almashtirishda uni o'rnatish oson bo'lishi uchun uchma-uch biriktirilgan joylardan shlakni suyuqlantirish uchun kanallardagi metall oqib oshiriladi.

Pechning pastki qismida kanal bloklarining vertikal o'qqa o'rnatilishi burchak ostida o'rnatilishi bloklarning almashtirilishini oson qiladi, kanal devoriga ta'sir qiladigan ferostatik bosimni oson o'zgartirish va futerovkaning jadal yeyilishining oldini olish uchun kanal blokining induktorining quvvati 1100 kW dan ortiq bo'lmagligi ta'minlanadi. Kanal bloklari sonini oshirish hisobiga pech quvvati oshiriladi. Pechni qiyalatish uchun ikkita tezkirli ikkita kanal blokida sızmat qiladi. Pech qiyalanishini ikkita tezkirli blok uchun qurilmada komanda apparati va ikkita moy nasosi o'rnatilgan.

Avtomatik quyish qurilmalari

Qurilmalarda qoliplarga metall quyish uchun metall temperaturasini oshirishdan saqlash va jarayonni avtomatlashtirish maqsadida avtomatik quyish qurilmasi hisoblanadigan maxsus qurilmada, kanal tipidagi ishlatiladi. ASEA firma (Shvetsiya) Presspoor tipidagi pech bunday pechga misol bo'la oladi. Bu pech kanal yordamida qizdiriladigan germetik pechdan iborat bo'lib, unda metall chiqarib berilishi metall yuzasiga yuqori qiziqish havo ta'siri hisobiga amalga oshiriladi (40- rasm).



40- rasm. Presspoor pechi.

Mashina quyish konveyeri yonidagi chuqurchada metall montaj qilingan. Qolip hovuraki ustida alohida ustunchada metall kallak o'rnatilgan, u qolip to'lganda metall uzatilishini nazorat to'xtatish uchun xizmat qiladi. Mashina orqasida boshqaruv o'rnatilgan, pultda operator-quyuvchi ishlaydi.

4.2. Po'lat suyuqlantiriladigan pechlar

Jarayonlar klassifikatsiyasi va pechlarning texnologik umumiy klassifikatsiyaga muvofiq (3- rasmga q.) quyimakorlik suyuqlantirish jarayonlari, asosan, yoqilg'i va elektr pechlarda oshiriladigan monojarayonlar jumlasiga taalluqlidir (41- rasm). Dupleks-jarayon (V-K) va qayta suyuqlantirish jarayonlari qo'llaniladi.

Davriy kontaktli monojarayon marten pechida amalga oshiriladi. Davriy tipdagi elektr pechlardagi monojarayonlar kontaktli (DP, PP) va kontaktsiz (ITP) ham bo'lishi mumkin. Quyma metalli eng ko'p tarqalgani elektr yoy yordamida suyuqlantirish metodidir.

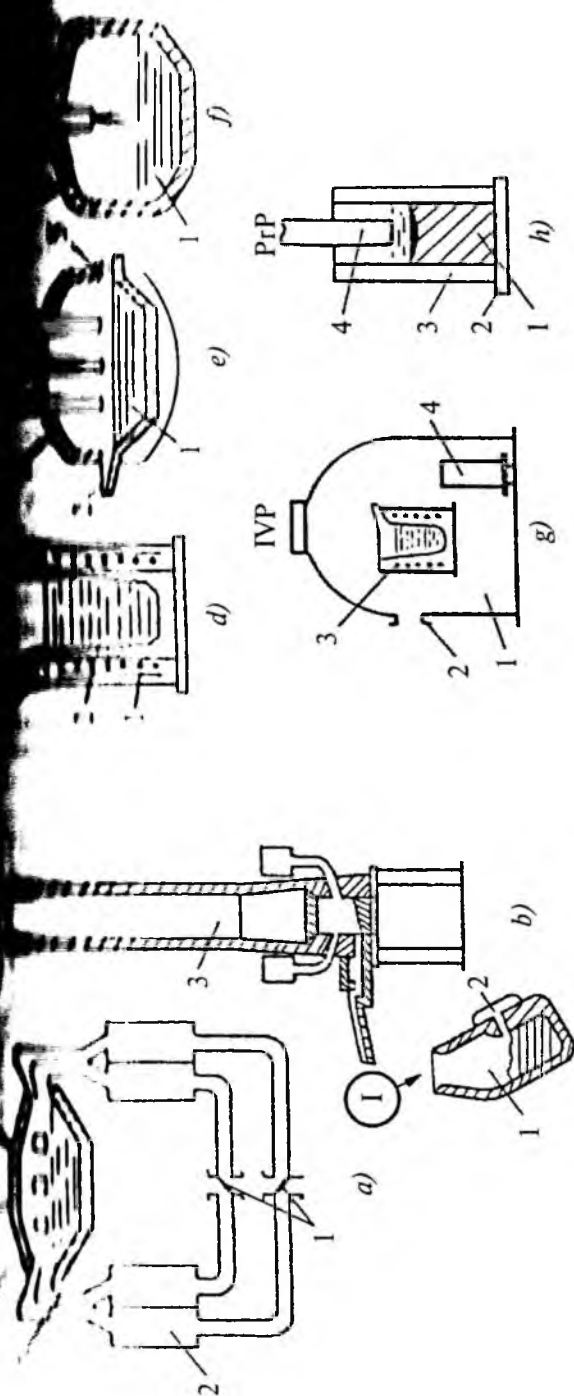
Po'lat quymalar olish uchun IVP da qayta suyuqlantirish jarayonlari va elektr vositasida qizdiriladigan shlak ostida qayta suyuqlantirish quyma olinadigan va elektr shlakli quyish (ESHQ) nomini olgan jarayon ham qo'llaniladi.

Marten pechi (41- a rasm) 6 gumbaz bilan yopilgan furna qilingan 4 vannaga ega. Vannaga 5 tuynuk orqali shixta yuklanadi. Pechning yon tomonlarida yoqilg'i yoqish uchun (gaz yoki koks) 3 kallaklar joylashgan. Gaz va havo 2 regeneratordagi filtrlar orqali ularga gaz va havo regeneratrlarni navbatma-navbat ishlashini ta'minlaydigan (havo isitishda chap regeneratrlar ishlaganda o'ng tomonidagilar chiqib ketayotgan gazlar bilan isitiladi va aksincha) 1 ta klapanlari bor kanallar sistemasi orqali beriladi.

Dupleks-jarayon vranka — *konvertor* (41- b rasm) 3 vagn bilan suyuqlantirib olish va keyinchalik suyuq metallni 1 konvertor 2 furma orqali havo bilan tozalash vositasida amalga oshiriladi.

Induksion pechlar (41- d rasm) 2 induktorli 1 tigeldan iborat bo'lib u cho'yan suyuqlantirish pechiga o'xshaydi.

Yoy pechlari (41- e rasm) shixta yuklanadigan 1 vannaga ega bo'lib bunda 4 elektrodli gumbaz chetga chetlantiriladi. Ish tuynuglari qo'shimcha ravishda shlak hosil qilish, qo'shimchalar kiritish uchun shunga o'xshashlar uchun foydalaniladi, 2 tarnovdan tayyor metall chiqarib yuboriladi. Plazma pechlari (PP) ham (41- f rasm) shixta bilan o'xshash qurilmaga ega. Pech vannasiga shixta yuklanadi, 2 gumbaz bilan 3 plazmatron o'rnatilgan.



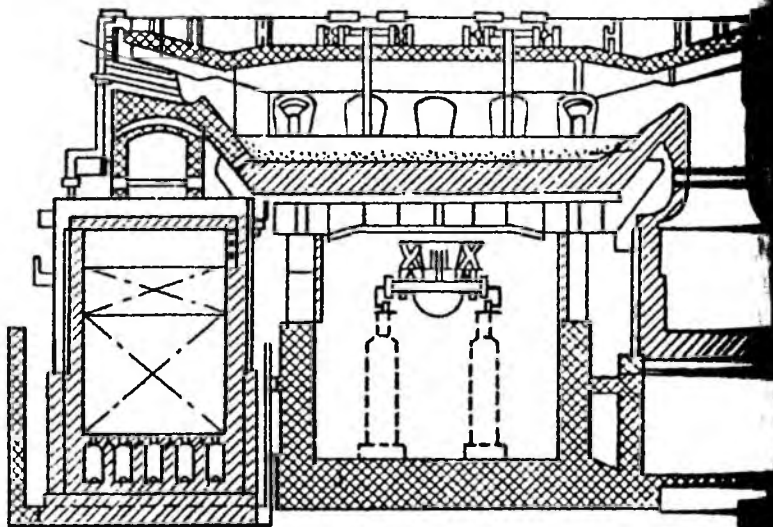
41- rasm. Po'lat quyish pechlarining texnologik sxemalari.

Induksion vakuum pech (41- g rasm) vakuum-nasosga bok yordamida biriktirilgan 1 vakuum kameradan iborat; 3 o'zi va 4 qolip kamera ichida joylashgan.

Qayta suyuqlantirish jarayoni (41- h rasm) dastlabki 4 elektr shlak pechining 3 kristallizatoridagi 2 taglikda qolipli 1 quymaga qayta suyuqlantirish yordamida amalga oshiriladi.

Marten pechlari

Marten pechlarida po'latni suyuqlantirish metallurgiyada ishlatilmoqda. Po'lat quymakorligida bu jarayondan yirik quymalarini olishda foydalaniladi. Zamonaviy marten pech sig'imi 600 t gacha bo'ladi, lekin quymakorlikda sig'imi 5–35 t pechlardan foydalanilardi. Marten pechning konstruksiyasi 42- rasm ko'rsatilgan. U vannali regenerativ pechdan iborat bo'lib, unda suyuqlantiriladi; pech kallaklari ishchi bo'shliqning uchlarida joylashgan. Ular yoqilg'i va havoni ishchi bo'shliqqa berish va yonish mahsulotlarini chiqarib yuborish uchun navbatma-navbat qiladi. Vertikal kanallar bo'yicha bir tomondan navbatma-navbat kallaklarga regeneratorlardan havo beriladi, qarama-qarshi tomondan esa yonish mahsulotlari chiqib ketadi. Regeneratorlar havoni suyuqlantirish uchun xizmat qiladi, vertikal kanallar bilan regeneratordan suyuqlantirilgan shlak idishlari — ishchi bo'shliqdan chiqib ketayotgan olib ketadigan shlak tomchilarini cho'ktirish uchun xizmat qiladi.

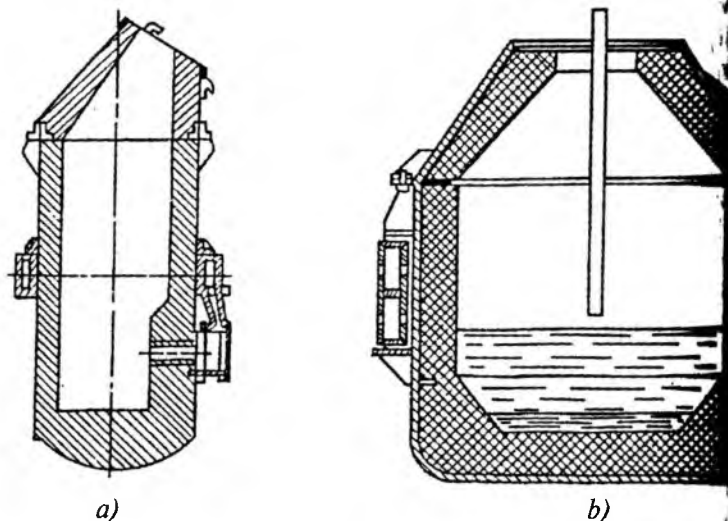


42- rasm. Marten pechi.

gaz yo'llari sistemasi — regeneratorlardan yonish mahsulot-
larib yuborish va havo berish uchun xizmat qiladi.
past kaloriyali aralash koks-domna gazi bilan isitishda
havo ham isitiladi. Shuning uchun koks-domna gazida
pechlar har tomondan ikkita regenerator (havoni isitish
gazni isitish uchun) hamda ikkita shlakovnik (havo va gaz)
ilimchi. Ishchi bo'shliq, kallaklar va vertikal kanallar pechning
ilimchi deb, ish maydonchasi ostida joylashgan shlakovniklar
regeneratorlari esa pastki qurilma deb ataladi.
pechlari kislotali (kislotali materiallar, masalan, dinas
futerovka qilingan) va asosli (asosli materiallar — magnezit va
futerovka bilan futerovka qilingan) pechlarga bo'linadi. Katta
pechda asosli pechlar tarqalgan; kislotali pechlarda po'lat,
mashinasozlik zavodlarida suyuqlantirib olinadi. Pech to'ldirish
yordamida yuklanadi. Mashina temir-tersakli yoki rudali
qurilmalar xartumi bilan oladi, old devorda qurilgan ish tuynugi
pechga kiritadi, to'ntaradi hamda bo'shatadi. Marten pechida
1600–1650 °C gacha qizdiriladi. Yoqilg'i alangasi tili issiqlik va
jarayonlari uchun foydalaniladigan kislorod manbayi bo'lib
qiladi.

Konvertorlar

po'lat suyuqlantirish jarayonlaridan farqli o'laroq, po'latni
suyuqlantirib olishda dastlabki material sifatida vagrankada
olmadigan suyuq cho'yandan foydalaniladi. Bu dupleks-
dan cho'yan quyish va po'lat quyish korxonalari birlashtirilgan
foydalaniladi.
quymakorligida, odatda, havo yon tomondan beriladigan
konvertorlaridan (43- a rasm) foydalaniladi. Lekin
po'lat quyishda foydalaniladigan suyuq po'lat olish uchun havo
tomondan beriladigan kislorod konvertorlari (43- b rasm) ishlatiladi.
metallurgiyada tarqalgan, hozirgi vaqtda bu yerda kon-
vertor sezilarli darajada marten pechlari siqib chiqargan.
konvertorning ishlash prinsipi shundan iboratki, havo kislorodi
metall bilan kontaktlashib, Fe, Si, Mn, C larni va agar
dastlabki metallida boshqa elementlar qatnashayotgan bo'lsa,
ham oksidlaydi. Natijada issiqlik ajralib chiqadi, metall tempe-
raturasi oshadi va taxminan 15 min. ichida cho'yan po'latga aylanadi.
quymakorlikda 1–5 t sig'imli va havo yon tomondan beriladigan
konvertorlar qo'llaniladi. Konvertor retortasining shakli vertikal o'qqa
qaratilgan mosimetrik (43- b rasm). Og'zining qiyaligi 30° ga yaqin,
metall suyuq metallni konvertor gorizontal holatda bo'lganda quyishga
qaratiladi. Konvertor futerovkasi dinas g'ishtdan yasalgan, kislotali.



43- rasm. Konvertorlar.

Odatda, u uch qatlamli qilib ishlanadi: g'ilofdan 15–20 mm quruq qum to'kiladi, so'ngra shamot g'isht qatlami va dinas g'isht qatlami teriladi. Havo beriladigan teshiklar maxsus olovbardosh bajariladi. Konvertor saffalarda o'rnatiladi va burish mexanizmi yordamida vertikal tekislikda turli burchaklar ostida qiyalanishi mumkin.

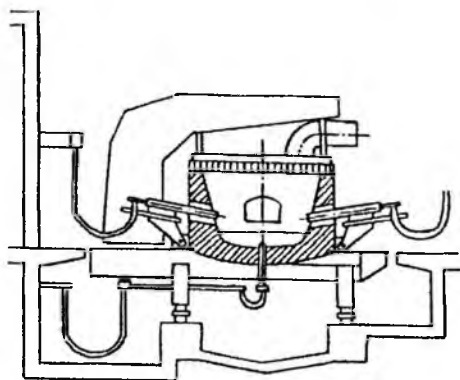
Konvertorga quyilgan suyuq cho'yan 0,02–0,04 MPa bosimda maxsus havo puflagichlar bilan 1 t metallga 720–800 m³ muddat beradigan havo bilan «produvka» qilinadi. Havo berish intensivligi 75–100 m³/min.

Cho'yan retortaga sig'imiga mos bo'lgan o'lchov mikseri yordamida quyiladi. Bu hol suyuqlantirib olishning konvertorga quyilgan cho'yanning ortiqqligi yoki kamligidan vujudga keladigan «noqamchilik» ish jarayoniga yo'l qo'ymaslikka imkon beradi. Konvertor o'qidan furmalarga qarama-qarshi tomonga 20–25° burchakda o'rnatiladi. 1–2 minut «produvka» qilingandan so'ng, agar metall larni shlaklanmaganligi aniq bo'lsa, retortaning qiyalanishi bu 10–12° gacha kamaytiriladi va metall kulrang tutun ko'p miqdorda ajralib chiqib shiddat bilan qaynashiga qadar shu holatda saqlab turiladi.

Yoy va plazma pechlari

Yoy pechlarining tuzilishi yuqorida ta'riflangan. Quyish sohasida po'latni suyuqlantirib olish uchun odatda 6 va 12 t quyim metallga bo'lgan ДСП-6 hamda ДСП-12 pechlar ishlatiladi. Lokt pechlarida suyuqlantirilganda ko'p tutun ajralib chiqadi va shu darajasi yuqori bo'ladi. Bu kamchiliklardan ishchi bo'shlig'i

yoy pechlariga
 shu gumbazda
 o'rtiga plazma-
 natron plazma
 (1-rasmga q.)
 Anod plazma-
 nechta bo'lsa,
 yoy devor-
 qiladi (44-rasm).
 pechlar sanoat-
 ta paydo bo'ldi.
 an yuqori tokka
 an, kamida o'n-
 lash resursiga ega



44- rasm. Plazma pechi.

plazmatronlar ishlab chiqilgandan so'ng ularni yaratish
 bo'ldi. Pechlar bitta yoki bir nechta o'zgaras yoki o'zga-
 tok plazmatronlari bilan jihozlangan, plazma yoyi esa plaz-
 matrodi bilan suyuqlantirilgan metall vannasi orasida yonadi.
 o'zgaras tok bilan ta'minlanganda vanna, odatda, anod
 bo'lib, uch fazali tok bilan ta'minlanganda esa vanna sxemaning
 bo'ldi. Kombinatsiyalangan tarzda qizdiradigan — plazma-
 pechlar va yoqilg'i-plazma gorekali pechlar ham mavjud.
 pechlarining barcha tiplari pech bo'shlig'ini yaxshi germe-
 tizatsiya va binobarin, kontrol qilinadigan atmosferada suyuq-
 qilishga imkon beradi. Bundan tashqari, bu pechlarda keng

pechlaridan yuqori legirlangan po'latlar va issiqqa chidamli
 suyuqlantirish uchun foydalaniladi. Bu pechlarning asosiy
 elementlari plazmatron — elektr energiyadan foydalanib
 suyuqlantirish uchun mo'ljallangan qurilma hisoblanadi.
 suyuqlantirish xilma-xil bo'lishiga qaramasdan, yoy plazma-
 natron uch tipga bo'lish mumkin [4]. Ulardan birinchisida
 plazmatron ichida uning konstruksiyasining elementi hisoblangan
 metall orasida yonadi. Bu plazmatronlar *oqimli plazmatron* deb
 ataladi. Metallurgiyada ulardan oksidlardan metallarni qaytarish uchun
 foydalaniladi, lekin kombinatsiyalangan energiya manbayili
 (yoy va yoqilg'i energiyasi) yoqilg'i-plazma gorekalari (oqim plazma-
 natron) yaratish bo'yicha ishlar olib borilishiga qaramasdan

ikkinchi tipga suyuqlantiruvchi plazmatronlar taalluqlidir,
 yoyning tayanch dog'laridan biri suyuqlantiriladigan metallga
 tashlanadi. Bu holda anod dog'ida ajralib chiqadigan issiqlik, shuning-
 yoy natijasi nurlanish energiyasi foydali hisoblanadi. Plazma
 natron, odatda, plazmatronlarning shu tipi bilan jihozlanadi.

Rossiyada ishlab chiqilgan pechlar tipining majmuyi 18- keltirilgan.

Plazma pechlari tiplarining majmuyi

Xarakteristikasi	O'lchov birligi	Pech tipi	
		P6	P10
Sig'imi	t	6	15
Quvvati	kW	6600	9900
Kuchlanish	V	660	550
Argon sarfi	m ³ /soat	20	24
Suv sarfi:			
kimyoviy usulda tozalangan	m ³ /soat	25	30
texnik usulda tozalangan	m ³ /soat	50	60
Unumdorligi	t/soat	4	9

Bu pechlarning odatdagi po'lat suyuqlantiriladigan yoy pechlariga nisbatan afzalliklaridan biri — grafit elektrodlarining bo'linishi bu esa metall uglerodlanishining to'la oldini oladi va kam to'la po'lat suyuqlantiriladi. Bundan tashqari, bu pechlar pech bo'linishi germetizatsiyalashga yordam beradi. Grafit elektrodlar uchun kiritish germetik qurilmasini hozircha yaratish imkoni bo'lmaganligi sababli, ulardan farqli o'laroq, plazmatronlarning suv bilan suyuqlantiriladigan metall korpuslarini zichlash katta qiyinchiliklar tug'dir. Bu narsa pech bo'shlig'ida suyuqlantirish jarayonida berilgan gaz atmosferani (neytral, oksidlovchi yoki qaytaruvchi) saqlab qolish va uni berilgan dastur bo'yicha o'zgartirishga imkon beradi.

4.3. Rangli qotishma suyuqlantiriladigan pechlar

Jarayonlar klassifikatsiyasi

Rangli qotishmalar ularni suyuqlantirish sharoitlariga ko'ra to'rt guruhga bo'linadi: aluminiy, magniy va rux qotishmalari; nikel qotishmalari; titan va qiyin eriydigan metallar asosida to'zlangan qotishmalar.

Aluminiy, magniy va rux qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun yoqilg'i va elektr pechlarida monojarayonlar ham, shuningdek, jarayonlar ham qo'llaniladi (45- rasm). Polijarayonlardan quyida

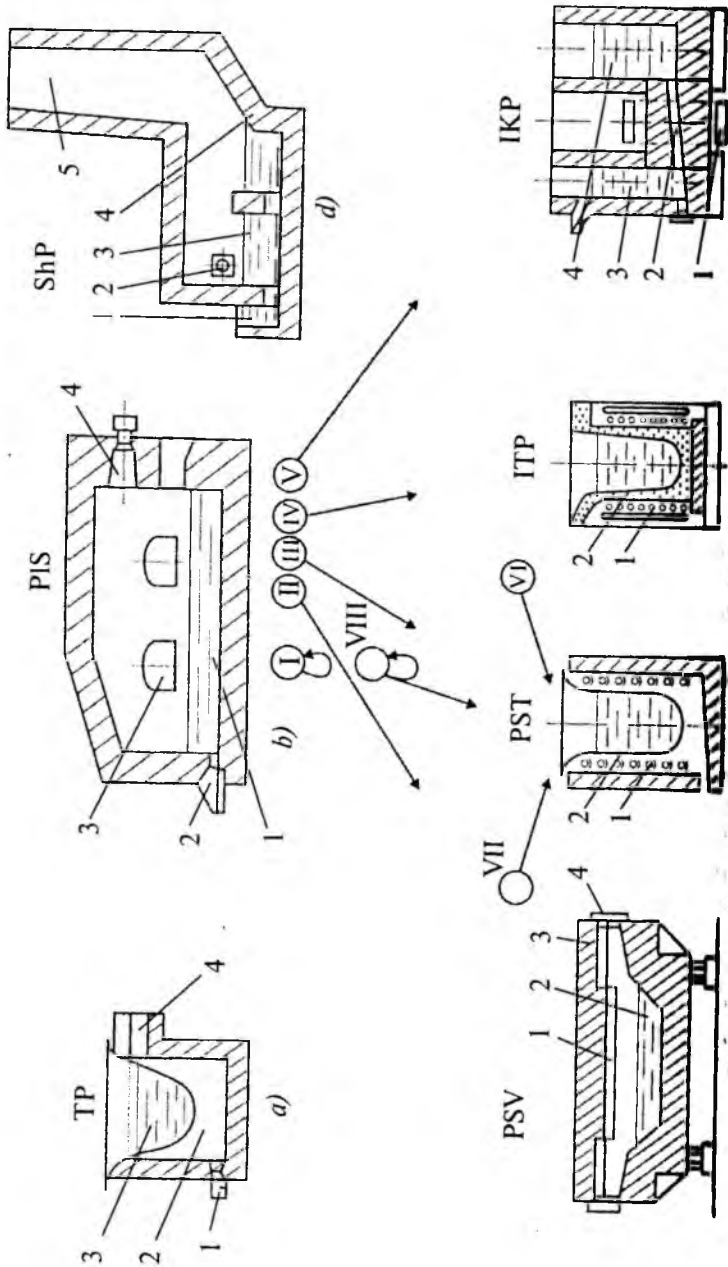
ishlab va ko'plab ishlab chiqarishda foydalaniladi. Bunday suyuqlantirish jarayoni yoqilg'i pechlarida (odatda, bu statsionar pechlari - PIS), me'yoriga yetkazish va aralashmalardan tozalash uchun tarqatish pechlarida (odatda, ular tigelli qarshilik pechlari - PST) bajariladi. Bunda dupleks-jarayondan tashqari jarayon ham (45- rasm, VIII) mumkin. Tripleks-jarayonda suyuqlantirish operatsiyasi PIS da bajariladi, so'ngra kutish pechiga o'tiriladi (46- rasm, PIS) va bundan keyin tarqatish pechlariga quyiladi. Suvoqitish hajmi katta bo'lganda kontaktsiz suyuqlantirish usuli afzal bo'ladi: dupleks ITP-PST, IKP va boshqalar. Buning uchun yoqilg'i jarayonlari ham kontaktsiz metodda (45- a rasm, PIS) amalga oshiriladi. Magniy qotishmalari uchun kontaktsiz suyuqlantirish qo'llash zarur, chunki magniy juda aktiv metall, oson oksidlanadi va havo bilan kontaktlashishni cheklashga oid choralarni o'tkazish vaqtida ham nazarda tutishga to'g'ri keladi.

Aluminiy qotishmalari suyuqlantirish uchun so'nggi vaqtgacha faqat jarayonlar (2- rasmga q.) qo'llanilar edi. Lekin energetik jihatdan kontaktsiz jarayonni amalga oshirish foydali bo'lganligi uchun aluminiy qotishmalarni suyuqlantirib olishda shaxta-alanga pechlaridan (45- rasm, KIP) foydalana boshladilar.

Bronza va nikel qotishmalarni suyuqlantirib olishda, asosan, mono-energiya qo'llaniladi. PIS va PIV yoqilg'i pechlari o'zining konstruktiv jihatidan aluminiy qotishmalarni suyuqlantirib olishda foydalidir. Bronza yoqilg'i pechlaridan tafovutlanadi (45- rasm, PIS), chunki bronza qotishmalari uchun ancha yuqori temperatura talab etiladi. Bronza suyuqlantirish uchun yoy pechlarini va ba'zi nikel qotishmalari uchun fazali po'lat suyuqlantirish pechlarining ishlatilishi shu usul bilan tushuntiriladi (41- rasm q.). Tarkibida oson oksidlanadigan elementlar bor nikel qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun vakuum pechlaridan foydalaniladi. Jezlarni suyuqlantirish uchun induksion suyuqlantirish metodlari (46- d va e rasm, ITP, KIP) qo'llaniladi. Titan qotishmalari va qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish uchun faqat qayta suyuqlantirish jarayon- usulidan foydalaniladi. Titan va qiyin metallarni suyuqlantirish uchun yoy, elektron-nur va plazma-yoy qayta suyuqlantirish pechlaridan foydalaniladi (47- rasm).

Pechlarning texnologik sxemalari

Yoqilg'i yoqilg'i pechi (45- a rasm) metall uchun grafit, po'lat yoki qotishma uchun foydalaniladi. Bo'shliq 2 da 1 gorelkalar yordamida gaz yoki yoqilg'i yoqiladi, yonish mahsulotlari 4 tutun yo'lga ketadi. Shixta metallarni pechga yuklanadi, suyuqlantiriladi, so'ngra qotishma talab qotishma uchun konditsiyagacha yetkaziladi.



pechini (45- b rasm) tigelli pechdan farqi shundan ibo-
ratidagi suyuqlanma pech atmosferasi bilan kontaktlanadi.
1 tuynuk orqali yuklanadi, gaz 4 gorelkalar yordamida
suyuq metallni chiqarib yuborish uchun 2 lyotka bor.

alanga pechi (45- d rasm) shixta suyuqlantiriladigan
alastuga va metall to'planadigan 3 vannaga ega. Vanna
bo'lak joylashgan. Metallni tarqatish uchun 1 kamera xizmat
pechlari aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun

qotishmalarini suyuqlantirish uchun mo'ljallangan *statsionar*
pechlari (46- a rasm) 1 vanna ustida joylashgan gorelkalar
qotishmalar vositasida isitiladi. Shixta materiallari 3 tuynuk
orqali, tutum gazlari 4 gaz yo'liga ketadi. Bu pechlarning
ichida katta bo'ladi va ishlab chiqarishning tegishli hajmlarida

chiqarish hajmi katta bo'lmaganda *grafit tigelli yoqilg'i*
yoki *baraban tipidagi burilma pechlardan* (46- b rasm)
foydalaniladi. Bu pechda suyuq yoqilg'i 2 forkamerada 1 forsunka
orqali yoqiladi; gazlar 3 kanaldan 5 ishchi bo'shlig'iga keladi;
1 tuynuk orqali amalga oshiriladi.

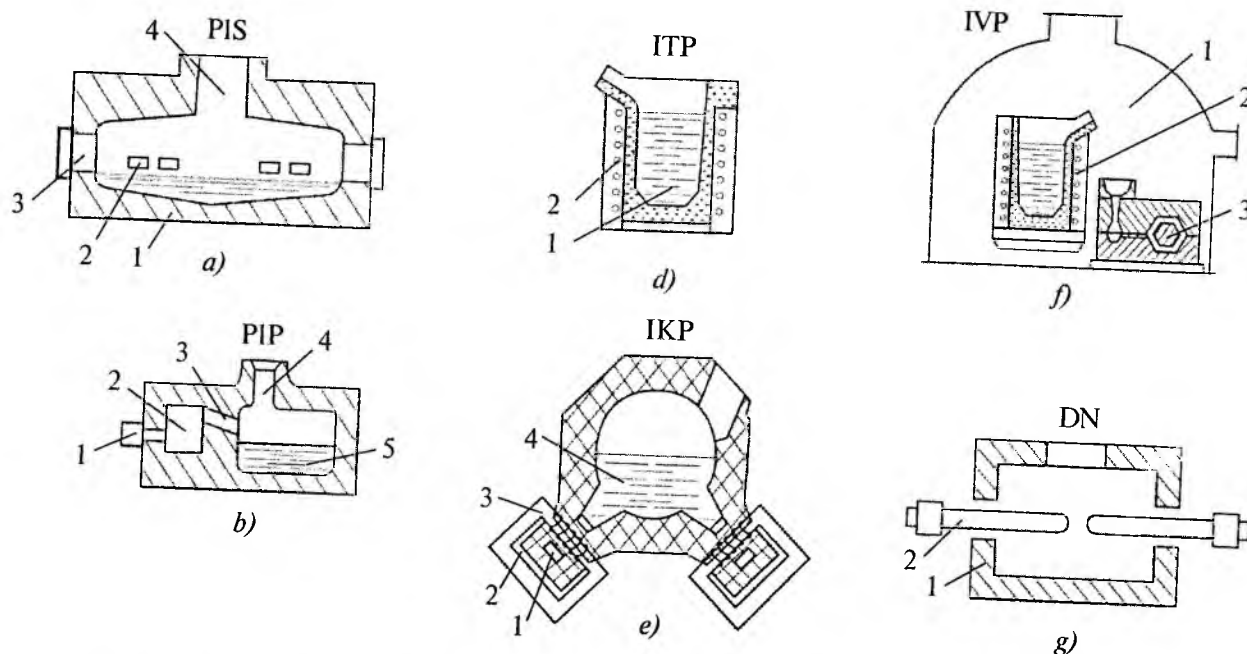
qotishmalarini suyuqlantirish uchun shaxta-alanga pechlari
(46- c rasm) ularning issiqlik FIK deyarli yuqori bo'lishiga qaramasdan,
kamdan kam ishlatiladi. Elektr pechlari (46- d, e, f, g rasm)
qotishmalarini ham, nikel qotishmalarini ham suyuqlantirib olish
uchun ishlatiladi.

qarshilik elektr pechlari (45- f rasm) uncha katta bo'lmagan
qotishmalarida suyuqlantirib olishda, shuningdek, tarqatish pechlari
uchun katta keng ko'lamda tarqalgan. Tigel 2 da qotishma tayyor-
lash uchun 1 optikal yordamida qizdiriladi.

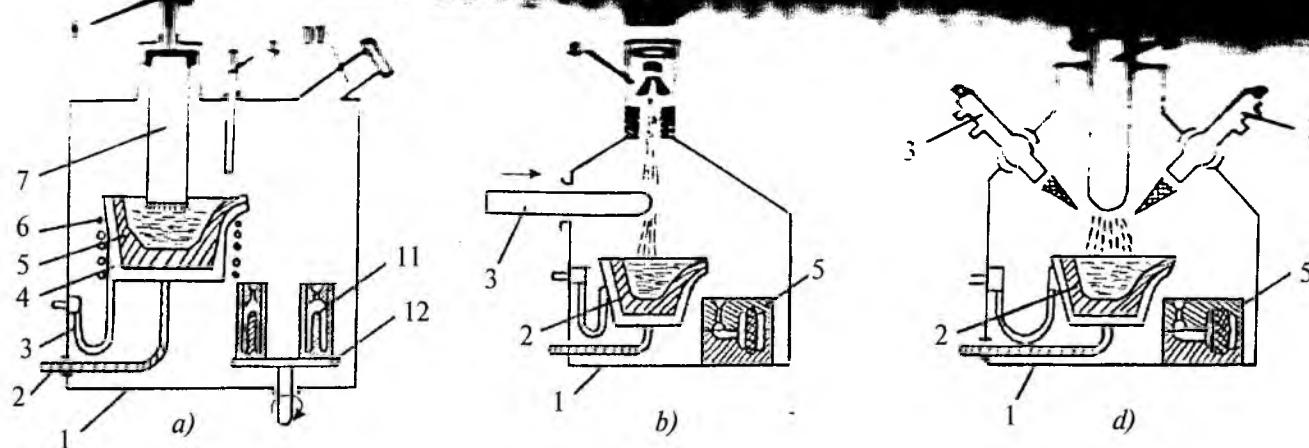
qarshilik pechi deb ataladigan pechda (45- e rasm) 2 vanna
ustida joylashgan 1 qizdirish elementlari vositasida qizdiriladi.
1 ga 4 tuynuk orqali shixta yuklanadi. Metall pechni qiyalatib

induksion pech odatdagidek tuzilgan (46- d rasm). Tigel 1 da
joylashadi, 2 induktor tigelni qamrab olgan va metall massasida
energiyasini generatsiyalab uyurma toklarni hosil qiladi. Mis
qotishmalarini suyuqlantirish uchun pechlarning ILT seriyasidan,
qotishmalarini suyuqlantirish uchun esa IST seriyasidan foyda-

induksion pechlar tigel yoki baraban tipida, bitta yoki
2 tigelli bo'lishi mumkin. 45- h rasmda ikkita tigelli pech ko'r-
satilgan. 1 da 1 induktor issiqlik ajralib chiqadigan 2 kanallarni
qamrab olgan. Bu kanallar 3 va 4 tigellarni birlashtiradi. Metall
qotishmalaridan tarqatiladi, 4 tigelga esa yuklanadi.



46- rasm. Mis va nikel qotishmalarini suyuqlantirish pechlarining texnologik sxemalari.



47- rasm. Titanli qotishmalarni va qiyin eriydigan metallarni suyuqlantirish pechlarining texnologik sxemalari.

Tigel yoki baraban tipidagi kanalli pechlar, asosan, jezlarni suyuqlantirish uchun ishlatiladi (ILK seriyali pechlar). Baraban tipidagi pechlar (46- e rasm) sig'imi tigel tipidagi pechlar sig'imiga nisbatan katta bo'ladi. Metall joylashgan 4 barabanning pastki qismida, odatda bir nechta induksion elementlar bo'ladi: 3 birlamchi o'ramli 2 o'za suyuq metalli 1 kanalni qamraydi. Suyuq metall ikkilamchi o'ramli vazifasini o'taydi va unda issiqlik energiyasi generatsiyalanadi.

Induksion vakuum pechlari (46- f rasm) nikel qotishmalarini suyuqlantirish uchun qo'llaniladi. Vakuum kamerasida 2 pechning o'zi ham, 3 qolip ham joylashadi.

Yoy pechlari, asosan, bronzani suyuqlantirish uchun qo'llaniladi. Ular mustaqil yoyli pechlardir (46- g rasm). Ular baraban tipidagi 1 ishchi bo'shlig'iga ega, unga yon tomonlaridan grafitlantirilgan 2 elektrodlar kiritilgan, bu elektrodlar orasida yoy yonadi.

Titan qotishmalari va qiyin eriydigan metallarni suyuqlantirish uchun pechlarning uchta tipidan foydalaniladi: vakuum-yoy, plazma va elektron-nur pechlari.

Elektrod sarflanadigan *vakuum-yoy pechi* (47- a rasm) suv bilan sovitiladigan 4 mis tigel joylashgan 1 vakuum kamerasiga ega. Tigel tashqi muhit bilan 2 elektr kabeli va suv bilan sovitish shlangasi 3 vositasida bog'langan. Tigel atrofida yoy razryadini fokusga to'plash va suyuq metallni aralashtirish uchun mo'ljallangan 6 solenoid joylashgan. Qayta suyuqlantiriladigan metall va suv bilan sovitiladigan tigel devorlarida qotib qolgan qotishma qatlamidan iborat 5 garnisaj tigel futerovkasi bo'lib xizmat qiladi. Elektrod vazifasini, odatda, shixta yombisi o'taydi. Lekin ba'zan sarflanmaydigan elektrodan foydalaniladi, shixta yombisi esa alohida uzatiladi. Shixta yombisi 8 elektrod tutgichga mahkamlangan va u erigan sayin uni pastga siljitadi. Qiyin eriydigan massani eritish uchun tigelning quyish burnida sarflanmaydigan 9 yordamchi elektrod bo'ladi. Jarayon 10 tuynukcha orqali kuzatib turiladi. Qolip 11 lar 12 burilma stolda joylashgan.

Elektron-nur pechi (47- b rasm) shunga o'xshash qurilgan bo'lib, faqat issiqlik energiya manbayi 4 elektron to'p bo'ladi. Vakuum kamera 1 da, shuningdek, suv bilan sovitiladigan 2 garnisaj tigel va 5 qolip joylashgan. Shixta yombisi yon tomondan uzatiladi.

Qayta suyuqlantiruvchi plazma pechlarida (47- d rasm) ham 1 vakuum kamerasi, 2 tigel va 4 shixta yombisini eritadigan bir nechta 3 plazmatron bor. Suyuq metall 5 qolipga, shuningdek, 2 burilma tigeldan quyiladi.

Yoqilg'i pechlari

Juda yuqori unumdorlik olish va yirik qoliplarga quyish uchun bir marta suyuqlantirganda ko'p miqdorda suyuq metall olish zarur bo'lgan hollarda, mis va aluminiy qotishmalarini suyuqlantirib olish

uchun qaytaruvchi alanga pechlaridan foydalaniladi. Ular yoqilg'ining yonishi natijasida hosil bo'ladigan alanga bilan qizdiriladi. Issiqlik metallga alangadan nurlanish orqali yoki qizigan gumbazdan qaytishi hisobiga uzatiladi. 48- rasmda mis qotishmalarini suyuqlantirish uchun mo'ljallangan qaytaruvchi burilma pech sxematik ravishda ko'rsatilgan.

Yuqori darajada unumdorligi, sig'imining kattaligi va xizmat ko'rsatishining soddaligi tufayli qaytaruvchi alanga pechlari aluminiy qotishmalarini tayyorlash uchun asosiy suyuqlantiruvchi agregat hisoblanadi. Katta hajmlarda ishlab chiqarishda alanga pechlarining ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'lsa ham, shuni hisobga olish lozimki, ularning termik FIK past bo'ladi, metall kuyindisi nisbatan yuqori va butun suyuqlantirish sikliga nisbatan shixtani pechga yuklash ko'p vaqt davom etadi.

Hozirgi vaqtda aluminiy qotishmalari tayyorlanadigan pechlar konstruksiyasining bir nechta rivojlanish yo'nalishlari mavjud. Birinchi yo'nalish — bu kamerali pechlar konstruksiyasini yanada takomillashtirishdir. U, asosan, pechning issiqlik quvvatini oshirish, vananing chuqurligini kamaytirgan holda uning yuzasini kattalashtirish, pechlarini ancha takomillashgan rekuperatorlar bilan jihozlashdan iborat. Bunday pechlarning termik FIK 31–40% ni tashkil qiladi [1].

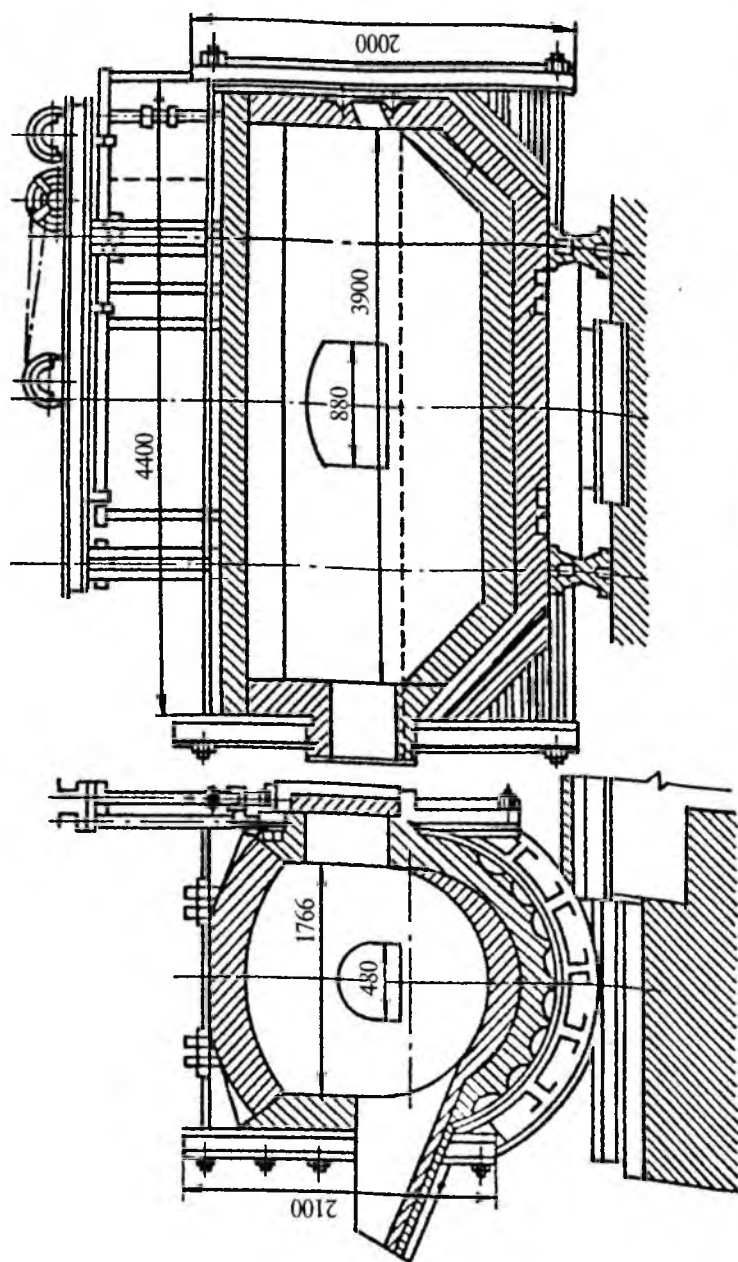
Ikkinchi yo'nalish — shixta yuklash vaqtini keskin qisqartirish hisobiga yuqori unumdorlikni ta'minlaydigan konstruksiyani ishlab chiqish. Bunga «Kayzer Aluminium» (AQSH) firmasi zavodlarida ishlaydigan pechlar misol bo'lishi mumkin. U yerda o'rnatilgan yangi pechlarning katta qismi qutisimon tipdagi eski pechlar o'rningiga yumaloq shakl va olinadigan gumbazga ega. Bunday pechlarning yaratilishiga tarkibida aluminiy oksidining miqdori 85% dan ortiq va aluminiy bilan ho'llanmaydigan olovbardosh materialning yangi tipi — Lo-Silning ishlab chiqilishi sabab bo'ldi. Bu — qalin devorli futerokadandan voz kechishga va olovbardosh loy asosida tayyorlangan, shuningdek, suyuq aluminiy bilan ho'llanmaydigan gidravlik jihatdan tutib qoladigan tiqma massadan foydalanishga imkon berdi. Yumaloq pechga shixta maxsus sig'im — tagi ochiladigan kyubel yordamida ko'prikkran bilan ust tomondan yuklanadi. Vanna kranda o'rnatilgan qo'riqch bilan gumbaz olib qo'yilganda aralashtiriladi.

Yumaloq shakldagi pechlar quyidagi afzalliklarga ega:

- shixta quyimlarining hajm bo'yicha yaxshi taqsimlanishi;
- tozalash osonligi;

— suyuqlantirib olish davomiyligi ortishi tufayli unumdorlikning ancha yuqoriligi;

- pechni ta'mirlash muddatining qisqarishi;
- shixtani istalgan taradan yuklash mumkinligi.

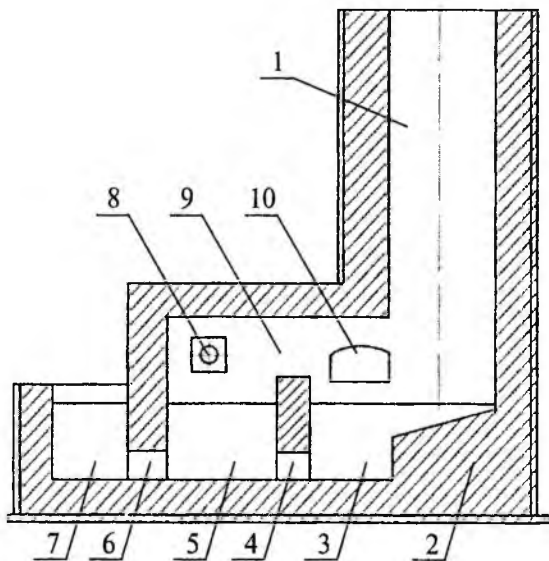


48- rasm. Mis qotishmalarini suyuqlantirishga mo'ljallangan burilma alanga pechi

beriladigan havoni rekuperatorida isitish hisobiga alanga pechining FIK ning jiddiy oshishiga erishish mumkin. Keramik rekuperator beriladigan havoning 200–250 °C gacha isishini ta'minlaydi, shu pechning FIK ni 31–35% gacha yetkazishga imkon beradi. Metallurgiya texnologik markazi NBF (Angliya)ning hisoblariga ko'ra beriladigan havoni 400 °C gacha qizdirilganda yoqilg'i sarfi 20% gacha kamayadi.

Rossiyadagi Penza politexnika institutida ishlab chiqilgan va joriy shaxta pech konstruksiyasi 49- rasmda ko'rsatilgan. Pech 1 shaxtaga gaz gorelkalari o'rnatilgan 9 qaytarish qismiga ega. Qaytarish qismi 7 to'siq bilan 3 va 5 kameralarga taqsimlangan. To'siqning pastki qismida suyuq metallning o'tishi uchun teshik bor. Aluminij qotishma pech tubi 2 da suyuqlantirib olinadi. Kamera 3 da birlamchi qotish qotiladi, u 10 tuynuk orqali chiqarib yuboriladi. Tayyor qotishma quyishga berish uchun 5 asosiy kameradan 6 to'siq bilan ajratilgan cho'ntak bor. To'siq 6 va 4 lardagi tuynuklar yuzasi shunday nisbatda bo'ladiki, 5 kameradagi qotishma 2 tubdagi qattiq quymalarga issiqlik uzatib sovinmaydi va 7 cho'ntakdagi qotishma quyishda talab qilinadigan temperaturaga ega bo'ladi.

Bu pechlarning afzalligi shundan iboratki, ularning FIKi yuqori va metall kuyindisi qaytargichli pechlardagiga nisbatan ancha kam bo'ladi. Bor ma'lumotlarga ko'ra [1] shaxta-qaytargichli pechlarning FIKi 61,5%, kuyindi esa 1% dan ortmaydi.



49- rasm. Penza politexnika institutida ishlab chiqilgan shaxta-qaytarish pechining konstruksiyasi.

Elektr pechlari

Aluminiy qotishmalarini tayyorlash uchun qo'llanilgan bir pechlar 1918- yilda Beyli ishlab chiqqan pech bo'lgan. Pechlar sig'imi 300 kg ni tashkil qiladi. Pechning yuqori qismida grafit, neft koksi donalari bilan to'ldirilgan korborund nov bo'lgan. Bu orqali tok o'tkazilar edi.

Hozirgi vaqtda metallni suyuqlantirib olish uchun qarshilik elektr pechlari kamdan kam qo'llanilishiga qaramasdan (chunki unumdor va mexanizatsiyalash darajasi zamonaviy talablarga javob bermay ulardan mikserlar sifatida keng ko'lamda foydalaniladi. Bunda quy jarayonida berilgan temperaturani saqlab turish uchun katta issiq quvvati talab etilmaydi. Mikserlar sifatida ishlatiladigan, sig'imi turlic bo'lgan qarshilik elektr pechlarining tipik xarakteristikasini keltiram

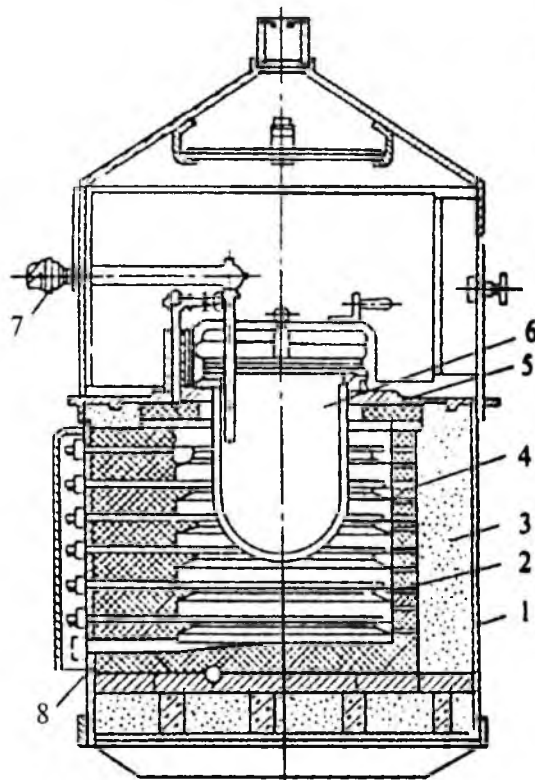
Pech sig'imi, t	Terilgan g'isht yuzasi, m ²	Pech quvvati, kW	Terilgan g'isht orqali yo'qotiladigan issiqlik, kW · soat
5	17,5	150	28,6
10	27,9	200	14,8
20	46,2	300	26,3
30	62,4	400	37,2
40	77,4	500	47,7
60	107,0	600	68,6

Taqsimlash pechlari sifatida tigelli qarshilik elektr pechlari keng tarqalgan. Ular ancha sodda tuzilgan (45- rasmga q). Ishlab chiqarish ko'лами nisbatan katta bo'lmaganda aluminiy va magniy qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun bu pechlar qulay bo'ladi. Ularning texnik xarakteristikalari 19- jadvalda keltirilgan.

CAT tipidagi tigelli elektr pechlar (50- rasm) po'lat listdan qilingan 1 payvand g'ilofga ega. Pechlar futerovkasining olovbardosh 2 qismi fason shamot g'ishtlardan, 3 issiqlik izolatsion qismi esa g'ishtlardan va asbest listlardan bajarilgan. Spiral nixrom qizdirish elementlari 4 ish kamerasing yon yuzalarida elektr korund tokchalarida joylashtirilgan va metall ilmoqlar bilan mahkamlangan. Qizdirish elementlari elektr energiya bilan bevosita tarmoqdan ta'minlanadi. Pech futerovkasining yuqori qismida olovbardosh cho'yandan tayyorlangan quyma tayanch halqa yotqizilgan. Halqaga ust tomondan 6 quyma tigel o'rnatilgan. Pechning pastki qismida tigel kuyganida qotishmani chiqarib yuborish uchun 8 nov bor. Pechlarda temperatura pechning ishchi bo'shlig'ida o'rnatilgan xromel – 7 alumel termopara vositasida o'ziyozar avtomatik potensiometr bilan rostlanadi.

**Aluminiy qotishmalarini suyuqlantiruvchi qarshilik elektr
pechlarining texnik xarakteristikalar**

Xarakteristikalar	O'lchov birligi	Tigelli CAT						Kamerali								
		buriladigan		statsionar				buriladigan CAH			statsionar					
		0,25	0,5	0,15	0,25	0,5	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	CAM	CAK		
Pech sig'imi	t	2,5-3	3,5-4	2,5-3	3-3,5	3,5-4	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4	3,5-4	4-4,5	—	8,0	2-2,5	2,5-3
Suyuqlantirish vaqti	s	85	125	55	85	125	125	150	225	350	500	650	125	125	50	75
Ish unumdorligi	kg/s	62	83	41	62	83	90	124	186	247	310	414	124	183	41	83
Pechning issiqlik quvvati	kW	550	430	550	550	430	510	600	600	600	600	550	—	720	650	600
Solishtirma elektr energiya sarfi	kW · s/t	800	800	800	800	800	850	850	850	850	850	850	825	825	850	850
Maksimal temperatura:	°C	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1200	1200	1000	1000
metallning qarshilik elementlarining																
Tashqi o'lchamlari:	m	1,87	2,0	2,0	2,2	2,43	3,44	3,94	5,44	6,50	—	—	2,44	3,34	2,07	2,67
uzunligi		1,44	1,59	1,20	1,30	1,50	2,74	3,10	3,10	3,10	—	—	2,74	2,74	1,78	2,26
kengligi		2,38	2,62	2,09	2,05	2,34	2,80	3,16	3,16	3,16	—	—	2,80	2,80	—	2,06
umumiy balandligi																



50- rasm. CAT tipidagi tigelli elektr pechi.

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun qo'llaniladigan va induksion elektr pechlarning o'ziga xos konstruktiv xususiyatlari. Rangli qotishmalarni suyuqlantirish uchun bilvosita yoyli, ya'ni o'z o'rnida yonadigan yoyli baraban tipidagi pechlardan keng foydalaniladi (46- rasimga q.). Pechning futerovka qilingan barabandan iborat bo'lgan bo'shlig'i gorizontall o'q atrofida burila oladi. Barabannin o'rtasidan gorizontall o'q bo'ylab elektrodlar kiritiladi, ular yoy yonadi. Bunda elementlar kuyindisi juda ko'p bo'lishi mumkin. Shu boisdan bunday pechlar faqat bronzani suyuqlantirib olish uchun ishlatiladi.

Rangli qotishmalar suyuqlantiriladigan kanalli pechlar suyuqlantirishda qo'llaniladigan pechlardan birmuncha foydalidir. Aluminiiy qotishmalarini tayyorlash uchun gorizontall kanalli induksion pechlardan foydalaniladi. Hozirgi kunda zavodlar ishlaydigan BK-16 tipdagi kanalli induksion pechlarning texnik xarakteristikalarini keltiramiz.

Pech karakteristikasi	ИАК-6	БК-16
1	9,0	16,0
qilgan metall miqdori, t	6,0	12,7
berilgan quvvat, kW	750-1350	750-1350
o'z icha sarfi, kW · soat/t	400-450	400-430
temperatura, °C	720-780	720-780
qotish tezligi, t/soat	2,0-2,5	3,0
o'lcham, mm	60×120	60×120

Ushbu tipdagi induksion pechlarda katta temperatura gradiyentida ishlash va yetarli darajada murakkab shaklga ega bo'lgan pechlar qotish uchun eng og'ir sharoitda bo'ladi. Pech tubi toshini tiqib to'ldirish va qotish qilishda eng mas'uliyatli operatsiya hisoblanadi. To'ldirish material sinchiklab tayyorlangan bo'lishi kerak, to'ldirish materialning o'zini esa tanaffus qilmasdan bajarish zarur.

Induksion qotishda mehnatning juda ko'p sarflanishi (bunda qotish to'kish zarur bo'ladi), kanallar va induktorlarga yetish uchun talab qilinadigan quvvat yuqori bo'lganda (10 kW/dm^3 dan yuqori) qotishning turg'unligining past bo'lishi ikki kamerali induksion qotishning qo'llanilishini cheklab qo'ydi. Ularni almashtiriladigan induksion pechlar bilan almashtira boshladilar.

Ushbu qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun olib qo'yiladigan qotishdan bajarilgan kanallari bor kanalli pechlar ham ishlatiladi. Ushbu konstruksiyasi 38 va 39- rasmlarda keltirilgan konstruksiyalarga ega.

Ushbu induksion pechlar aluminiy qotishmalarni suyuqlantirishda qo'llanila boshlandi. Past navli chiqindilarni qayta suyuqlantirish bunday pechlardan foydalanish juda maqsadga muvofiq bo'ladi. Quyidagilar bilan tushuntirish mumkin: induksion pechlarda qotishlantirishda qaytmas yo'qotishlarning juda kam bo'lishi ta'minlanadi, tigelli pechlarda esa kanallarining shlak va fluslar bilan qoplab qotib qolishi bo'lmaydi. Shuning uchun tigelli induksion pechlarda cos ϕ ni past bo'lishi va ancha qimmat hamda murakkab elektr uskuna talab qilishiga qaramasdan, ularning past navli chiqindilarni suyuqlantirish uchun ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu pechlarda past navli shixtada qotishmalar tayyorlanishi (keyinchalik qotish bilan) fason quymakorlikda quymalar sifatining yuqori bo'lishi ta'minlanaydi. Tigelli induksion pechlarning klassifikatsiyasi va ularning iqtisodiy ko'rsatkichlari 20- jadvalda keltirilgan.

**Aluminiyni suyuqlantirishda ishlatiladigan sanoat
chastotali tigelli induksion pechlarning xarakteristikalar**

Firma	Pech tipi	Sig'imi, t	Quvvati, kW	700 °C da unumdorligi, t/soat
ВНИИЭТО (Rossiya)	ИАТ-0,4	0,4	125	0,28
	ИАТ-1,6	1,6	300	0,5
	ИАТ-2,5	2,5	700	1,25
	ИАТ-6	6	1100	2,0
	ИАТ-16	16	2500	4,7
	ИАТ-25	25	3500	6,5
Braun Boveri (FRG)	—	0,3	110	0,185
	—	0,6	160	0,28
	—	1,2	260	0,475
	—	2,1	480	0,9
	—	3,0	700	1,25
	—	4,5	1000	1,8
	—	0,5	100	0,19

QUYMA QOTISHMALARNI SUYUQLANTIRISH

Metall shixta materiallari

163

ПФ3 — fosforli, ПБК1, ПБК2, ПБК3 — yuqori sifatli. Marka quyma cho'yanniki kabi tarkibidagi Si miqdori bilan aniqlanadi. Si qayta ishlanadigan cho'yanlarda ancha kam bo'ladi. Bu tashqari, qayta ishlanadigan cho'yanlar Mn bo'yicha gruppalar P bo'yicha klasslarga va S bo'yicha kategoriyalarga bo'linadi.

Tabiatan legirlangan cho'yanlar uch turga bo'linadi: xrom-ni (ТУ 14-15-84-79), titanli va titan-misli (ТУ 14-15-4-74). Xrom-ni cho'yanning 10 ta markasi chiqariladi: ЛХН1 (Ni + Co 0,2%; Cr 0,1,2%) dan ЛХН10 (Ni + Co 1%; Cr 2,3-3,2%) gacha. Titanli cho'yan (БТЛ3-БТЛ7) tarkibida 0,3-1,2% Ti, titan-misli cho'yan (БТМЛ3-БТМЛ7) tarkibida 1-3% Cu va 0,3-1,2% Ti bo'ladi. U shixtaga qo'shilsa, kam legirlangan konstruksion cho'yanlarni suyuqlantirib olish uchun imkon tug'iladi.

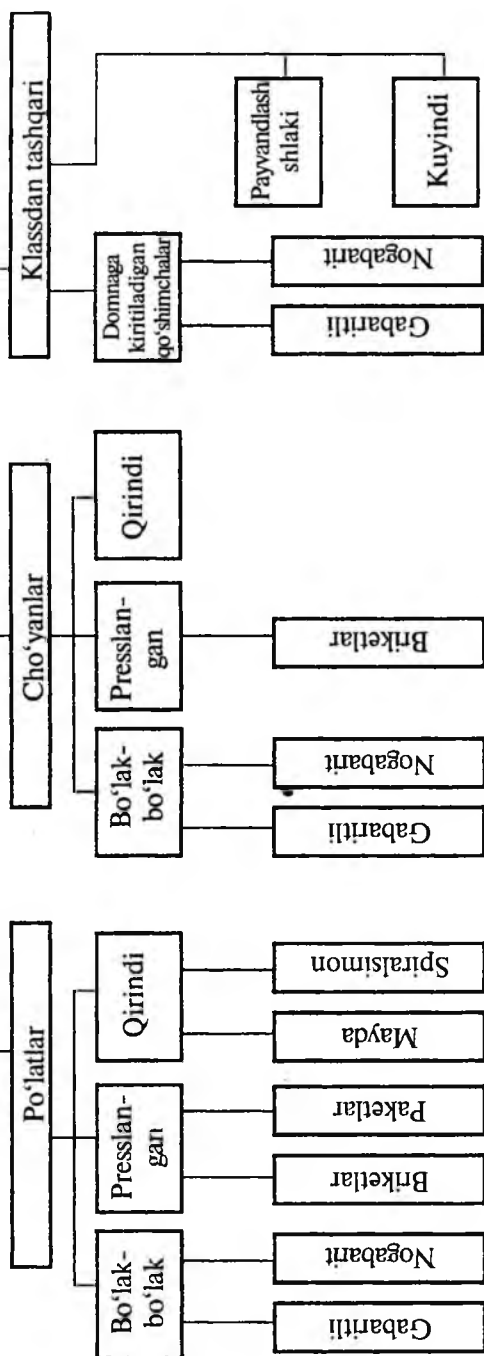
Ikkilamchi qora metallar (ГОСТ 2787-75). Ular jumlasiga cho'y va po'latning temir-tersagi, po'lat va cho'yan qirindisi, metall quymasi, shtampovka qilingan detal va shunga o'xshashlar kiradi. Ikkilamchi qora metallar klassifikatsiyasi 51- rasmda tasvirlangan. U kategoriyalarga (A — uglerodli va B — legirlangan), klasslarga (po'lat va cho'yan) va turlarga bo'linadi. Turi fizik holati va sifat ko'rsatkichlari bilan aniqlanadi: bo'lak-bo'lak, presslangan, qirindi; gabaritli, no-gabarit va h.k. Domnaga kiritiladigan qo'shimcha, metall zarari (kuyindi) va payvand shlaki klassga bo'linmaydi, ular suyuqlantirishda quymakorlikda ishlatilmaydi. Legirlangan chiqindilar va temir-tersak kimyoviy tarkibi bo'yicha 67 ta gruppaga bo'linadi.

Ferroqotishmalar. Metall shixta materiallarining bu keng gruppasiga bitta yoki bir nechta legirlovchi elementlari bo'lgan temir qotishmalarini o'z ichiga oladi. Asosiy legirlovchi element, odatda, qotishmalarining nomida ko'rsatiladi: ferrosilitsiy — Si, ferromarganes — Mn, ferroxrom — Cr va h.k.

Ferromarganes (ГОСТ 4755-80) kam uglerodli (C = 0,5%), o'rta uglerodli (C = 1-2%) va ko'p uglerodli (C = 7%) qotishmalarga bo'linadi. Kam uglerodli, o'rtacha uglerodli ferromarganesning tarkibida 85% Mn (tarkibidagi Mn miqdori 75% bo'lgan ФМН 2,0 dan tashqari) bo'ladi. Kam uglerodli ferromarganes markasining raqamli belgisida tarkibidagi uglerodning o'rtacha miqdori ko'rsatiladi (masalan, ФМН 1,5 tarkibida 1,5% C bo'ladi), ko'p uglerodlida esa marganesning o'rtacha miqdori (masalan, ФМН 75 tarkibida 75% Mn bo'ladi) ko'rsatilgan. Ferromarganes markasida A harfi tarkibdagi fosfor miqdorining kamligini (masalan, ФМН 78A tarkibida 0,05% P bo'ladi), K harfi tarkibdagi kremniy miqdorining kamligini (kremniy 1% gacha), C harfi tarkibdagi kremniy miqdorining yuqorligini ifodalaydi, C harfidan keyingi raqam kremniy miqdorini ko'rsatadi (masalan, ФМН 75AC6 tarkibida 6% kremniy bo'ladi).

Ikkilamchi qora metallar

Uglerodli (A), legirlangan (B)



51- rasm. Ikkilamchi qora metallar klassifikatsiyasi.

ГОСТ 1571-76) ham yetkazib beriladi. Uning tarkibida 10-
belgilanadi. Harflardan keyingi raqamlar aralashmalardan
tarkibini belgilaydi. Eng tozasi — СИЛ-00. СИЛ-2 tarki-
bi: Sn — 99,9%; Mn — 0,5%; Ca — 0,2%; Cu — 0,3%; Zn — 0,08%

har ko'rinishidagi birlamchi magniy (ГОСТ 804-72) ham
qarab markalanadi — Mr 96 (99,96% Mg) dan
99,99% Mg) gacha.

ГОСТ 859-78) tayyorlash usuliga qarab markalanadi:
har mis M0 O6 (99,99% Cu) kabi, kisloroddan tozalangan
(99,99% Cu), olovda tozalangan mis M2 (99,7% Cu) va
Cu) kabi belgilanadi.

har barcha birlamchi rangli metallar ham shunga o'xshash
har Rux (ГОСТ 3640-79): ЦВ00 (99,99% Zn), ЦВ0, ЦВ1,
ЦВ2, ЦВ3 (97,5% Zn). Qalay (ГОСТ 860-75)
(99,999% Sn) dan ОЧ (96,43% Sn) gacha. Qo'rg'oshin
(ГОСТ 77) С000 (99,999% Pb) dan С3 (99,9% Pb) gacha.
ГОСТ 849-70): Н0 (99,99% Ni) dan НЧ (97,6% Ni) gacha.
ГОСТ 5905-79): Х00 (99% Cr): Х0, Х2, Х3 (97% Cr) va h.k.

An'rinishidagi rangli qotishmalar. Quyma holatdagi
qotishmalarining (ГОСТ 295-79E) 19 ta markasi chiqariladi.
Ular harflar legirlovchi elementlarni (K — kremniy, M —
magniy va h.k.), bu harflardan keyingi raqamlar bu elementlar-
ning miqdorini ifodalaydi. Masalan, AK9 tarkibida 9% Si;
SI12,5 tarkibida 21% Si, 2,5% Cu va 2,5% Ni bor.

har holatdagi magniy qotishmalari (ГОСТ 2581-78) yuqori-
dagi markalanadi: M dan keyin keladigan harflar legirlovchi
elementlarni ifodalaydi (M — marganes, A — aluminiiy, Ц — rux,
Н — neodim va h.k.). Masalan, MA5Ц1 marka qotishma
5% Al va 1% rux borligini ifodalaydi.

har rux qotishmalari (ГОСТ 19424-74) qotishmalarining
markalanadi, quyma ko'rinishida yetkazib beriladigan
qotishmalar esa Ч (chushka) harfi qo'shib markalanadi.
har, IIAM9 1, 54 (Al — 9%, Cu — 1,5%).

har ko'rinishidagi qalayli (ГОСТ 614-73) va qalaysiz (ГОСТ
ГОСТ 78) bronza quyiladigan qotishmaning o'ziga o'xshash
har harflardan keyin tarkibidagi elementning o'rtacha
miqdorini ifodalaydigan raqamlar keladi (A — Al, Ж — Fe, Мu —
Sn, Ц — Zn, С — Pb, Н — Ni). Masalan, quyma ko'rinishi-
dagi qalayli bronza quyidagicha ifodalanadi: Бр. 03Ц8С4Н1 va h.k.

har ГОСТ 1020-77 da quyma ko'rinishida quyiladigan jezga jezning qaysi
elementlari yoki bu quyma markasi qo'llanilishi aniq ko'rsatiladi.
har ko'rinishidagi jezlarning markasida harflar quyidagilarni
belgilaydi: С — Pb, О — Sn, К — Si, Мu — М, Ж — Fe, А — Al.

Rangli metallar hamda qotishmalarning temir-tersagi va chiqindilari (ГОСТ 1639—78). Rangli metallar va qotishmalarning chiqindi (bo'lak-bo'lak temir-tersak, qirindi, kukunsimon chiqindilar, suyuq yoki bu metall asosidagi temir-tersak va chiqindilarga bo'linadi) (52- rasm). Fizik alomatlariga ko'ra temir-tersak va chiqindilar klasslari bo'linadi. A — bo'lak-bo'lak temir-tersak, B — qirindi, sim va maydonli temir-tersak, B — kukunsimon chiqindilar, Г — boshqa chiqindilar kimyoviy tarkibi bo'yicha esa grupp va markalarga bo'linadi. Gruppalar miqdori rangli metallar va qotishmalarning asoslariga qarab o'zgaradi. Sifat ko'rsatkichlari bo'yicha temir-tersak va chiqindilarning navlarga bo'linadi.

Shixta materiallarining fizikaviy xarakteristikalar. Quyiladigan qotishmalarni suyuqlantirib olishda faqat shixta komponentlarining kimyoviy tarkibi emas, balki ularning erish temperaturalar, zichligi, solishtirma sirti, to'kma zichligi (21- jadval) muhim ahamiyatga ega. To'kma zichligi haqidagi ma'lumotlardan (6) suyuqlantirish pechida shixta egallaydigan ishchi bo'shliqning hajmini aniqlash uchun, yuklash qurilmalarini hisoblash va shunga o'xshashlar uchun foydalaniladi.

21-jadval

Shixta materiallari asosiy turlarining xarakteristikalar

Material turi	Xossalari			
	Zichligi ρ , kg/m ³	Suyuqlanish temperaturasi t_{suyuq} , °C	Solishtirma yuzasi ω , m ² /kg	To'kma zichligi ρ , kg/m ³
1	2	3	4	5
Cho'yan quymasi	7000—7300	1150—1250	0,0074—0,013	3000—3500
Cho'yan temir-tersagi	7000—7600	1200—1400	0,005—0,02	1500—2500
Cho'yan qirindisi	7000—7600	1200—1400	0,14—0,16	1800—2200
Briketlangan cho'yan qirindisi	7000—7600	1200—1400	0,05—0,10	2000—5000
Po'lat temir-tersagi	7500—8000	1400—1550	0,005—0,14	500—2000
Maydalangan po'lat qirindisi	7500—8000	1400—1550	0,14—0,16	1800—2000
Briketlangan po'lat qirindisi	7500—8000	1400—1550	0,05—0,10	2000—5000
Quyma ko'rinishidagi aluminii va aluminii qotishmalari	2500—2700	590—665	0,014—0,025	1000—1500

davomi

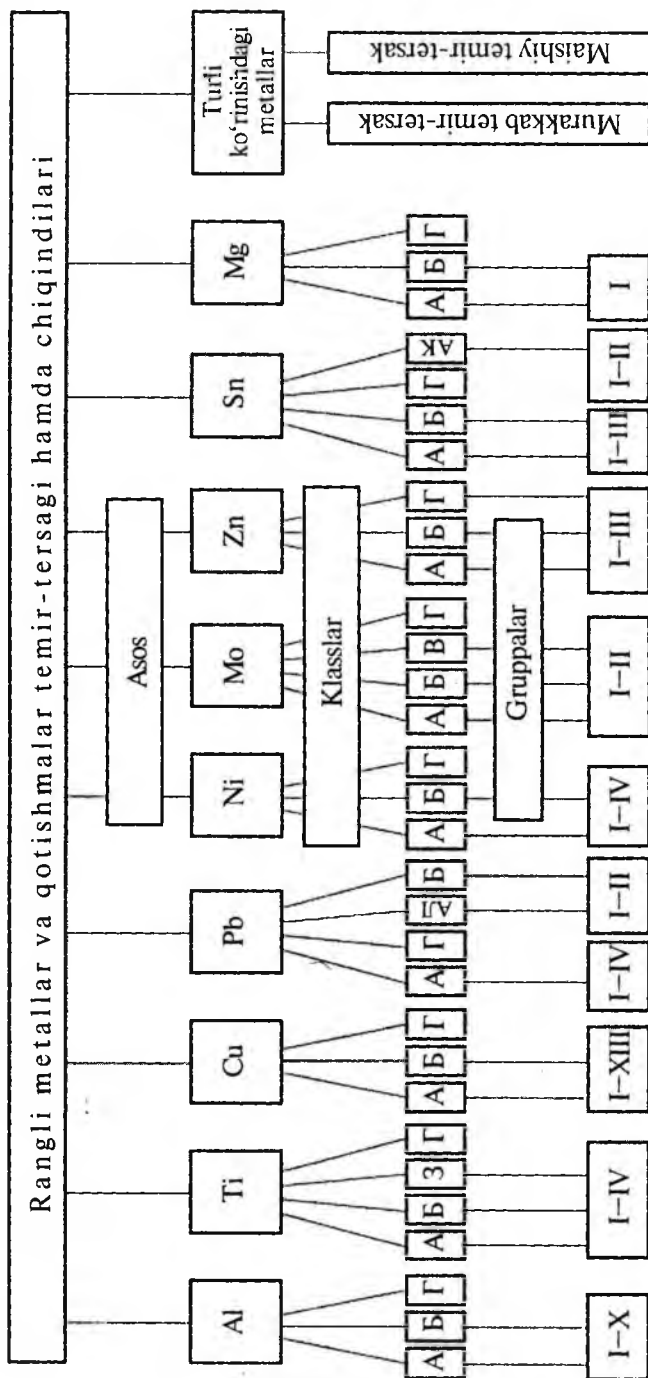
1	2	3	4	5
Aluminiy va aluminiy qotishmalarining temir-tersagi	2550—2700	590—665	0,01—0,04	500—1500
Aluminiy qotishmalarining maydalangan qirindisi va mayda temir-tersagi	2550—2700	590—665	0,28—0,32	400—800
Quyma ko'rinishidagi magniy va magniy qotishmalari	1740—1850	590—650	0,02—0,05	700—1000
Aluminiy qotishmalarining temir-tersagi	1740—1850	590—650	0,015—0,07	600—1000
Quyma ko'rinishidagi rux va rux qotishmalari	7000—7200	419—430	0,0074—0,013	3000—3500
Rux qotishmalarining temir-tersagi	7000—7200	412—430	0,005—0,02	1500—2500
Quyma ko'rinishidagi qirindisi	11340	327	0,0050—0,01	4500—5500
Quyma ko'rinishidagi qotishmalar	7300	232	0,074—0,013	3500—4200
Al va quyma ko'rinishidagi mis qotishmalari	7800—8950	900—1150	0,0074—0,013	5000
Al va mis qotishmalarining temir-tersagi	7800—8950	900—1150	0,005—0,02	1500—3000
Al qirindisi va mis qotishmalari	7800—89500	900—1150	0,14—0,16	2000—2500

Shixta komponentlarining solishtirma sirti bir-ikkita tartibga farqlanishi mumkin, bu esa elementlar kuyindisiga ta'sir qiladi. Qirindi va mayda temir-tersakning solishtirma yuzasi katta, yirik bo'lak-bo'lak shixtaning solishtirma yuzasi kichik bo'ladi. Shu boisdan suyuqlantirib olishda ularning oksidlanishini pasaytiruvchi chora-tadbirlar ko'rish zarur.

Yoqilg'i

Quyiladigan qotishmalarni suyuqlantirib olishda yoqilg'i sifatida koksdan, mazut va tabiiy gazdan foydalaniladi.

Quymakorlikda ishlatiladigan toshko'mir koksi tarkibidagi oltingugurt miqdoriga qarab KJI-1, KJI-2 va KJI-3 bilan belgilanadigan markalarga (22-jadval), fraksiyalarining o'lchamiga ko'ra klasslarga (80 va undan ortiq; 60 va undan ortiq; 40 va undan ortiq; 60 dan



52- rasm. Ikkilamchi rangli metallar klassifikatsiyasi.

gacha va 40 dan 60 mm gacha) bo'linadi. Koksning mexanik tarkibidagi ko'rsatkichlari namunani diametri 1000 mm va uzunligi 300 mm hamda 4 minut davomida $0,45 \text{ s}^{-1}$ chastota bilan aylanadigan barabanda sinab ko'rilgandan keyin kataklari 40 va 10 mm diametrdagi namuna qoldiqlari bilan aniqlanadi.

22-jadval

**Quymakorlikda ishlatiladigan toshko'mir koksining
kimyoviy tarkibi, %**

Ko'rsatkichlari		Marka uchun normalar		
		KJ-1	KJ-2	KJ-3
Tarkibidagi oltingugurt				
miqdori	o'rtacha	0,45	0,8	1,2
	ko'pi bilan	0,6	1,0	1,4
Kuli	o'rtacha	10,5	9,5	10,5
	ko'pi bilan	12,0	11,0	12,0
Namligi	ko'pi bilan	5,0	5,0	5,0
Uchuvchan moddalar miqdori	ko'pi bilan	1,2	1,2	1,1

Quymakorlikda ishlatiladigan termuantratsit (ГОСТ 7749-65) fraksiyalarining o'lchamlariga ko'ra ikkita klassga bo'linadi: 40-80 mm va 80-120 mm. Termuantratsit sifat ko'rsatkichlari bo'yicha quyidagi talablarni qoniqtirishi kerak: namligining massa ulushi - 2% gacha, birinchi nav uchun kul miqdori - 6% gacha, ikkinchi nav uchun - 10% gacha; birinchi nav uchun tarkibidagi oltingugurt miqdori - 1% gacha, ikkinchi nav uchun - 1,75% gacha; uchuvchi moddalar miqdori $40 \text{ sm}^3/\text{g}$ gacha; mayda-chuydalar - 5% gacha.

Quymakorlikda mazutning, odatda, ikkita markasidan foydalaniladi: 40 va 100 (ГОСТ 10585-75). Mazutlar tarkibidagi oltingugurt miqdori kam bo'lgan (oltingugurtning massa ulushi 0,5% gacha), o'rtacha bo'lgan (2% gacha) va ko'p bo'lgan (3,5% gacha) mazutlarga bo'linadi. Kul miqdori 40 markali mazut uchun ko'pi bilan 0,1% va 100 markali mazut uchun ko'pi bilan 0,14%; tarkibidagi mexanik aralashmalar mos ravishda ko'pi bilan 0,8 va 1,5% bo'lishiga yo'l qo'yiladi. Quruq yoqilg'iga qayta hisoblaganda yonishidan ajraladigan issiqlik 39800-40600 kJ/kg ga ekvivalent.

Tabiiy gaz koks-gaz va gaz vagrankalarida, shuningdek, quymakorlikda qo'llaniladigan qotishmalarning ko'p turlarini suyuqlantirib olish uchun ishlatiladi. Tabiiy gaz, asosan, metan CH_4 dan iborat bo'lib, uning issiqlik chiqarish qobiliyati 33500-35600 kJ/m³ ga teng.

Fluslar

Cho'yan vagrankada suyuqlantirilganda flus sifatida, asosan tarkibida CaO (1 navda 52%, 2 navda 50% va 3 navda 49%), CaF_2 (qizdirganda bug'lanib ketadi) va 10% ga yaqin boshqa aralashmalar (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5 , SO_2) bo'lgan ohaktosh ishlatiladi.

Suyuqlantirishda ohaktoshdan tashqari quyidagi fluslar foydalaniladi: bo'r va marmar (tarkibi bo'yicha ohaktoshga o'xshaydi), ohak (CaO 88–93%), apatitonefelin ruda $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ (tarkibi P miqdori ko'p bo'lgan cho'yan olishda foydalaniladi), plavik shlak (tarkibida CaF kamida 75% bo'ladi), asosiy suyuqlantirish jarayoni uchun ishlatiladigan dolomit (30% CaO , 20% MgO , 45% CO_2).

Elektr shlak texnologiyasida tarkibida oksidlar va ftoridlar bo'lgan fluslar ishlatiladi. Masalan, po'latni elektr shlak usulida quyish uchun ishlatiladigan $\text{AH}\Phi$ -1, $\text{AH}\Phi$ -6 standart fluslar tarkibida 70–90% CaF_2 , shuningdek, CaO va Al_2O_3 bo'ladi.

Rangli metallarni suyuqlantirib olishda fluslar sifatida xlorli va ftorli birikmalar keng qo'llaniladi.

5.2. Cho'yanni suyuqlantirib olish jarayonining fizik-kimyoviy xarakteristikasi

Termodinamika. Cho'yanni suyuqlantirib olishda u yoki bu reaksiyalarning sodir bo'lish ehtimolini baholash uchun ΔG° va ΔG kattaliklardan foydalaniladi. Turli faktorlarning (fazalar tarkibi, konsentratsiyalar, aktivlik, temperatura) reaksiyalar sodir bo'lishi ehtimoliligiga ta'sir qilishini miqdoriy baholashni Gibbs energiyasi o'zgarishining ayirmasi yordamida amalga oshirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$\Delta_1 G = \Delta G_1^\circ - \Delta G_2^\circ, \quad (5.1)$$

$$\Delta_2 G = \Delta G_1 - \Delta G_2, \quad (5.2)$$

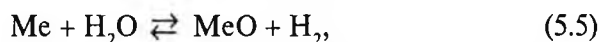
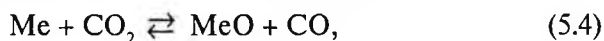
$$\Delta_3 G = \Delta G_1^\circ - \Delta G_1, \quad (5.3)$$

bu yerda: $\Delta_1 G$ – Gibbs energiyasi o'zgarishining birinchi ayirmasi. U (2) reaksiyada (1) reaksiyaga nisbatan ΔG° ning miqdoriy chetlashishini xarakterlaydi; $\Delta_2 G$ – Gibbs energiyasi o'zgarishining ikkinchi ayirmasi. U (2) reaksiyada (1) reaksiyaga nisbatan ΔG° ning miqdoriy chetlashishini xarakterlaydi; $\Delta_3 G$ – Gibbs energiyasi o'zgarishining uchinchi ayirmasi. U bitta reaksiyaning o'zida biror omilning o'zgarishi natijasida ΔG ning ΔG° dan miqdoriy chetlashishini xarakterlaydi.

U yoki bu reaksiyalarning bo'lish ehtimolini baholash uchun Gibbs energiyasi o'zgarishining birinchi ayirmasi to'g'risidagi tushuncha ko'pdan beri qo'llanib kelinadi, lekin u reaksiyalarning real sodir

Ushbu ehtimoli haqida to'la tasavvur bermaydi, chunki komponentning aktivligi $\Delta G = f(T)$ chiziqlarning joylashishini jiddiy o'zgartirib beradi. Ikki reaksiyadan birining bo'lish ehtimoli haqida energiya o'zgarishining ikkinchi ayirmasi to'g'risidagi tushuncha ancha aniq tasavvur beradi. Muallif tomonidan kiritilgan energiya o'zgarishining ikkinchi ayirmasi to'g'risidagi tushuncha turli omillarning $\Delta G = f(T)$ chiziqlarning siljishiga ko'rsatadigan ta'sirini yetarli darajada aniq baholashga imkon beradi.

Cho'yanni suyuqlantirishda oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari eng katta ahamiyatga ega, chunki cho'yan, odatda, oksidlovchi atmosfera sharoitida bajariladi va amalda barcha metallar uchun $\text{Me} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{MeO}$ reaksiyaning ΔG° si noldan kichik (12- rasmga q.).



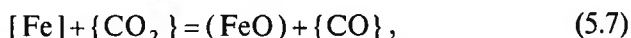
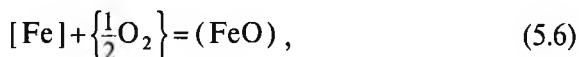
Reaksiyalar bo'yicha oksidlanish ancha sust o'tadi. Masalan, Ni bu gazlar bilan oksidlanmaydi. Bundan tashqari, ΔG o'zgarishni a_{Me} , a_{MeO} , p_{CO_2} , $p_{\text{H}_2\text{O}}$ larni hisobga olgan holda suyuqlantirishning konkret shart-sharoitlariga tatbiqan ko'rib chiqish kerak. Masalan, turli suyuqlantirish sharoitlarida tarkibida 3,2% S, 1,8% Si va 0,6% Mn bo'lgan cho'yandan temir oksidlanishini termodinamik analiz qilish talab etiladi (23- jadval).

23- jadval

Turli suyuqlantirish pechlari uchun gaz va shlak fazalarining tarkibi

Suyuqlantirish pechi	Gazning parsial bosimi, p/p_{umum}			Shlak tarkibi, %					
	O ₂	CO ₂	CO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO
Vagranka	—	0,15	0,1	45	10	10	5	25	5
Yoy pechi	0,07	0,11	0,015	60	10	10	2	15	3
Induksion pech	0,21	0,0003	—	70	5	8	7	2	8

Oksidlanish reaksiyalari:



$$\Delta G_{5,6} = \Delta G_{5,6}^{\circ} + RT (\ln a_{\text{FeO}} - \ln p_{\text{O}_2} - \ln a_{\text{Fe}}),$$

$$\Delta G_{5,7} = \Delta G_{5,7}^{\circ} + RT (\ln a_{\text{FeO}} + \ln p_{\text{CO}} - \ln p_{\text{CO}_2} - \ln a_{\text{Fe}}).$$

Bor bo'lgan ma'lumotlarga ko'ra ΔG° ni aniqlaymiz [14]. maqsadda (5.7) reaksiyani ketma-ket sodir bo'ladigan jarayonning ayirmasi kabi tasvirlaymiz. Masalan, is gazi oksidlanganda hosil bo'ladigan uglerod ikki oksidining hosil bo'lish reaksiyasi



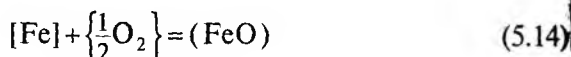
ni uglerod kislorod bilan oksidlanganda karbonat angidrid va is gazi hosil bo'lish reaksiyalarining ayirmasi sifatida ko'rib chiqish mumkin



Binobarin,

$$\Delta G_{5,10}^{\circ} = \Delta G_{5,11}^{\circ} - \Delta G_{5,12}^{\circ}. \quad (5.14)$$

Bu holda (5.7) reaksiyani temirning kislorod bilan oksidlanish reaksiyasi



va is gazining oksidlanishida uglerod ikki oksidi hosil bo'luvchi (5.11) reaksiyaning ayirmasi kabi tasvirlash mumkin. Bundan

$$\Delta G_{5,7}^{\circ} = \Delta G_{5,14}^{\circ} - \Delta G_{5,10}^{\circ} = \Delta G_{5,14}^{\circ} - \Delta G_{5,11}^{\circ} + \Delta G_{5,12}^{\circ}. \quad (5.16)$$

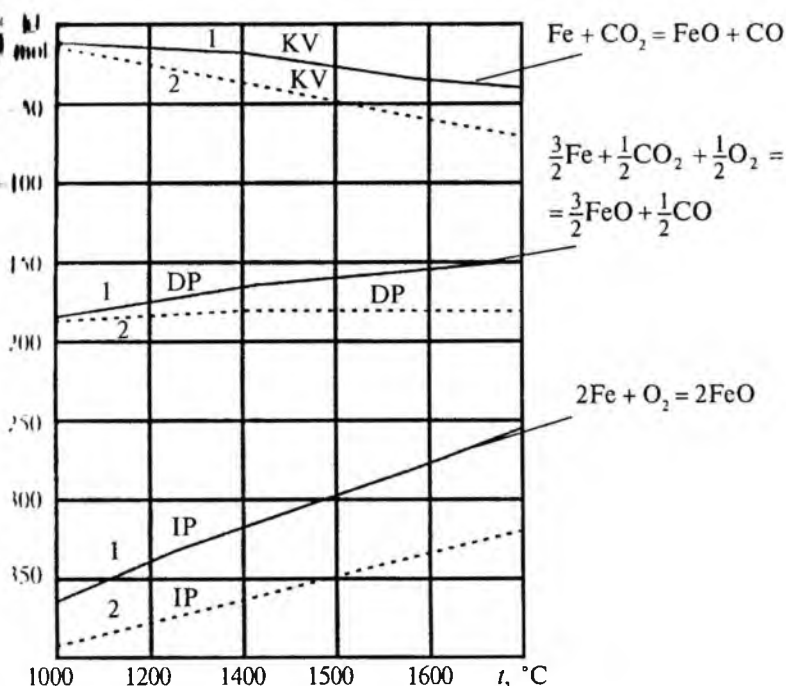
Hisoblash natijalari 53- rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinishi-cha, eng oksidlovchi sharoitlar induksion pechda ochiq suyuqlantirishda yaratiladi.

Bitta reaksiyaning o'zini turli sharoitlarda miqdoriy baholash uchun energiya o'zgarishining to'rtinchi ayirmasi tushunchasini kiritish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$\Delta_4 G = \Delta G_I - \Delta G_{II}, \quad (5.17)$$

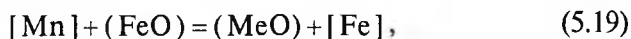
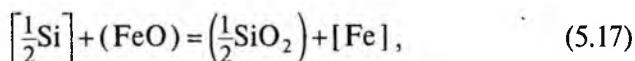
bu yerda: ΔG_I — I sharoitlarda Gibbs energiyasining o'zgarishi; ΔG_{II} — II sharoitlarda xuddi shuning o'zi.

Ko'rib o'tilayotgan holda I sharoit temirning vagrankaning, II sharoit temirning induksion pechning gaz fazasi bilan oksidlanish reaksiyasining o'tishini xarakterlaydi. Bunda $\Delta_4 G_{1600^{\circ}\text{C}} = -50 - (-350) = 300 \text{ kJ/mol}$. Metall va shlakning bir-biriga ta'sirini termodinamika nuqtayi nazaridan analiz qilishda metall va shlakning barcha komponentlarini hisobga olgan holda ΔG qiymatlari hisoblanadi.



53- rasm. Turli suyuqlantirish agregatlarida suyuqlantirishda temirning cho'yanda oksidlanishida Gibbs energiyasining o'zgarishi (KV – koks vagrankasi, DP – Yoy pechi, IP – induksion pech; 1 – ΔG° ; 2 – ΔG).

Temir uglerodli qotishmalarning asosiy komponentlarining shlak fazasi bilan oksidlanishini ko'rib chiqamiz. Cho'yanda erigan Si, Mn va C larning temirning chala oksidi bilan oksidlanish reaksiyasi quyidagi formulalar bilan tavsiflanadi:

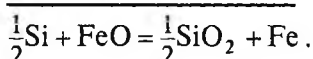
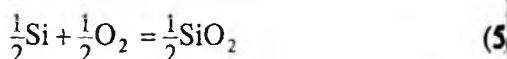


$$\Delta G_{5.17} = \Delta G_{5.17}^\circ + RT \left(\ln a_{\text{Fe}} + \frac{1}{2} \ln a_{\text{SiO}_2} - \ln a_{\text{FeO}} - \frac{1}{2} \ln a_{\text{Si}} \right), \quad (5.20)$$

$$\Delta G_{5.18} = \Delta G_{5.17}^\circ + RT (\ln a_{\text{Fe}} + \ln p_{\text{CO}} - \ln a_{\text{FeO}} - \ln a_{\text{C}}), \quad (5.21)$$

$$\Delta G_{5.19} = \Delta G_{5.19}^\circ + RT (\ln a_{\text{Fe}} + \ln a_{\text{MnO}} - \ln a_{\text{FeO}} - \ln a_{\text{Mn}}). \quad (5.22)$$

(5.17)–(5.19) reaksiyalarni cho‘yanda erigan komponentlar va temirning sof kislorod bilan oksidlanish reaksiyalarining ayirm ko‘rinishida tasvirlaymiz, ya’ni (5.17) uchun:



Bu reaksiya uchun Gibbs standart energiyasining o‘zgarishi quyidagiga teng:

$$\Delta G_{5.17}^{\circ} = \Delta G_{5.23}^{\circ} - \Delta G_{5.24}^{\circ}.$$

(5.18) va (5.19) reaksiyalarni shunga o‘xshash yozish mumkin. ΔG° ni aniqlashda, agar cho‘yanda erigan Si, C va Mn lar uchun (a') aktivlik 1% li eritmaning standart holatida aniqlansa, komponentlarni bitta fazadan boshqasiga o‘tishdagi ΔG° ni ham hisobga olish zarur, ya’ni (5.17) uchun



$\Delta G_{5.25}^{\circ}$ va $\Delta G_{5.26}^{\circ}$ larni [14] adabiyotdan topamiz, $\Delta G_{5.23}^{\circ}$ ni quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$\Delta G^{\circ} = \frac{1}{2}\Delta G_{5.27}^{\circ} = \frac{1}{2}\Delta G_{5.25}^{\circ} - \Delta G_{5.26}^{\circ}.$$

$t = 1600^{\circ}\text{C}$ da (5.17) reaksiya uchun $\Delta_3 G$ analizi quyidagi natijalarni ko‘rsatdi:

1. Reaksiya (5.17)ning muvozanat holatiga N_{Fe} ning ta’siri juda kichik, $\Delta_3 G = 2,18 \text{ kJ/mol}$, bu esa termodinamika ma’lumotlari aniqligidan (u 3 kkal/mol , ya’ni $3 \cdot 4,1868 = 12,5 \text{ kJ/mol}$ ga teng) kichik.

2. SiO_2 aktivligining o‘zgarishi $a_{\text{SiO}_2} = 1$ dan $a_{\text{SiO}_2} = 0,1$ gacha bo‘lganda chetlashish $\Delta_3 G = 18,2 \text{ kJ/mol}$ ni tashkil qiladi.

Chetlashish musbat bo‘lganda reaksiyaning sodir bo‘lish ehtimoli ortadi (bu grafik ravishda $\Delta G = f(T)$ chiziqning $\Delta G^{\circ} = f(T)$ chiziqdan $18,2 \text{ kJ/mol}$ pastda joylashishi bilan ifodalanadi).

3. a_{Si} sezilarli ta’sir ko‘rsatadi; tarkibida 1,8% Si bo‘lgan cho‘yanda a_{Si} uchun $\Delta_3 G = -60,9 \text{ kJ/mol}$ (minus belgisi reaksiyaning sodir bo‘lish ehtimoli pasayganligini ko‘rsatadi).

4 FeO ning aktivligi ham (5.17) reaksiyaning sodir bo'lish ehtimoliligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi; $a_{\text{FeO}} = 0,02$ bo'lganda $\Delta G^\circ = 70$ kJ/mol bo'ladi. Cho'yanni suyuqlantirishda sodir bo'ladigan reaksiya uchun shunga o'xshash analiz o'tkazish mumkin.

Cho'yanni suyuqlantirib olishda suyuqlanmaning uglerod bilan o'zaro ta'siri katta ahamiyatga ega, chunki uglerod metallda erishi yoki u bilan o'zaro ta'sir qilib karbidlar hosil qilishi, yoki oksidlarni qaytarishi mumkin. Yuqori temperaturalarda ko'pchilik metallar quyidagi reaksiya bo'yicha uglerod bilan qaytarilishi mumkin:



Sof oksid ($a_{\text{MeO}} = 1$) qaytariladigan sharoitlar uchun termodinamik analizni bevosita $\Delta G - T$ diagramma bo'yicha (12- rasimga q.) o'songina o'tkazish mumkin. Grafikda $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ va $2\text{MeO} + \text{O}_2 = 2\text{Me}$ reaksiyalar uchun $\Delta G^\circ - T$ chiziqlar kesishib o'tadigan nuqtadan o'ngroqda ko'rsatilgan temperaturalarda metallar qaytariladi.

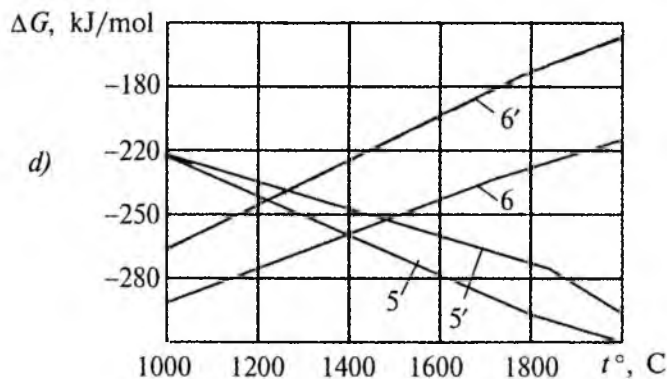
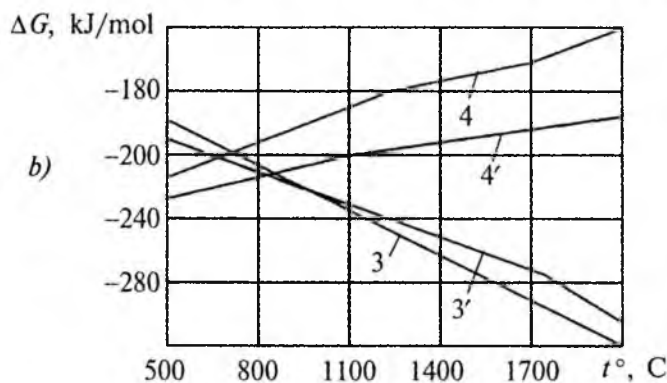
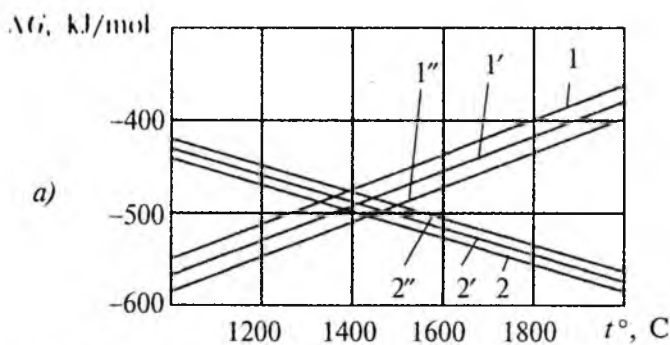
Agar oksid eritmada, masalan, shlakda bo'lsa, u holda uning aktivligini hisobga olish zarur.

Si ning geteregon uglerod bilan qaytarilishi 54- a rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda $a_{\text{S}} = 1$, $p_{\text{CO}} = 0,1$ uchun; tarkibida 1,8% Si bo'lgan suyuq cho'yan uchun 0,15 va 0,3 MPa, $a_{\text{SiO}_2} = 0,6 - 0,2$ va a_{Si} ni hisoblashlar natijasi keltirilgan. $a_{\text{C}} = 1$ va $a_{\text{SiO}_2} = 0,6 - 0,2$ bo'lganda 1400–1500 °C oralig'ida Si qaytarilishi mumkin. a_{SiO_2} qancha yuqori bo'lsa, qaytarilish ehtimoli shuncha yuqori bo'ladi.

Fe va Mn ning uglerod bilan qaytarilishining shunga o'xshash analizi 54- b, d rasmlarda bajarilgan. Rasmdan ko'rinishicha, Fe uchun muvozanat temperaturalari past temperaturalar atrofida bo'ladi. Bu tahlildan quyidagilar kelib chiqadi: cho'yan va po'latni suyuqlantirishda temirning shlakdan qaytarilishi cho'yan elementlarining (5.17)–(5.19) reaksiyalar bo'yicha oksidlanishi hisobiga ham, shuningdek, suyuqlanma tarkibida alohida faza ko'rinishida bo'lgan uglerodning oksidlanishi hisobiga ham sodir bo'ladi.

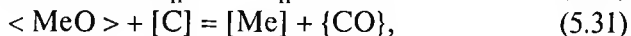
Marganes uchun (54- d rasm) $\Delta G^\circ - T$ chiziqlarning kesishib o'tadigan joyi 1250–1450 °C atrofida bo'ladi. Mn va MnO aktivligini hisobga olishda bu nuqta taxminan 1300 °C gacha chapga siljiydi, bu esa Mn ning uglerod bilan nisbatan oson qaytarilishi haqida guvohlik beradi.

Shlak va metall, odatda, oksidli olovbardosh materiallardan $\langle \text{MeO} \rangle$ (bunday qavslar bilan futerovkaga tegishlilik belgilanadi; dumaloq qavslar – shlak, kvadrat qavslar – metall) ishlanadigan pech futerovkasi bilan o'zaro ta'sirlashishi mumkin. Bunda quyidagi reaksiyalarni kuzatish mumkin:



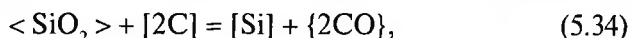
54- rasm. Si (a), Fe (b) va Mn (d) ning uglerod bilan qaytarilish reaksiyalarining termodinamik analizi:

1 - $a_{\text{SiO}_2} = 1,0$; 1' - $a_{\text{SiO}_2} = 0,6$; 1'' - $a_{\text{SiO}_2} = 0,2$; 2 - $p_{\text{CO}} = 0,1$; 2' - $p_{\text{CO}} = 0,15$; 2'' - $p_{\text{CO}} = 0,3$; 3 - $a_{\text{C}} = 1$; 3' - $p_{\text{CO}} = 1$; 4 - $a_{\text{FeO}} = 1$; 4' - $a_{\text{FeO}} = 1$ И-1 шлакда; 5 - $a_{\text{C}} = 1$; 5' - $p_{\text{CO}} = 1$; 6 - $a_{\text{MnO}} = 1$; 6' - $a_{\text{MnO}} = 1$ И-1 шлакда.

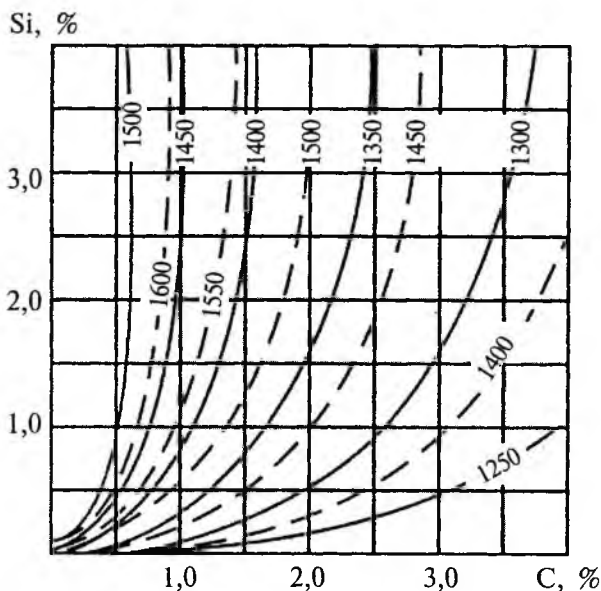


(5.29) va (5.33) reaksiyalar futerovkaning shlak oksidlari bilan o'zaro ta'sirini tavsiflaydi. Bunda yoxud kimyoviy o'zaro ta'sir (5.29) bo'ladi, yoxud oksid shlakda eriydi (5.33). Bunday o'zaro ta'sir harankalarda keng tarqalgan. Vagrankalarning futerovkasi «yonib chiqadi», chunki shlak devorlardan oqib tushayotganda futerovkani (5.29) reaksiya va (5.33) lar bo'yicha yeb ishdan chiqaradi. Futerovkaning metall bilan (5.30)–(5.32) reaksiyalar bo'yicha sodir bo'ladi. O'zaro ta'siri ham futerovkaning yeyilishiga va turli elementlarning metallga o'tishiga olib keladi.

Cho'yanni tigelli induksion pechlarda (ITP) suyuqlantirib olishda tigel reaksiyasining muvozanatda bo'lishi katta ahamiyatga ega bo'ladi:



bu metall temperaturasi qarab, [Si] va [C] larning muvozanat diagrammalari bilan xarakterlanadi (55- rasm).



55- rasm. Tigel reaksiyasi diagrammasi (tutash chiziqliq — $p_{\text{CO}} = 0.03 \text{ MPa}$, punktir chiziqliq — $p_{\text{CO}} = 0.15 \text{ MPa}$).

Ushbu diagramma a_{SiO_2} , a_{Si} , a_{C} va p_{CO} larning (5.34) reaksiya muvozanatiga ta'sirini hisobga olib yasaladi. Mazkur reaksiya muvozanatda bo'lish konstantasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$K_M = \frac{a_{\text{Si}} \cdot p_{\text{CO}}^2}{a_{\text{C}}^2 \cdot a_{\text{SiO}_2}}, \quad (5.34)$$

$$\lg K_M = -\frac{\Delta H^\circ}{19,155 T} + \frac{\Delta S^\circ}{19,155}. \quad (5.35)$$

Konstantaning har bir qiymatiga ma'lum muvozanat temperaturasi mos keladi:

$$T_M = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ - 19,55 (\lg a_{\text{Si}} + 2 \lg p_{\text{CO}} - 2 \lg a_{\text{C}} - \lg a_{\text{SiO}_2})}. \quad (5.36)$$

Tigel reaksiyasi ikkita rejimda o'tishi mumkin:

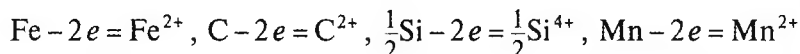
– CO ning mavjud gaz pufakchasida ajralib chiqishi

$$(p_{\text{CO}} = p_{\text{CO pars}} \approx 0,03 \text{ MPa});$$

– CO ning gazning paydo bo'layotgan pufakchasida ajralib chiqishi ($p_{\text{CO}} \approx 0,15 \text{ MPa}$, $0,1 \text{ MPa}$ — atmosfera bosimi va $\Delta p \approx 0,05 \text{ MPa}$ — sirt taranglikni yengish uchun zarur bo'ladigan bosim).

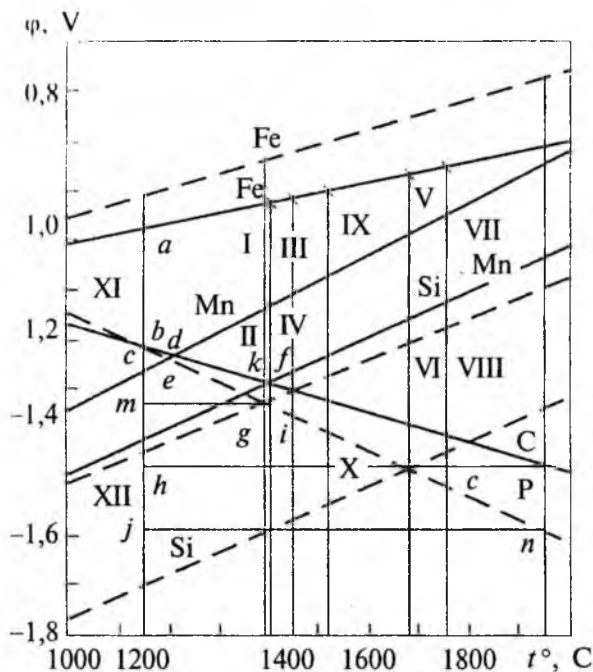
Lekin suyuqlantirib olish shart-sharoitlarini to'la baholash uchun hamma vaqt ham termodinamik analiz o'tkazish yetarli bo'lavermaydi. Masalan, qayta suyuqlantirishda briketlanmagan qirindining yuzasi katta bo'lishi tufayli koks vagrankasining ancha kam oksidlash sharoitlarida ham elektr pechlaridagiga qaraganda ko'p oksidlanadi, chunki bu yerda jarayon mexanikasi va kinetikasi ma'lum rol o'ynaydi.

Jarayon mexanizmi. Cho'yanni suyuqlantirishda sodir bo'ladigan reaksiyalar elektr kimyoviy reaksiyalar hisoblanadi. Real suyuqlantirish sharoitlari uchun $\varphi = f(T)$ bog'lanishni ko'rib chiqamiz. Elektrod jarayonlari uchun bu bog'lanishlar



vagrankada suyuqlantirishda ishlatiladigan shlak uchun 56-rasmda keltirilgan. Hisoblashlar tarkibida 3,2% C; 1,85% Si va 0,6 % Mn bo'lgan cho'yan uchun bajarilgan.

Metall, shlak va uglerodning o'zaro ta'sir temperaturallari intervali 1150–1950 °C chegaralarida bo'ladi. Intervalning pastki chegarasi cho'yan aralashmalari (Si va Mn) qaytarilish jarayonlarining sust rivojlanishi bilan xarakterlanadi. Temir uchun $\varphi = -0,98$ (56-rasmda a nuqta), C uchun $\varphi = -1,22$ – $-1,23$ (cho'yandagi uglerod uchun b nuqta



56- rasm. $\text{Me} - 2e = \text{M}^{2+}$ ($\text{Me} \equiv \text{Fe}, \text{C}, \text{Si}, \text{Mn}$) elektrodli jarayonlar uchun $\varphi'' = f(T)$ (punktir chiziqlar) va $\varphi = f(T)$ (tutash chiziqlar) bog'lanishlar.

va koksdagi uglerod uchun c nuqta), ya'ni temir hatto intervalning pastki chegarasida uglerod bilan qaytariladi. Bundan koks vagrankasida koks uglerodi istalgan sharoitlarda temir oksidlarini qaytaradi, degan xulosa kelib chiqadi. Bu xulosa qaytarilish jarayoni kuchayadigan temperatura maydonining bir tekisda emasligiga bog'liq emas, chunki $\varphi = f(T)$ bog'lanishlar tafovutlanadi. Agar hozirgina qattiq metallardan uzilgan va temir oksidi bilan qoplangan tomchi temperaturasi 1400 °C bo'lgan (salt koloshaning yuqorigi qismidagi koks sirtining temperaturasi) koks bo'lagiga tushsa, u holda quyidagi jarayonlar sodir bo'ladi:

1. Katodda $\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$; 1150 °C da $\varphi = -0,98$ V va 1400 °C da $\varphi = -0,93$ V.

2. Anodda $\text{C} - 2e = \text{C}^{2+}$; 1150 °C da $\varphi = 1,23$ va 1400 °C da $-1,30$ V. Bunda $E_{\min} = -0,92 + 1,22 = 0,3$ V; $E_{\max} = -0,83 + 1,30 = 0,47$ V, ya'ni ancha yuqori, bu esa temperatura maydoni notekisligining ta'sirini son jihatdan tasdiqlaydi.

Marganes uchun 1400 °C da $\varphi_{\text{Mn}} = -1,14$ V, cho'yanda eriydigan uglerod uchun $\varphi_{\text{C}} = -1,30$ V, koks uglerodi uchun $\varphi_{\text{C}} = -1,33$ V, ya'ni $\varphi_{\text{Mn}} > \varphi_{\text{C}}$. Bundan marganesning uglerod bilan qaytarilishi salt

koloshaning yuqorigi chegarasidan boshlab sodir bo'lishla chiqadi. $a_c = 1$ da C uchun, ya'ni koks uglerodi uchun va cho erigan uglerod uchun $\phi = f(T)$ chiziqlar 1100°C da bir-birl o'tadi. Bu hol $t > 1100^\circ\text{C}$ da temir va boshqa elementlar, koks uglerodi hisobiga qaytarilishi haqida guvohlik beradi. Margan uglerod bilan qaytarilishi bir yo'la uning temir ikki oksidl oksidlanishi bilan sodir bo'ladi. Bu jarayonlarning EYK (elektr tuvchi kuch)lari bir-biriga teng bo'lgandagina ular muvozanatda di. Bu temperaturani grafik (56- rasm) bo'yicha aniqlash mum 1410 $^\circ\text{C}$ ga teng (I va II kesmalar teng). Cho'yanda erigan ug uchun 1440 $^\circ\text{C}$ temperaturada oksidlanish va qaytarilish ehti bir xil (III va IV kesmalar teng, 56- rasmga q.). Marganesning tekis temperatura maydonida qaytarilishi a va e nuqtalarning (ravishda erigan ulerod va koks uglerodi uchun) temperaturasi yuqori temperaturalarda sodir bo'ladi. Notekis temperatura may nida potentsiali 1,33 V bo'lgan anodda (i nuqta) marganes bar temperaturalarda qaytariladi, chunki h nuqta marganes chizig' yetmaydi.

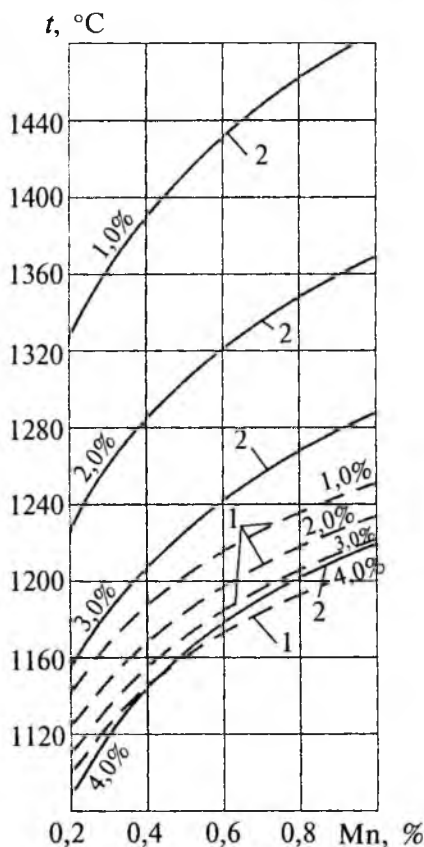
Bir tekis temperatura maydonida Si ning koks uglerodi bil qaytarilishi $t > 1360^\circ\text{C}$ dan (k nuqta) boshlanadi. Cho'yanda erig C va Si lar uchun muvozanat temperaturasi 1400 $^\circ\text{C}$ ga (f nuqt teng. Notekis temperatura maydonida cho'yanda erigan uglerod bil qaytarilish salt koloshaning yuqori qismida $t = 1310^\circ\text{C}$ dan (g nuqt boshlanadi. Koks uglerodi bilan Si ning oksidlanishi va qaytarilish teng ehtimollik bilan $t = 1680^\circ\text{C}$ da (V va VI kesmalarining tengligi kuzatiladi. Cho'yanda erigan uglerod uchun bu temperatura 1760 $^\circ\text{C}$ ga teng. Notekis temperatura maydonida (p va n nuqtalar — potentsi allarning eng manfiy chetki qiymatlari) metallning eng past tempe- raturasi 1520 $^\circ\text{C}$ ga teng. Bu temperaturada qaytarilish jarayoni oksidlanish jarayonidan ustunlik qiladi. Bu — kremniyning vagrankada qaytarilish jarayonining pastki chegarasi.

Metall va shlak fazalarida komponentlarning aktivligini hisobga olib aniqlanadigan muvozanat potensillarining ishlab chiqilgan hisoblash metodikasi notekislik darajasi turlicha bo'lganda bir tekis hamda notekis temperatura maydonlarida elementlarning qaytarilish muvozanat temperaturalarini hisoblab topishga imkon beradi.

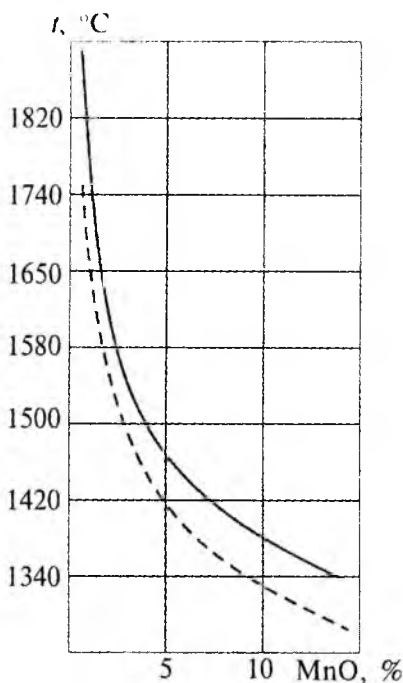
Muvozanat temperaturalarining qiymati metall va shlak tarkibiga sezilarli darajada bog'liq bo'ladi. Masalan, uglerod bilan Mn ning qaytarilishi muvozanat temperaturasi metall tarkibiga qarab 1090–1490 $^\circ\text{C}$ chegaralarida bo'lishi mumkin, bu 57- rasmdan ko'rinib turibdi (C element 4% va Mn element 2% bo'lganda $t = 1090^\circ\text{C}$; C — 1% va Mn — 1% bo'lganda $t = 1490^\circ\text{C}$). Bu temperatura shlak tarkibidagi MnO = 1% bo'lganda 1440 $^\circ\text{C}$ dan (qaytargich — erigan uglerod, C = 3,2%) tarkibdagi MnO = 15% bo'lganda 1110 $^\circ\text{C}$ gacha

qaytargich — koks uglerodi) o'z-
 shlak tarkibida $MnO = 5\%$
 anda MnO dan Mn ni qay-
 tarish uchun koks uglerodi va 4%
 anda cho'yanda erigan ugle-
 rod ekvivalentdir. Boshqa sharoitlar
 bo'lganda cho'yan tarkibi-
 Mn miqdori har bir $0,1\%$
 muvozanat temperatura-
 si $10-20^\circ C$ ga o'zgartiradi. Katta
 cho'yanlar cho'yanda erigan ug-
 lod bilan qaytarishga taalluqlidir.
 Kimyoviy qaytariladigan muvo-
 zanat temperaturasi ham shlak
 tarkibidagi Si , C va SiO_2 miqdo-
 rilar ham bog'liq bo'ladi. Muvo-
 zanat temperaturasi tarkibdagi
 $Si = 0,5\%$ bo'lganda $1250^\circ C$ dan
 (qaytargich — koks uglerodi,
 $C = 1,0\%$) tarkibda $Si = 3\%$
 bo'lganda $1580^\circ C$ gacha (qaytar-
 gich — erigan uglerod, $C = 1,0\%$)
 o'zgaradi. Tarkibdagi SiO_2 miqdo-
 riga qarab koks bilan qaytarishda
 muvozanat temperaturasi $1440^\circ C$
 dan ($SiO_2 = 5\%$) $1330^\circ C$ gacha
 ($SiO_2 = 75\%$; $Si = 1,8$; $C = 3,2\%$)
 o'zgaradi. Cho'yanda erigan ug-
 lod bilan qaytarishda bu tempe-
 raturalar tarkibdagi C miqdoriga
 bog'liq bo'ladi.

Ishlab chiqilgan metodika te-
 mir ikki oksidi bilan Si va Mn ni
 oksidlash ehtimoli ularni uglerod
 bilan qaytarish ehtimoliga teng bo'ladigan temperaturani ham aniq-
 lashga imkon beradi. Bu temperaturalar cho'yan va shlakning kimyo-
 viy tarkibiga ham bog'liq bo'ladi. Masalan, Mn uchun bu temperatura
 (uni oksidlanish va qaytarilish reaksiyalari EYK larining tenglik tem-
 peraturasi deb ataymiz — t_n) $1270^\circ C$ dan ($Mn = 0,2\%$, qaytargich —
 koks uglerodi) $1740^\circ C$ gacha ($Mn = 1,0\%$, qaytargich — erigan
 uglerodning 1% i) o'zgaradi. $1740^\circ C$ chamasida temperaturalar faqat
 temperatura maydonining notekisligini hisobga olish sharti bilan ko'rib
 chiqilishi mumkin. Masalan, koks sirti $1950^\circ C$ temperaturaga ega
 bo'ladi. Binobarin, metallning FeO va MnO oksidlar bilan qoplangan



57- rasm. Mn koks uglerodi bilan (1)
 va cho'yanda erigan uglerod bilan (2)
 qaytariladigan t_{muv} muvozanat
 temperaturasining Mn va C ning
 cho'yandagi miqdoriga bog'liqligi.



58- rasm.

t_{re} marganes uchun $MnO = 1\%$ bo'lganda $1860\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga, $MnO = 15\%$ bo'lganda esa $1330\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga teng (58- rasm).

Marganes bir tekis temperaturalar maydonida ham, notekis maydonda ham nisbatan oson qaytariladi. Kremniy esa cho'yanni suyuqlantirishda yuqori temperaturali zonalaridagina (koks bo'lakchalari sirtida) qaytariladi.

t_{re} ning qiymati shlakdagi FeO miqdoriga ham bog'liq bo'ladi. Masalan, marganes uchun $FeO = 5\%$ bo'lganda $t_{re} = 1430\text{ }^{\circ}\text{C}$, $FeO = 20\%$ bo'lganda esa $t_{re} = 1510\text{ }^{\circ}\text{C}$ bo'ladi.

Kinetika. Kinetik tenglamalarni faqat cho'yanni induksion tarzda suyuqlantirish sharoitlari uchun aniq yechish mumkin. Induksion suyuqlantirishda massa uzatishga v_z tezlik juda katta ta'sir qiladi deb faraz qilib, massa uzatish tenglamasini soddalashtirish mumkin (II bobga q.):

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0. \quad (5.38)$$

$\frac{\partial C}{\partial z}$ ni P orqali belgilaymiz. Unda $D \frac{\partial C}{\partial z} = v_z P$ bo'ladi.

O'zgaruvchilarni bo'lib, $D \frac{dP}{P} = v_z dz$ ga ega bo'lamiz. Tengla-
ni integrallab, $D \ln P = z v_z + A_1$ ni hosil qilamiz, bu yerda A_1 —
integrallash doimiysi.

Bundan $P = e^{\left(\frac{z v_z + A_1}{D}\right)}$.

Bu ifodani integrallab va $P = \frac{dC}{dz}$ qiymatni o'rniga qo'yib

$$C = \int e^{\left(\frac{z v_z}{D} + A_2\right)} dz$$

ga ega bo'lamiz, bu yerda $A_2 = \frac{A_1}{D} = \text{const.}$

$x = \frac{v_z}{D} \cdot z + A_2$ deylik, unda $dx = \frac{v_z}{D} dz$ va

$$C = \int e^x \frac{D}{v_z} dx$$

bo'ladi. Bundan $C = \frac{D}{v_z} e^{\left(\frac{v_z}{D} \cdot z + A_2\right)} + A_3$. (5.39)

Integrallash konstantalarini aniqlaymiz: $z = 0$ da $C = C^0$, $z = h$ da $C = C^k$.

Bu ma'lumotlar asosida sistema tuzamiz:

$$\left. \begin{aligned} C^0 &= \frac{D}{v_z} e^{A_2} + A_3, \\ C^k &= \frac{D}{v_z} e^{\left(\frac{v_z}{D} h + A_2\right)} + A_3. \end{aligned} \right\} \quad (5.40)$$

(5.40) sistemani yechib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_2 = \ln \frac{(C^k - C^0) v_z}{(e^{\frac{v_z}{D} h} - 1) D}; \quad A_3 = C^0 - \frac{C^k \cdot C^0}{(e^{\frac{v_z}{D}} - 1)}. \quad (5.41)$$

Olingan bog'lanishlar statsionar rejim, masalan, uzluksiz miksi-
lash sharoitlarida massa uzatilishini xarakterlaydi. Lekin real sharoitlarda
induksion pechlardagi massa uzatish nostatsionar rejimda amalga
oshiriladi.

Istalgan pech uchun massa uzatishning matematik modeli massa uza-
tishning tuyulma koeffitsiyenti (k^v) asosida qurilishi mumkin (II bobga q.).

Vagrankalarda cho'yanni suyuqlantirib olish uchun massa tish quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\Delta Me_{Fe} = K_{Fe}^{o'r} \left[k_{Fe}^{v(sh)} \omega_{(sh)} M_{\Sigma}^{sh} \tau_{(sh)} + k_{Fe}^{v(sk)} \Omega_{(tom)} \tau_{(sk)} + k_{Fe}^{v(to'p)} \Omega_{(to'p)} \tau_{(to'p)} \right]$$

bu yerda: ΔM_{Fe} – temir kuyindisi, kg; $K_{Fe}^{o'r}$ – temirning cho'yanagi o'rtacha konsentratsiyasi, %; ω – shixtaning solishtirma yuzi, kg/m²; τ – vaqt, s; k^v – massa uzatishning tuyulma koeffitsiyenti, kg/m² · s · %,

$$k_{Fe}^{v(sk)} = k_{Fe}^{vIOx} + k_{Fe}^{vRed} + k_{Fe}^{vII Red}$$

$$k_{Fe}^{v(to'p)} = k_{Fe}^{vIII Ox} - k_{Fe}^{vII Red}$$

Ω_{tom} va ω_{tom} – tomchilardagi umumiy va solishtirma yuza. Indeks va darajalar quyidagilarni ifodalaydi: sh – shixta; sk – salt kolosha (salt koloshasi bo'lmagan vagrankalar uchun sk o'rnida o'q.k. – o'qizdirish kamerasi ko'rsatiladi), to'p – to'plagich, IOx – qattiq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi, IOx – suyuq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi, III Ox – shlak bilan oksidlanishi, I Red – kol uglerodi bilan qaytarish, II Red – cho'yan elementlari bilan qaytarish.

Indekslashdan ko'rinishicha, model konstruktiv zonalar (shixta, salt kolosha, to'plagich) bo'yicha quriladi, bu esa cho'yanni zonalar bo'yicha aniq kimyoviy analiz qilish qiyinchiliklari bilan bog'langan. Shuning uchun *i*-element konsentratsiyasining o'zgarishi ham, shuningdek, bu uchta konstruktiv zonalar bo'yicha aniqlanadi:

$$K_i^{(sh)} = K_i^{o'} \exp \left[k_i^{v(sh)} \omega_{(sh)} \tau_{(sh)} \right], \quad (5.42)$$

bu yerda

$$k_i^{v(sh)} = k_i^{vIOx} + k_i^{vII Red};$$

$$K_i^{(sk)} = K_i^{(sh)} \exp \left[k_i^{v(sk)} \Omega_{(tom)} \tau_{(sk)} \right], \quad (5.43)$$

bu yerda

$$k_i^{v(sk)} = k_i^{vIOx} + k_i^{vI Red} + k_i^{vII Red};$$

$$K_i^{(v)} = \frac{1}{k_i^{v(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}} \left\{ \frac{K_i^{(sk)} k_i^{v(to'p)} \Omega_{(to'p)}}{\frac{k_i^{v(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}}{g^{vx} - g^{ux}}} \times \right. \\ \left. \times \left[M_0 + (g^{vx} - g^{ux}) \tau_{(to'p)} \right] \frac{k_i^{v(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}}{g^{vx} - g^{ux}} - g^{vx} K_i^{(sk)} \right\}, \quad (5.44)$$

bu yerda

$$k_i^{v(to'p)} = k_i^{vIII Ox} + k_i^{vII Red} + k_i^{vI Red}.$$

hisoblab chiqilgan matematik modelning qo'llanilishi gaz vagrankasidagi massa uzatilishini tajriba ma'lumotlari va ularning hisob qiymatlari asosida hisoblab topishga imkon berdi. Olingan massa uzatish koefitsiyentlari ustida o'tkazilgan analiz shuni ko'rsatdiki, qizdirish va uglerodlantirishda shixtada 20–30% uglerod (jami kuyindidan), 60% ga qolgani Si va 70% Mn kuyadi, bunda marganes bo'yicha olingan ma'lumotlar qarama-qarshi. Olovbardosh nasadkali gaz vagrankasida uglerodning kuyishi shixtada to'la shakllanadi, to'plagichda esa hatto uglerod «qirmoch» hosil bo'ladi. Kremniy esa shixtada aksincha, hech kuymaydi, bu esa elementlar kuyindisining shakllanishida temperatura maydonining bir jinsli bo'lmashligi katta ahamiyatga ega ekanligi to'g'risida guvohlik beradi.

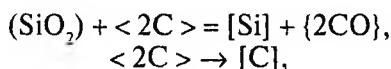
Uglerodi bo'lmagan koloshada C ning ko'p va Si ning kam kuyishi ekstremal hodisa hisoblanadi, chunki bunday sharoitlarda fazalar o'rtasidagi yuza olovbardosh salt koloshasi bo'lmagan gaz vagrankalariga qaraganda katta bo'ladi. Salt kolosha tarkibiga uglerodli materiallarning kiritilishi Si va Mn lar o'zgina kuyganda C ning ko'p kuyishining oldini olishga imkon beradi.

$\Delta M_{Fe}^{I Red} = 1,1979$ kg ekanligi aniqlangan, u avval oksidlanadi, so'ngra esa shlakdan qaytarilgan. Fe ning dastlab oksidlanishi, so'ngra shlakdan ancha aktiv C, Si va Mn elementlar bilan qaytarilishi umumdorligi 7 t/soat bo'lgan gaz vagrankasidan olingan shlakni analiz qilib va ular bo'yicha $\Delta M_{Fe}^{I Red}$ ni hisoblab tasdiqlangan.

Fe uchun olingan tuyulma yig'ma massa uzatish koefitsiyentining ($k_{Fe}^{v\Sigma}$) qiymatini analiz qilib, quyidagicha xulosalar chiqarish mumkin: olovbardosh materiallar bo'lmagan nasadkali gaz vagrankasida temir tashqi o'ta qizdirish kamerali vagrankalarga qaraganda 1,5 marta ko'p kuyadi, bu hol metallni o'ta qizdirish uchun yaxshi sharoitlar yaratilganligi bilan bog'liq. Nasadkaga uglerodli materiallar kiritilganda $k_{Fe}^{v\Sigma}$ ning qiymati qariyb 100 marotaba kamayadi. Bu C, Si va Mn larning oksidlanishi hisobiga $\Delta M_{Fe [C, Si, Mn]}^{I Red}$ dan tashqari nasadka uglerodining oksidlanishi hisobiga $\Delta M_{Fe < C >}^{II Red}$ ning ham mavjudligi to'g'risida guvohlik beradi, ya'ni bevosita $k_{Fe}^{v\Sigma} \approx 2 \cdot 10^{-3}$,

$$k_{Fe}^v = (0,09 - 0,08) \cdot 10^{-3} = k_{Fe}^{v\Sigma} - k_{Fe < C >}^v.$$

Massa uzatish koefitsiyentlari ustida o'tkazilgan analizning ko'rsatishicha, ular, asosan, $10^{-3} - 10^{-2}$ kg/m · soat · % tartibga ega. Masalan, o'ta qizdirish vaqtida barcha elementlarning kuyishi bitta tartibning o'zi $k^v = (1-4) \cdot 10^{-3}$ kg/m · soat · % bilan xarakterlanadi. Si va C lar bundan mustasnodir, ular uchun uglerodning nasadkaga kiritilishi bilan ularning kuyish mexanizmi o'zgaradi, chunki quyidagi reaksiyalar sodir bo'ladi:



bular esa uglerodli materiallar gaz vagrankasining nasadkasiga maqsadga muvofiq bo'lishligi haqida guvohlik beradi.

Yoy pechidagi massa uzatish haqida bajarilgan hisob tarkibining elementlarning kuyishiga ta'sirini aniqlashga imkon beradi. Massa uzatishning tuyulma koeffitsientlarini topish uchun ta'lim programmada quyidagi qiymatlar olingan:

$$k_C^{v'I Ox} = -2,743 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{soat}; \quad k_C^{v'III Ox} = -14,865;$$

$$k_{Si}^{v'I Ox} + k_{Si}^{v'I Red} = -3,47; \quad k_{Si}^{v'III Ox} + k_{Si}^{v'II Red} = -41,2;$$

$$k_{Mn}^{v'I Ox} + k_{Mn[C]}^{v'II Red} = -6,584; \quad k_{Mn}^{v'III Ox} + k_{Mn[C]}^{v'II Red} = -155,83;$$

va elementlar kuyishining shixta tarkibidagi cho'yan qirindisi doriga bog'liqligi aniqlangan:

$$U_{Fe} = 0,0524 \chi_{qir} + 0,1, \quad U_{Si} = 0,5 \chi_{qir} + 15,$$

$$U_C = 0,43 \chi_{qir} + 12, \quad U_{Mn} = 0,75 \chi_{qir} + 25.$$

Shixtadagi qirindi miqdorining ortishi elementlar kuyishini gacha orttiradi: Fe — 3,243% gacha, C — 38,3% gacha, Si — 46,6% gacha, Mn — 71% gacha. Bu ma'lumotlar qirindini yoy pechida qayta suyuqlantirish maqsadga muvofiq emasligi haqida dalolat beradi. Ayni paytda hisoblar elektr shlak rejimida

$k_C^{v'II Red} = -0,821$, $k_{Si}^{v'II Red} = 1,132$ va $k_{Mn}^{v'I Red} = 1,415 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{soat}$ bo'lishligini ko'rsatdi. Qirindini yoy va elektr shlak rejimlarida qayta suyuqlantirish bo'yicha o'tkazilgan eksperimentlar hisob ma'lumotlarini tasdiqladi (24-jadval) va elektr shlak rejimida qayta suyuqlantirish maqsadga muvofiq ekanligini ko'rsatdi.

24-jadval

Elektr shlak pechda cho'yan qirindidan sintetik cho'yan olishdagi kuyindi (—) va qirmoch (+) (shixtadagi dastlabki miqdoridan % hisobida)

Element	Yoy rejimi	Elektr shlak rejim
Umumiy	−20,8	+1,2
C	−4,51	+10,6
Si	−23,9	+20,55
Mn	−46,0	−16,0
S	−8,33	−50,0
P	−9,09	−9,09

5.3. Vagrankalarda cho'yan suyuqlantirish

Kimyoviy xususiyatlari. Vagrankada cho'yan suyuqlantirish o'ziga xos xususiyati fazalarning o'zaro ta'sir qilish jarayonining uzluksizligi va salt koloshaning qalin qatlami hamda ishchi bahalarning yupqa qatlami ko'rinishidagi koksning bo'lishidir [28]. III zonaning (59- rasm) pastki qismida quyidagi reaksiya bo'yicha amal:



Unda erkin kislorod bo'lishi ehtimoli bor, shu boisdan uni salt koloshaning kislorod zonasi deb ataydilar. Yonish mahsulotlari salt koloshaning yuqori qismiga ko'tariladi, bu yerda ular qaytadan koks bilan quyidagi reaksiya bo'yicha reaksiyaga kirishadi:



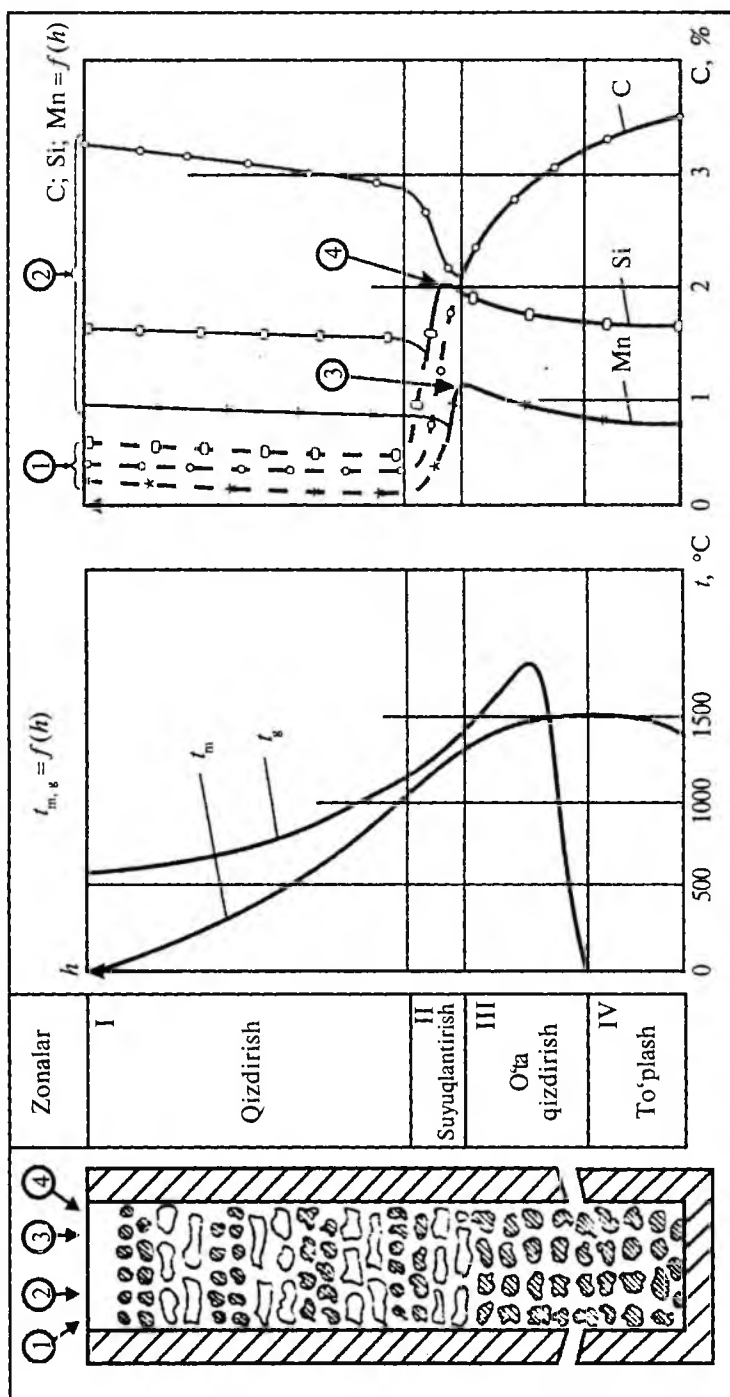
Bu reaksiya endotermik reaksiyadir, shu sababdan gazlarning temperaturasi biroz pasayadi.

Vagrankaga kimyoviy tarkibi bo'yicha bir-biridan prinsip jihatdan talovutlanadigan ikkita komponentdan iborat shixta yuklanadi (59- rasm), ular 1 po'lat (po'lat temir-tersagi, chiqindilar) va 2 cho'yan (quyma ko'rinishdagi cho'yanlar, cho'yan temir-tersagi) komponentlarga, shuningdek, 3 va 4 ferroqotishmalarga bo'linadi. Suyuqlantirishda elementlar miqdorining o'zgarishi suyuq fazalar, elementlar kuyindisining aralashishi va ferroqotishmalar kiritilishi hisobiga sodir bo'ladi. Vagrankada suyuqlantirishda suyuq metallning salt koloshaning koksi tarkibidagi uglerod va oltingugurt bilan to'yinishi xarakterlidir.

Vagrankada cho'yan suyuqlantirish texnologiyasi

Vagrankaning texnologik ish sikli quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi: vagrankani suyuqlantirish uchun tayyorlash, qizitish, yuklash va ishga tushirish, ishlash vaqtida vagrankaga xizmat ko'rsatish, vagrankani to'xtatish

Vagrankani suyuqlantirishga tayyorlash, asosan, olovbardosh futerovkani ta'mirlashdan iborat bo'ladi. Ta'mirlash kapital, o'rtacha va joriy ta'mirlash bo'lishi mumkin. Kapital ta'mirlashda vagrankaning butun olovbardosh futerovkasi almashtiriladi, o'rtacha ta'mirlashda eng zo'riqqan joylardagi futerovka (suyuqlantirish zonasi, furma mintaqasi, o'tish letkasi va ancha vayron bo'lgan boshqa zonalaridagi) almashtiriladi, joriy ta'mirlash har bir suyuqlantirishdan keyin bajariladi. Joriy ta'mirlash hajmi suyuqlantirishning qancha davom etishi va undan keyin futerovkaning holati bilan aniqlanadi.



59- rasm. Vagranka balandligi bo'yicha metall (t_m) va gaz (t_g) temperaturalarini hamda metall tarkibining o'zgarishi.

1 — shixtaning po'lat komponentlari, 2 — shixtaning cho'yan komponentlari, 3 — ferrosilitsiy, 4 — ferromanganiy.

Suv bilan sovitilmaydigan vagrankalar ish siklining davom etish
8 dan 20 soatgacha. Suv bilan sovitish sistemasidan
qilinishida vagranka ish siklini 1 oygacha yetkazish mumkin.
Olovbardosh futerovka 25–30% olovbardosh gil va 70–75% may-
dan shamot yoki kvars qumdan iborat qorishmada tayyorlangan
shamot g'ishtdan terib bajariladi. Vagrankalar futerovkasini tiqma
qatlamida yoki torkretlab (changlatib) ham amalga oshirish mumkin.
Uning uchun vagrankaning tagi (shaxta tubi) kuygan qoliplash
sarg'ila, kuyindi (uchqin so'ndirgichda qolgan chiqindilar) va
qoltilmagan yangi qoliplash materiallarining muayyan miqdori bilan
qoliplash to'ldiriladi. Futerovkani torkretlash metodi vositasida ta'mirlash
eng ilg'or metodlardandir, lekin hozircha u kam qo'llaniladi. Ta'-
mirlashdan keyin, ayniqsa, o'rtacha va kapital ta'mirlashdan keyin
futerovkani quritish zarur. Aks holda, suyuqlantirish jarayonida ajralib
chiqadigan bug'lar vagranka jarayonining ketishiga ta'sir qilishi va
futerovkaning yorilishiga sabab bo'lib, uning vaqtidan ilgari ishdan
chiqishiga olib kelishi mumkin. Futerovkani yaxshisi gaz gorelkari
yoki o'tin yoqib quritish kerak.

Quritilgandan keyin vagranka tagligiga salt kolosha koksini
yondirish uchun o'tin teriladi. Salt kolosha koksi yondirilgandan keyin
havo berish mashinasi ishga tushiriladi va vagrankaga havo yuboriladi.
Havo bilan tozalash 2–3 minut davom etadi. Havo bilan tozalash
jarayonida koks changi va mayda-chuyda narsalar uchirib chiqariladi.
Bunda koks gurullab yona boshlaydi. Endi shixtani yuklash mumkin.

Vagrankaning unumdorligi va suyuqlantirilayotgan cho'yan
temperaturasi bog'liq bo'ladigan eng muhim texnologik faktorlardan
biri — salt koloshaning balandligidir. U furmalarning asosiy qatoridan
1,2–1,5 m baland bo'lishi kerak.

Vagrankada suyuqlantirish texnologiyasi ko'p empirik tavsiyalar-
ga ega. Masalan, salt kolosha balandligining to'g'ri tanlanganligini
furmar zonasida cho'yanning birinchi tomchilarining paydo bo'lish
vaqti bo'yicha nazorat qilish tavsiya etiladi [38]. Agar havo birinchi
ustun to'ldirilgan zamonAQ berilsa, furmalarda birinchi tomchi 15–
20 minutdan keyin paydo bo'lishi kerak. Agar ular oldin paydo bo'lsa,
salt kolosha balandligi yetarli emas. Salt kolosha uchun koksning o'lcha-
mi 100–150 mm bo'lgan yirik bo'laklari tanlab olinadi. Yuklash qat'iy
ketma-ketlikda amalga oshiriladi: yoqilg'i — fluslar — metall. Biror
muddat saqlagandan keyin shixtani qizitish uchun havo beriladi va
suyuqlantirish jarayoni boshlanadi.

Yoqilg'i ishchi koloshada qalinligi 150–200 mm bo'lgan koks
qatlamidan iborat bo'lishi kerak. Yoqilg'i koloshaga bo'ladigan yoqilg'i
sarf 8 dan 18% gachani (odatda, yoqilg'i sarfi 10–12%) tashkil
qiladi. Masalan, koks qatlamining qalinligi 150 mm bo'lganda 700 mm

diametrli vagranka uchun yoqilg'i koloshaning massasi 27 kg, koloshaniki esa 270 kg ni, ya'ni vagrankaning bir unumdorligining 1/10 qismiga yaqinini tashkil qiladi.

Havo ancha jadal berilganda salt koloshaning ustki sathining tushib ketishiga yo'l qo'ymaslik uchun koksni ko'proq yuklash aks holda cho'yanning temperaturasi keskin pasayishi va uning yomon bo'lishi mumkin. Ishchi koloshalarda yoqilg'ining o'rtacha bo'lishi natijasida salt koloshaning yuqorigi sathi ko'tarilishini suyuqlantirish jarayoni sekinlashishi mumkin. Metall va ishchi koloshalarining tavsiya etiladigan massalari 25- jadvalda keltirilgan.

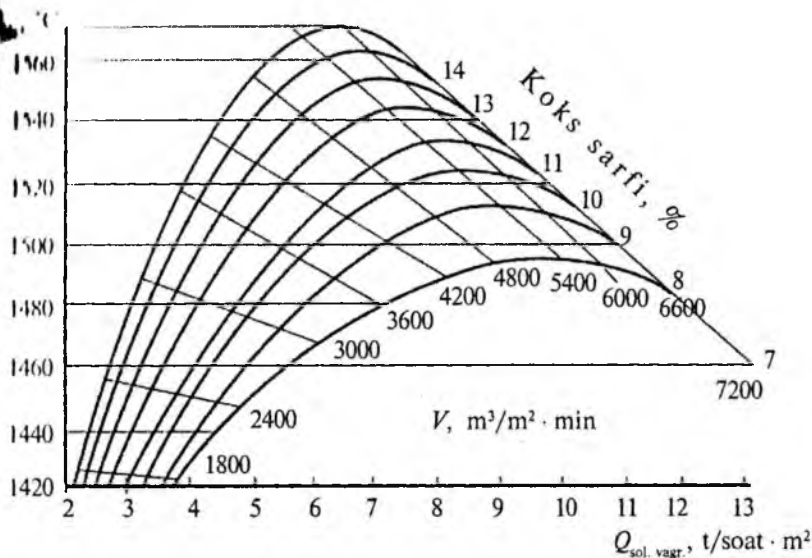
25-ja

Vagrankaning diametriga qarab ishchi koloshalarda tavsiya etiladigan koks va to'ldirma metall massalari

Diametr, m	Unumdorlik, t/soat	To'ldirma metall massasi, kg	Koksni sarflashda ishchi koloshadagi koks massasi (kg), %		
			10	12	14
0,5	2	150	15	18	21
0,7	3-4	300	30	36	42
0,9	4-6	500	50	60	70
1,1	7,5-9	700	70	84	98
1,3	9-12	900	90	108	126
1,5	14-17	1350	135	162	189
1,8	18-22	1800	180	216	252
2,1	25-30	2500	250	300	350

Suyuqlantirishning borishi beriladigan havo miqdori va koks sarfining to'g'ri nisbatiga bog'liq. Vagrankaga beriladigan havo miqdori vagranka bo'sh ko'ndalang kesimi yuzasining 1 m² iga m³/min hisobida topiladi. Vagrankaga beriladigan havo normasi o'rta hisobda 100-130 m³/m² · min, ayrim hollarda, masalan, kam uglerodli cho'yanni suyuqlantirishda 160-180 m³/m² · min ni tashkil qiladi. Olinadigan cho'yanning temperaturasining va vagranka solishtirma unumdorligining beriladigan havo va koks sarfiga bog'liqligi, odatda, nomogrammlar ko'rinishida ifodalanadi. Bunday nomogrammlardan bittasi 60- rasmda keltirilgan [37].

Vagrankada suyuqlantirish vaqtida shixta to'g'ri tortilgan va yuklanganligiga rioya qilish lozim. Vagranka shaxtasida shixtaning bir joyda muallaq turishiga yoki uning to'ldirish tuynugidan ko'pi bilan ikkita kolosha pasayishiga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Suyuqlantirishda beriladigan havo miqdorini, uning bosimini va cho'yanning temperaturasini nazorat qilib turish zarur, shuningdek, furmalar shlaklanib



60- rasm. Vagranka jarayoni parametrlari o'zaro bog'lanishining nomogrammasi (t_{Mc} — metall temperaturasi, °C; $Q_{sol.vagr}$ — vagrankaning solishtirma unumdorligi, t/soat · m²).

qolmasligini kuzatib turish, buning uchun ularni muntazam ravishda tozalab turish kerak. Avariya holatlarida shlakni suyultirish uchun plavik shpati qo'shish lozim.

Vagrankada suyuqlantirish tugagach havo beradigan mashina (vozduxoduvka) to'xtatiladi, shlak va suyuq cho'yan chiqarib yuboriladi, vagranka tubi ochiladi (bunda tag va salt kolosha ag'dariladi) va koks suv bilan o'chiriladi.

Vagranka ishlab turgan vaqtda turli buzuvchiliklar bo'lishi mumkin. Ularning vujudga kelish sabablari va bartaraf qilish choralari 26- jadvalda keltirilgan.

Shlak hosil bo'lishi va uning vagranka jarayoniga ta'siri. Kislotali va asosli jarayonlarning o'ziga xos xususiyatlari

Shlak hosil bo'lishi — metallurgiya jarayonida ishtirok etadigan asosiy fazalardan biridir, shuning uchun uning tarkibi va xossalari suyuqlantirishning borishiga va olinadigan metall xossalari ta'sir qilishi mumkin.

Vagranka shlakining hosil bo'lish manbalari quyidagilardir: Si, Mn, Fe va boshqa elementlar kuyindisi, futerovka sirtining erishi, shixtaning ifloslanishi (shixtadagi qum va begona aralashmalar), yoqilg'i kuli, fluslar. Odatda, vagrankada metall massasidan 5–10% shlak hosil bo'ladi. Shlak tarkibiga CaO, SiO₂, Al₂O₃, MnO, FeO,

Vagrankada suyuqlantirishda bo'ladigan buzuqliklar va bartaraf qilish choralari

Buzuqliklar	Sabablar	Bartaraf qilish choralar
1	2	3
Suyuqlantirish boshida metallning temperaturasi past	Salt koloshaning boshlang'ich balandligi past; mayda koksning mexanik mustahkamligi kichik; uzoq vaqt yoki jadal qizdirilishi tufayli salt kolosha balandligining ko'p pasayishi	Bitta yoki ikkita (qo'shaloq) yoqilg'i koloshani yuklansin; beriladigan sarfi vaqtincha kamaytirilsin (suyuqlantirish zonasiga to'ldirma kelguncha)
Chiqarilayotgan metallning temperaturasi pasaygan	Suyuqlantirish zonasining sathi va qizdiriladigan havo temperaturasi pasaygan	Ikkita (qo'shaloq) yoqilg'i koloshasi yuklansin; koks va metall kolosha vazifasining va dozalanishining to'g'ri tanlanganligi tekshirilsin; beriladigan havo temperaturasi ko'tarilsin
Metall vagranka tagini yorib o'tgan	Tag tiqmasining sifati past; suv tagni vagrankaning suv bilan sovitiladigan uzellari-ning zich bo'lmagan joylari orqali kelayotganda o'pirib ketgan; suyuqlantirish boshida beriladigan havo bosimi katta	Vagrankaga havo berish to'xtatilsin; undagi jami metall chiqarib yuborilsin (shlakka qadar); o'tga chidamli gil (letka tarkibli) bilan yorib o'tilgan joy berkitilsin; vagrankaga suv tushishiga yo'l qo'yilmasin
Metall letkada yoki suyuqlantirish boshida sifonli shlak ajratgichning o'tish zonasida qotib qolgan	Metallning temperaturasi pasaygan; letka yoki o'tish kanali yomon tiqilgan (butun uzunligigacha emas); o'tish kanali va shlak ajratgich yetarli darajada quritilmagan; koks bo'laklari o'tish kanaliga tushib qolgan	Vagrankaga havo berish to'xtatilsin; letka kislorod bilan kuydirib teshilsin. Zarur bo'lsa, metallning temperaturasini ko'tarish choralari ko'rilsin
Sifonli shlak ajratgichning o'tish kanali orqali metallning oqib tushishi to'xtagan	Metall temperaturasi keskin pasaygan; o'tish kanaliga koks bo'lagi yoki sirti kuygan g'isht tushgan	Havo berilishi to'xtatilsin; shlak ajratgichdan metall chiqarib yuborilsin; o'tish kanali lomcha bilan tozalansin yoki kislorod bilan kuydirib teshilsin

		yoki vagranka darhol urib sindirilsin; metallning temperaturasini oshirish uchun choralar ko'rsin
Vagrankada shlakk bo'lgan qolgan	Vagrankadagi havo bosimi yetarli emas; sifonli shlak ajratgich o'Ichamlariga rioya qilinmagan; o'tish kanaliga koks bo'lagi tushib qolgan	Beriladigan havo bosimi eng katta qiymatgacha ko'tarilsin; letka «igna» bilan tozalansin, agar bu chora natijalar bermasa, vagrankaga havo berish to'xtatilsin va metall pastki letka orqali chiqarib yuborilsin; shlak va metall ostonalari pasaytirilsin
Shixta yuqorida muallaq turib qolgan	Yirikshixta ishlatilgan; vagranka shaxtasining futerovkasida o'yiqlik joy va chiqiqlar bor	Vagrankaga havo berish to'xtatilsin; xavfsizlik texnikasiga rioya qilgan holda shixtani yuklash tuynugi orqali yoki berk vagrankalar shaxtasidagi luklar urib teshilsin. Bunda oldindan ulardagi gaz tozalash sistemasida siyraklashish hosil qiladigan quilmalar to'xtatilsin va shaxtaning yuqorigi qismidagi luklar ochilsin. Nuqson bartaraf qilingandan so'ng ikki hissa oshirilgan yoqilg'i koloshasi berilsin
Shixta pastda muallaq turib qolgan (shixta shlak nastilida muallaq turib qolgan)	Tarkibida kul ko'p bo'lgan mayda koks yoki sifatsiz flus ishlatilgan; ta'mirlash sifatsiz bajarilishi tufayli futerovkaning ayrim joylari qulab tushgan	Yirik koks yoki oson suyuqlanadigan flusdan bitta yoki ikkita yoqilg'i koloshasi berilsin; agar nuqsonni bartaraf qilib bo'lmasa, «kozel» hosil bo'lishining oldini olish uchun vagranka urib sindirilsin

MgO oksidlar, shuningdek, Cr_2O_3 , TiO_2 , V_2O_5 , P_2O_5 , K_2O , Na_2O sulfidlar (FeS va boshq.) kiradi. Lekin shlakning asosiy etuvchilari — kremniy-yer (SiO_2), glino-yer (Al_2O_3) va kalsiy oksidi (CaO). Shlak tarkibi qo'llaniladigan futerovkaning tipiga, fluidlarning miqdori va tarkibiga bog'liq.

Suyuqlantirishning kislotali va asosli jarayonlari bir-biridan ajratilgan bo'lib, o'ziga xos sharoitlarda o'tiriladi. Kislotali jarayonda vagranka shamot bilan futerovka qilingan bo'lib, fluidlarning miqdori va tarkibi sharoitga bog'liq. Flus sifatida esa 2–3% li ohaktoshdan foydalaniladi. Suyuqlantirish jarayonida kislotali shlak hosil bo'lib, uning tarkibida SiO_2 (40–60%) ko'p bo'ladi. Bundan tashqari, uning tarkibida 10–20% Al_2O_3 , 10–30% CaO + MgO bo'ladi. Asosli jarayonda futerovkada asosli olovbardosh materiallardan foydalaniladi. Flus sifatida 7–10% li ohaktosh qo'shiladi. Bunda quyidagi tarkibli shlak hosil bo'ladi: 20–30% SiO_2 , 5–10% Al_2O_3 , 40–50% CaO va 10–15% MgO .

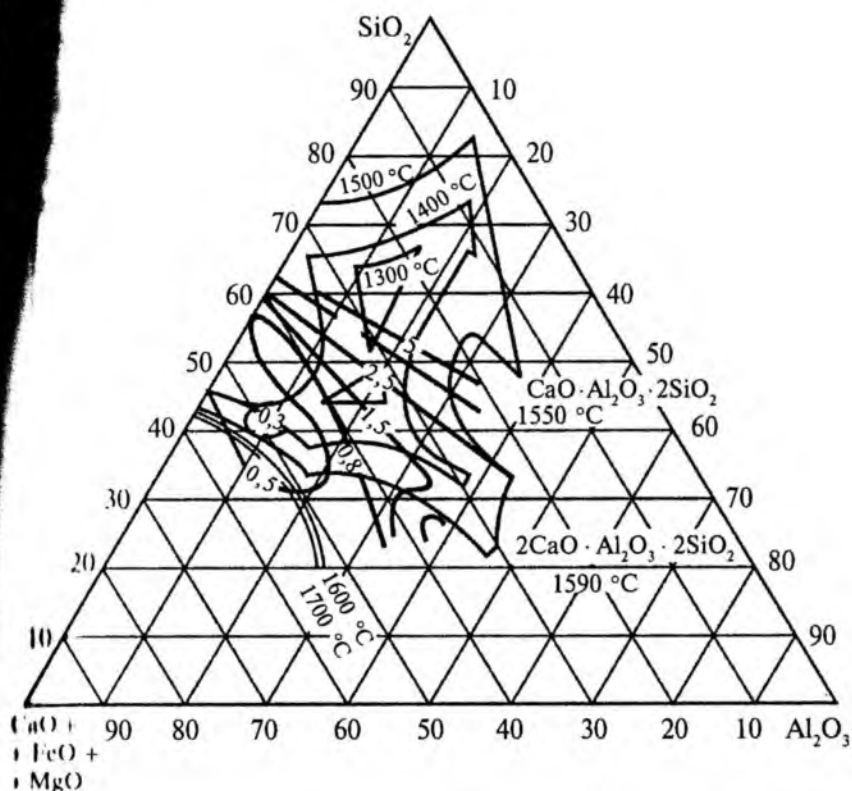
Fizik-kimyoviy jarayonlarning umumiy qonuniyatlariga muvofiq, oksidlanish jarayonida kislotali oksidlar bo'ladigan elementlar asosli shlaklar bilan ancha jadal oksidlanadi. Shu sababli asosli jarayonda kremniy kislotali jarayonga qaraganda ko'p oksidlanadi, marganets esa, aksincha, kislotali jarayonda asosli jarayonga qaraganda ko'p oksidlanadi. Bundan asosli jarayonda olingan cho'yan tarkibida uglerod ko'p bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi.

Asosli jarayonning muhim afzalligi metall dan 40–50% oltingugurt va 30–40% fosfor ni chiqarib tashlash imkoniyatiga egaligidir. Asosli shlaklarda tarkibidan S ni chiqarishga yordam beradigan erkin kalsiy oksidi bo'ladi. Metallning temperaturasi va shlakdagi CaO va SiO_2 ning nisbati yuqori, shuningdek, FeO ning miqdori qancha kam bo'lsa, desulfuratsiya shuncha samarali bo'ladi.

Shlak tarkibida CaO va FeO miqdori qancha ko'p bo'lsa, fosfor shuncha jadal chiqariladi. Past temperaturalarda bu jarayon juda jadal sodir bo'ladi.

Shunga qaramasdan, vagrankalarda cho'yan, odatda, kislotali shlaklar bilan suyuqlantiriladi, chunki bunda jarayon sodda, futerovka esa arzon bo'ladi. Vagranka jarayonining o'tishiga nafaqat shlak va metallning kimyoviy reagentlar sifatidagi o'zaro ta'siri, balki suyuq fazadagi shlakning «xatti-harakati» ham ta'sir qiladi. Tarkibga qarab, shlak turli suyuqlanish temperaturasi va qovushoqlikka ega bo'lishi mumkin. Qovushoqligi yuqori bo'lganda hatto suyuq shlak vagranka jarayonining borishini buzishi mumkin, chunki nastillar hosil bo'ladi (ayniqsa, temperatura biroz past bo'lgan furmalarda ustida). Qovushoq shlak metall dan yomon ajraladi, chunki ba'zan shlakda metall qo'shilmalari — korolkilar qoladi, bu — qaytarib bo'lmaydigan metall yo'qotishlaridir.

Tajriba shuni ko'rsatadiki, shlakning qovushoqligi 0,3–0,8 Pa · s bo'lishi kerak. 61- rasmda psevdouchlik sistema $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \Sigma \text{CaO}$, MgO , FeO ning 1500 °C temperaturalardagi qovushoqligi haqida ma'lumot berilgan.

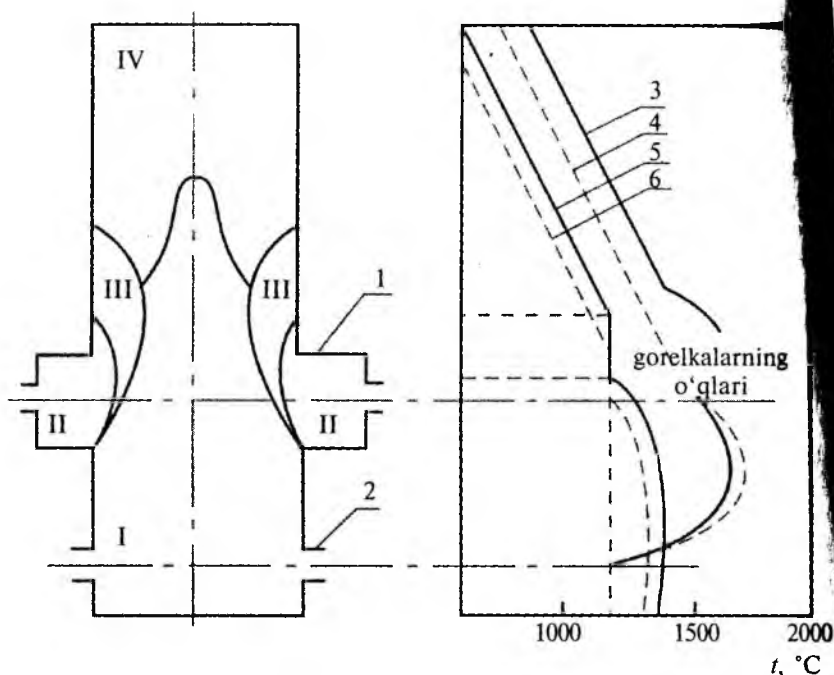


61- rasm. Shlak qovushoqligi va suyuqlanish temperaturasi uning tarkibiga bog'liqligi.

molatlar keltirilgan. Shu diagrammaning o'zida $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ uchlik sistemaning holat diagrammasidan chiziqlar chizilgan. Keltirilgan ma'lumotlardan ko'rinishicha, qovushoqligi eng kichik bo'lgan zona past suyuqlantirish temperaturali zonalarga to'g'ri kelmaydi. Bu diagrammaga muvofiq eng kichik qovushoqlikka 50% ΣCaO , MgO , FeO , 10% Al_2O_3 va 40% SiO_2 dan iborat shlak ega. Shlaklar tarkibini fluslar yordamida rostlash mumkin.

Koks-gaz vagrankalarida cho'yan suyuqlantirishning o'ziga xos xossalari

Koks-gaz vagrankalarida cho'yan suyuqlantirish jarayoni koks vagrankasida suyuqlantirish jarayonlari bo'ysunadigan qonuniyatlarning o'ziga bo'ysunadi. Koks-gaz vagrankasida suyuqlantirishning o'ziga xos xususiyatlari koksning qandaydir miqdorini tabiiy gazning ekvivalent miqdoriga almashtirishdan iborat.



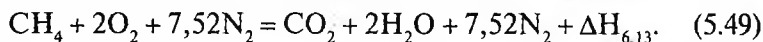
62- rasm. Koks-gaz vagrankasining zonalarga bo'linish sxemasi:

1 – gorelkalarning tunellari; 2 – furmalar, 3 – KGV da gazlarning temperaturasi, 4 – KV da gazlarning temperaturasi, 5 – KGV da metall temperaturasi, 6 – KV da metall temperaturasi.

Ikki xil yoqilg'ining yonish shartlariga ko'ra, vagranka to'rtta zonaga bo'linadi (62- rasm).

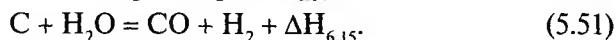
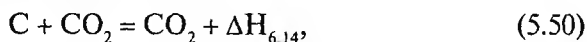
I z o n a. Barcha jarayonlar koks vagrankasida sodir bo'ladigan jarayonlarga o'xshash. Gazning zona oxiridagi o'rtacha tarkibi quyidagicha: CO_2 – 15%, CO – 10% va N_2 – 75%.

II z o n a. Asosan, metan (CH_4) dan iborat bo'lgan gaz yonadi:



Metan gazi yonib bo'lgach, 9,5% CO_2 , 19% H_2O , 71,5% N_2 hosil bo'ladi.

III z o n a. Tabiiy gazning yonish mahsulotlari quyidagi reaksiya bo'yicha koks bilan reaksiyaga kirishadi:



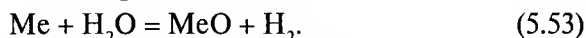
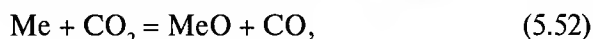
IV z o n a da koks va gaz yonish mahsulotlarining aralashmasi bo'ladi. Gazlar aralashmasining tarkibi taxminan quyidagicha: CO_2 – 7%, CO – 20%, H_2 – 3% va N_2 – 70%. Suv bug'lari ishtirok etishi mumkin.

Koks gaz vagrankasi uchun shaxta balandligi bo'yicha taqsimlashda temperaturaning ikkita maksimumi bo'lishi xarakterlidir (62- rasmga q.). Bu vagrankalarda koks sarfi kamayishi bilan cho'yan tarkibidagi oltingugurt miqdori kamayadi. Koks-gaz vagrankalarida sodir bo'ladigan fizik-kimyoviy jarayonlar koks vagrankalarida sodir bo'ladigan jarayonlarga aynan o'xshash bo'ladi. Chiqib ketayotgan gazlarda CO miqdorining juda ko'p bo'lishi koks-gaz vagrankalarining kamchiligidir.

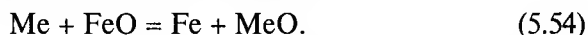
Cho'yanni gaz vagrankalarida suyuqlantirish

Gaz vagrankalarining to'rtta tipi mavjud: shaxtada chiqiqlari bor; shaxtada peremichkasi bor; chiqarma o'ta qizdirish kamerali va o'tga chidamli salt koloshali (35- rasmga q.). Bu rasmda ko'rsatilgan vagrankalarda (*a*, *b*, *d*) suyuq cho'yan shaxtaning 1–1,5*d* balandligidagi suyuqlantirish zonasidan o'ta qizdirish kamerasi basseyniga tushayotganida unga o'ta qizdirish prinsipi qo'llaniladi.

Gaz vagrankalarida cho'yan suyuqlantirish jarayonining fizik-kimyoviy xususiyatlari koksning kimyoviy reagent sifatida bo'lmashligiga bog'liq. Gaz fazasi taxminan 10% – CO₂, 20% – H₂O va 70% – N₂ dan iborat. Oksidlovchi atmosferaning bo'lishi tufayli shaxtada quyidagi reaksiyalar bo'yicha oksidlash jarayonlari sodir bo'ladi:



Suyuqlantirish va o'ta qizdirishda temir ikki oksidi C, Si va Mn ni quyidagi tipdagi reaksiyalar bo'yicha oksidlaydi:



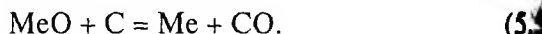
Natijada 8–12% C, 10–15% Si va 15–20% Mn kuyadi. Koks uglerodi ishtirok etmasligi tufayli kuyish yuqori bo'lishi ham mumkin, chunki uglerod qaytarilish jarayonlarining mikrohajmlarda rivojlanishiga yordam beradi.

Koks bo'lmaganligi tufayli metallning oltingugurt bilan to'yinish jarayoni sodir bo'lmaydi, aksincha, oltingugurtning dastlabki miqdoridan 30–40% qismi kuyadi. Natijada cho'yanda 0,02–0,05% oltingugurt qoladi.

Cho'yanni gaz vagrankalarida suyuqlantirib olish quyidagi afzalliklarga ega: chiqarib tashlanadigan zararli moddalar juda kam, olinadigan cho'yan tarkibidagi oltingugurt juda oz miqdorda bo'lib, cho'yanning sifati yuqori va tannarxi past bo'ladi. Futerovkaning ancha murakkab bo'lishi va o'tga chidamli materiallarning ko'p sarflanishi – kamchiligidir.

O'tga chidamli salt koloshali gaz vagrankalarida (35-g rasmga q.) uning tarkibiga o'tga chidamli materiallar bilan birgalikda koks yoki

boshqa uglerodli material kiritiladi, bu esa quyidagi tipdagi reaksiya ning o'tishiga imkon beradi:

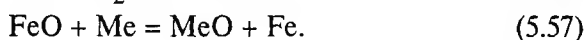


Bunda kuyindilar kamayadi, cho'yan uglerodlanadi, koloshaning ishlash sharoitlari yaxshilanadi, chunki uglerodli material bo'laklari o'tga chidamli material bo'laklarini ajratadi va yopishqorlik qolishiga hamda cho'kishiga imkon bermaydi; bundan tashqari, gaz fazasi kam oksidlovchi bo'lib qoladi. Gaz vagrankalarida cho'yan o'ta qizdirish koks vagrankalaridagidek amalga oshiriladi: metall tomchilari o'tga chidamli salt kolosha bo'laklaridan oqib tushadi va ular bilan kontaktlashib hamda uglerodli material bo'laklariga tushib samarali o'ta qiziydi. Bunda metall uglerodni eritadi va oksidlar uglerodli material bilan kontaktlashib qaytariladi. Bunday vagrankalarda temirning kuyishi ancha kam bo'ladi.

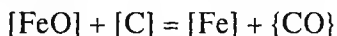
5.4. Cho'yanni yoy elektr pechlarida suyuqlantirish

Cho'yanni yoy yordamida suyuqlantirishning fizik-kimyoviy xususiyatlari. Yoy elektr pechlari kislotali futerovkaga ham, asosli futerovkaga ham ega bo'lishlari mumkin. Mos ravishda, suyuqlantirish, jarayoni ham kislotali yoki asosli bo'ladi. U yoki bu sharlarda fazalarning o'zaro ta'siri haqida keltirilgan barcha holatlar cho'yanni yoy pechlarida suyuqlantirish uchun ham o'rinlidir, ya'ni kislotali jarayonda asosli jarayonga qaraganda Si kam kuyadi, Mn esa ko'p kuyadi.

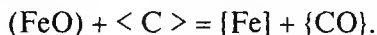
Shixta yuklangandan keyin elektrodlar tushiriladi va suyuqlantirish jarayoni boshlanadi. Jarayon yoyni barcha tomondan o'rab olgan shixtaning issiqlikni yuqori darajada o'zlashtirib olishi bilan xarakterlanadi (suyuqlanish davrida FIK 85% ga yetadi). Yoy razryadlari sohasida temperaturalar juda yuqori bo'lishi mumkin (63- rasm). Bunda elementlar kuyibgina qolmasdan (63- rasmdagi grafiklarga q.), balki bug'lanib ketishi ham mumkin. Bu — yoy elektr pechlarida suyuqlantirishning asosiy xususiyatidir. Barcha metall suyuqlangandan keyin yoy sokin yona boshlaydi va issiqlik uzatilishi suyuqlangan metall yuzasidagina sodir bo'ladi, bunda yoy razryadlari sohasida issiqlik ancha jadal, qolgan yuzada esa sustroq uzatiladi. Shu sababdan, o'ta qizdirishda FIK past bo'ladi. Elementlar yuqori temperaturalarda va pech atmosferasida kislorod bo'lganda kuyadi. Oldin temir oksidlanadi, so'ngra temir (II) oksidi elementlar (C, Si, Mn) ni oksidlaydi:



Yoy yordamida cho'yan suyuqlantirishning o'ziga xos xusus
vannaning qaynashiga, ya'ni



reaksiyaning o'tishiga yo'l qo'ymaslik. Shuning uchun shlak tarkibi
FeO 12% dan ortiq bo'lmasligi kerak, bunga karbyurizator
hisobiga shlakni muntazam oksidsizlantirib erishiladi:



Shu boisdan taqsimot muvozanati $(\text{FeO}) \rightleftharpoons [\text{FeO}]$ chapga
va vannaning qaynashi, ya'ni (5.59) reaksiya bo'yicha CO ning
chiqishi sodir bo'lmaydi

Yoy pechida cho'yanni monojarayon yordamida suyuqlantirish texnologiyasi. Shixta sifatida, asosan, cho'yan yoki po'lat to'qimachilik
tersaklari va qaytarilgan metall, shuningdek, biror miqdorda quvur
ko'rinishidagi yangi cho'yandan foydalaniladi. Shixta mavjud shixta
materiallarining kimyoviy tarkibiga va kuyindiga asosanib hisoblanadi.
Odatda, uglerodning kuyishi 10%, kremniyning kuyishi 10%,
marganesning kuyishi 20% deb qabul qilinadi. Shixtada qirindilarni
foydalanilganda elementlarning kuyishi sezilarli darajada ortishi
hisobga olish lozim.

Har bir suyuqlantirish oldidan futerovkani mayda ta'mirlash
zarur. Shu maqsadda tag va qiyaliklar zapravka qilinadi, ya'ni tag
qiyaliklardagi chuqurchalarga oldingi suyuqlantirish jarayoni tugagan
zamonogacha, 90–92% kvars qumdan, 5–6% suyuq shisha va 3–4%
suvdan iborat aralashma surtiladi. Futerovka asosli bo'lganda zapravka
dolomit yoki magnezit massa bilan amalga oshiriladi.

Shixta ixtisoslashtirilgan qovg'a yordamida yuklanadi. Shixtanin
hovlisiga massasi pech sig'iminin qariyb yarmini tashkil qiladigan
shixta porsiyasi yuklanadi. Shixtani pech vannasiga yuklash uchun
gumbaz chetga suriladi, qovg'a pech vannasi bilan o'qdosh qilib
o'rnatiladi va tubi ochiladi. Yuklash oldidan karbyurizatorning
(elektrod siniqlari, elektrod uvoqlari va shunga o'xshashlar) hisob
miqdoridan 75%i qovg'a yoki pechga uzatiladi.

Yuklangan va gumbaz bilan berkitilgan pech suyuqlantirish uchun
ishga tushiriladi, ya'ni kuchlanish ostida bo'lgan elektrodlar shixta
bilan kontaktlashgunga qadar pechga kiritiladi. Yoy razryadlarini
turg'un o'tishi yo'lga qo'yilgandan keyin pech quvvati yuqori
bosqichga o'tkaziladi. Shixta suyuqlangan sayin suyuqlanmagan
bo'laklar hosil bo'lgan quduqlarga itarib tushiriladi. Shlak hosil qilish
uchun uni hosil qiluvchi komponentlar: ohak va qum kiritiladi. Ularning
massasi shunday tarzda tanlanadiki, suyuqlantirish oxirida metall
qalinligi 50 mm ga yaqin shlak qatlami bilan qoplansin. Shlakning
qovushoqligi yuqori bo'lmasligi kerak (sinov qoshig'idan oson

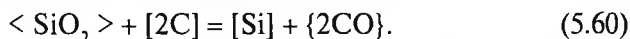
lin), qotgandan keyin, esa yashilroq sirtli zich siniq joyiga
(q) ega bo'lishi kerak. Qattiq holatda shlak singan joyining qora
va putakchasimon bo'lishi uning yuqori darajada oksidlanganligi
va guvohlik beradi. Bunday holda shlakni qisman chiqarib tashlash
slak hosil qiluvchi yangi komponentlar qo'shish kerak.

Asosiy shlakni hosil qilish uchun pechga 1 t metallga 0,15 kg
ohak kiritiladi, natijada 0,001% oltingugurt chiqarib yubori-
ladi. To'la suyuqlangandan keyin kimyoviy analiz qilish va oqarganligini
tekshirish uchun namunalar olinadi, pech esa ikkinchi bosqichga
o'tadi va metall 1400–1450 °C gacha o'ta qizdiriladi. So'ngra shlak
chiqarib yuboriladi, pechga karbyurizatorning umumiy hisob
bo'yidan qolgan 25%i hamda ohak va qum kiritiladi. Birinchi ekspress-
analiz natijalariga ko'ra pechga ferroqotishmalar beriladi. So'ngra
metall 1440–1480 °C gacha o'ta qizdiriladi va kovshga chiqariladi.

5.5. Induksion elektr pechlarida cho'yan suyuqlantirish

Induksion pechda cho'yan suyuqlantirishning fizik-kimyoviy xususiyatlari. Vagrankalar va yoy pechlaridan farqli o'laroq, induksion pechlarda suyuqlantirish oldingi suyuqlantirishdan qolgan suyuq metallga shixta yuklab olib boriladi. Shu sababli, shixtaning qizishi va suyuqlanishi uning komponentlarining suyuq metallda erishiga bog'liq. Bunda fazalar orasida massa ko'chirish va issiqlikning faqat qizitishga emas, balki eritishga ham yutilishi sodir bo'ladi.

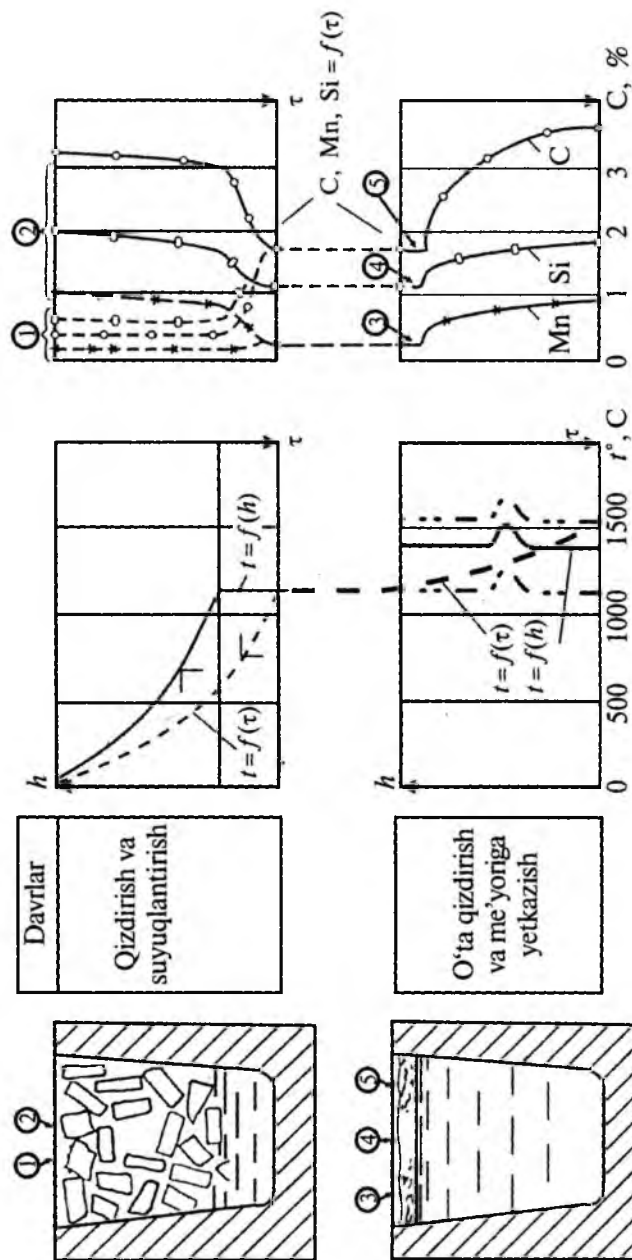
Tigelning o'rta qismida temperaturalarning taqsimlanishiga ta'sir qiladigan devor oldi aralashtirish zonasida yuqorigi va pastki konturlar orasida «o'lik» zona yaratilishi hisobiga temperaturaning mahalliy o'tishi sodir bo'ladi (64- rasm). Yuqori temperaturali zonaning mavjudligi tigel reaksiyasining o'tishiga ta'sir qiladi:



Bu (5.60) reaksiyaning o'tishi, shuningdek, uglerod va boshqa elementlarning erishi — induksion pechda suyuqlantirishning o'ziga xos xususiyatidir.

27- jadvaldan ko'rinishicha, uglerodning erishi issiqlikning sezilarli yutilishi, kremniyning erishi esa issiqlik ajralishi bilan sodir bo'ladi. Binobarin, induksion pechlarda kam kremniyli shixta materiallaridan foydalanish, undagi kremniy miqdorini talab darajasiga ferroqotishmalar yordamida yetkazish energetik jihatdan foydalidir.

Elementlar kuyindisi va futerovkasi kislotali bo'lgan induksion pechdagi butun suyuqlantirish jarayoni tigel reaksiyasining muvozanatda bo'lishi bilan chambarchas bog'langan. C va Si larning turli temperaturalardagi muvozanat qiymatlarining diagrammasi 55- rasmda keltirilgan. Agar induksion pechda tarkibida kremniy kam bo'lgan va



64- rasm. Indukcion elektrpechda metall temperaturasining va tarkibining o'zgarishi (1-5 larni 63- rasmdan qarab oling).

Erishning issiqlik effektlari

Eritgich	Eriydigan komponent	Entalpiyaning o'zgarishi ΔH , J/g · atom
Cho'yan (3,3% C)	Po'lat (0,6% C)	1360
Cho'yan (3% C)	Koks	11723
Cho'yan (3% C)	ΦC-75	-3893

Uglerod miqdori ko'p bo'lgan cho'yan suyuqlantirilsa, C va Si ning berilgan konsentratsiyalari uchun muvozanat temperaturaga erishilganda tigel reaksiyasi boshlanadi, bu esa pech tigelingining ko'p yeyilishiga olib keladi. Shuning uchun futerovkasi kislotali pechda suyuqlantirishning temperatura rejimini o'ta qizdirilayotgan suyuq cho'yaning kimyoviy tarkibiga qarab tanlash zarur.

Induksion pechda suyuqlantirish texnologiyasi. Induksion pechda suyuqlantirishning texnologik jarayoni shixtani yuklash, uni qizdirish va suyuqlantirish, o'ta qizdirish, uglerodlash va cho'yanning kimyoviy tarkibini berilgan tarkibgacha yetkazish, shuningdek, termovaqtli ishlav berish (saqlab turish)ni o'z ichiga oladi. Yuklanadigan shixta qisman suyuqlanmaga botirilib elektr o'tkazadigan uzluksiz muhit yaratadi va bu muhitda induktor bilan uyurmaviy toklar hosil qilinadi. Suyuq metallga (oldingi suyuqlantirishdan qolgan zumpf yoki «botqoq» deb ataladigan qoldiq) yuklash shuning uchun ham bajariladiki, sanoat chastotali elektr tokidan foydalanilganda shixtaning diskret elementlarida uyurmaviy toklar hosil qilish kam samarali bo'ladi, chunki ular metallni qizdiradi va u suyuqlanadi.

Zumpf massasi pechdagi metall umumiy massasining 50%ini tashkil qiladi va, mos ravishda, suyuqlantirish davrlarining davomiyligiga ta'sir qiladi. «Botqoq»qa yuklash bir necha bosqichlarda amalga oshirilishi mumkin. Masalan, sig'imi 12 t bo'lgan pechda va sig'imi 5 t bo'lgan zumpfda suyuqlantirishda quyidagi ketma-ketlikka va davrlarning davomiyligiga rioya qilinadi: 5–6 t ni yuklash (qaytarishdan tashqari) — 15 min, suyuqlantirish — 1 soat 5 min, kimyoviy tarkibni me'yoriga yetkazish — 40 min, qaytarilgan metallni (2 t) yuklash — 10 min, qaytarilgan metallni suyuqlantirish — 15 min, temperatura bo'yicha me'yoriga yetkazish va shlakni nasos bilan chiqarib tashlash — 25 min. Shunday qilib, pechning soatlik unumdorligi uning sig'imining taxminan 1/3 qismini tashkil qiladi.

Ba'zan suyuqlantirish sikli bayon etilganidan sezilarli farqlanadi. Masalan, sig'imi 65 t bo'lgan tigelli induksion pechlarda suyuqlantirishda hajmi 58 t ni tashkil qiladigan «botqoq»qa yuklash har biri

7 t dan bo'lgan porsiyalar bilan amalga oshiriladi. Yuklanadigan qattiq metall 500 °C gacha qizdirilganda tez suyuqlanadi va 10 o'tgach 1550 °C temperaturali 7 t suyuq metall chiqarib beriladi.

Shixtani qizdirish va suyuqlantirish vaqtida temirning oksidlanish jarayonlari sodir bo'ladi. Havo kislorodi temir aralashmalarini oksidlaydi. Temir, kremniy va marganes oksidlari shlak hosil qiladi.

Induksion pechlarda cho'yanni suyuqlantirishda FeO dan va uning qaytarish uchun karburizator ishlatish va ferroqotishmalarini yaratish jash maqsadga muvofiq bo'ladi. Suyuqlantirishni suyuqlanma kremniy va marganes miqdori kam va uglerod miqdori ko'p bo'lgan bajarish lozim. Buning uchun karburizatorni tigel tubidagi uyushma kiritish, suyuqlangan va o'ta qizdirilgan suyuq cho'yanga ferrosilitsiy va ferromarganes kiritish zarur. Tarkibida uglerod bo'lgan $\Phi C 75$ va $\Phi M \Pi 5$ qo'shilmalarni yuklagichga yuklaganda C, Si, Mn larning kuyindilari, tegishlicha, 18–25, 30–32 va 52–55% tashkil qiladi. Agar yuklash joyiga karburizator kiritilsa, $\Phi C 75$ va $\Phi M \Pi 5$ esa pech 1550 °C gacha qizdirilib, 1440–1460 °C gacha sovitilgandan keyin qo'shilsa, C ning kuyindisi 30–35% gacha, Si, Mn ning kuyindisi esa, tegishlicha, 5–7% hamda 18–24% gacha kamayadi. Shu boisdan, shuningdek, komponentlarning erish issiqlik effektlarini (28- jadval) hisobga olib, birinchi navbatda, karburizator va po'latning temir-tersaklarini, ular suyuqlangandan va erib ketgandan keyin esa cho'yanning temir-tersaklari hamda qaytarmani yuklash lozim. Ferroqotishmalar eng oxirida (me'yoriga yetkazishda) kiritiladi [8].

Induksion pechda suyuqlantirishda shlaklar katta qovushoqlikka ega bo'ladi, chunki ularning tarkibida 60–70% SiO_2 bo'ladi (61- rasimga qarang) va past temperaturaga ega bo'ladi, bu esa shlak bilan birgalikda metallning ko'p yo'qolishiga olib kelishi mumkin. Ularning tarkibi suyuqlantirish rejimi, elementlarning kuyishi va oksidlarning futerovkaning sirt qatlamidan shlakka o'tishiga bog'liq. Shlaklarning kislotaliligi suyuqlantirish boshidagi 0,9–1,1 dan 1500 °C temperaturaga erishilganda 6–8 gacha ortadi, shlakdagi temir oksidlarning miqdori 40 dan 10% gacha kamayadi. SiO_2 ning miqdori esa 40 dan 70% gacha ortadi. Qolgan komponentlarning miqdori deyarli o'zgarmaydi (2–3% CaO; 0,5–2,5% Mn; 7–14% Al_2O_3). SiO_2 miqdorining ortishini past suyuqlanish temperaturasiga ega bo'lgan ($SiO_2 \cdot nFeO \cdot mMnO$) tipidagi murakkab birikmalarning hosil bo'lishi hisobiga uning futerovkadan o'tishi, shuningdek, FeO ning kamayishi hisobiga uning shlakdagi solishtirma ulushining ortishi bilan tushuntirish mumkin. FeO yuqori temperaturada, asosan, cho'yan uglerodi bilan qaytariladi.

Cho'yanning uglerodlanishi va uni ma'lum kimyoviy tarkibgacha yetkazish – induksion pechda cho'yan suyuqlantirish operatsiyalaridan eng muhimidir. Kimyoviy tarkibi ma'lumotnomalarda kelti-

hisob ma'lumotlari bo'yicha korrektirovka qilinadi. Induksion cho'yan suyuqlantirishni yakunlovchi operatsiyasi termovaqt berishdir. Bu operatsiya suyuqlanmani gomogenizatsiyalash va shixta materiallarining zararli irsiy ta'sirini kamaytirish maqsadida bajariladi. Termovaqt ishlov berish tigel reaksiyasining muvozanat temperaturasidan 50 °C ortiq temperaturada tutib turish iboratdir. Tutib turish C4 18 cho'yan uchun 5 min dan 20 min gacha (C4 45 cho'yan uchun) davom etadi.

5.6. Cho'yan suyuqlantirish polijarayonlari

Birlamchi agregatlarda (V, DP, ITP) sodir bo'ladigan barcha jarayonlar monojarayonlar vositasida suyuqlantirishning tegishli metodlari uchun yuqorida ko'rib o'tilganlarga aynan o'xshashdir. Birlamchi agregatlarda (DP, ITP, IKP) cho'yan kimyoviy tarkibining o'zgarishi suyuq metallning shlak va pech futerovkasi bilan o'zaro ta'siriga bog'liq. ARU bilan dupleks yoki tripleksda barcha jarayonlar birlamchi agregatlar va kutish pechida o'tadi. ARUda kimyoviy tarkibi deyarli o'zgarmaydi.

Dupleks-jarayonlar kimyoviy tarkibni g'oyat sezilarli darajada o'zgartirib va hatto qattiq shixta materiallarini (masalan, qaytarilgan metall va B4 ni suyuqlantirishdagi boshqa chiqindilar) qo'shib amalga oshiriladi. Bunday jarayonlar faqat DP va ITP da amalga oshirilishi mumkin. Bunday holda suyuqlantirish jarayonini qattiq shixtani suyuq quyim bilan qisman almashtiriladigan monojarayonga o'xshash ko'rib chiqish lozim, bu esa induksion suyuqlantirishda monojarayon uchun ham xarakterlidir.

Shixta va boshqa qo'shilmalar kiritilmaydigan dupleks-jarayonda kimyoviy tarkibning o'zgarishi kuyindi, shuningdek elementlarning qirmochi va metall porsiyasining quyilishi va olinishiga bog'liq.

Birinchi dupleks-jarayon uchun vagrankaning yoy pechi bilan birga qo'shilishidan foydalanilgan edi. Uni bir necha o'n yillar muqaddam K4 ni suyuqlantirish uchun qo'llay boshladilar. Bu dupleks-jarayon vositasida suyuqlantirish texnologiyasi quyidagidan iborat: shay qilib qo'yilgan yoy pechiga quyib chiqishdan 1–2 soat oldin vagrankadan suyuq cho'yan quyiladi. Chiqindilardan foydalanilganda (B4 ishlab chiqishda amalda qo'llaniladi) ular pech tubiga to vagranka cho'yani oqib tushmaguncha yuklanadi. Cho'yan DPga quyilgandan keyin jarayon me'yoriga yetkazish davrida monojarayon olib borilishiga o'xshash olib boriladi. Yoy pechlarida cho'yanning kimyoviy tarkibi sezilarli o'zgarishi tufayli uni ekspress-analiz natijalariga ko'ra, korrektirovka qilish zarur. Kanalli pechlardan foydalanilganda cho'yanning kimyoviy tarkibi juda kam o'zgaradi.

Vagranka—kanalli induksion pech dupleks-jarayoni jahon liyotida keng tarqalgan. U Rossiyaning ZIL, GAZ va boshqa korxonalariida joriy qilingan. Bunday suyuqlantirish usulining qo'llanilishi va temperaturasi bo'yicha turg'un metall katta ko'lamlarda ishlatiladigan hollarda, masalan, avtomobillar va traktorlar ko'ndirishlab chiqariladigan sexlarda maqsadga muvofiq bo'ladi [40].

Kanalli pechlarda cho'yan, odatda, berilgan tarkibgacha yuzashtirilmaydi. Undan faqat suyuq cho'yan tarkibini o'rta hisobga keltirish va qizdirish uchun foydalaniladi. Zarur bo'lganda qo'shilmalar uzatish kovshlari yoki tarnovga kiritiladi. Cho'yanning tarkibi va temperaturasi bo'yicha o'rta hisobga keltirilishini ta'minlash uchun uning miqdori doimo pechning 2/3 hajmi baravarida saqlab turish zarur.

Bunday dupleks-jarayonlarda ko'pchilik hollarda bitta kanalli pech bilan ishlaydigan ikkita vagranka ishlatiladi. Suyuqlantirish kompaniyasi uzoq vaqt davom etadigan (bir hafta va undan ortiq) yangi vagranka odatdagi ikkita vagrankaning o'rnini bosadi.

Suyuq cho'yanni kanalli induksion pechga uzatishda shlakni yaxshilab ajratib olish kerak. Agar unga shlak tushsa, futerovkaning yeyilishi keskin ortadi. Kanalli pechda to'planib qolgan shlakni vaqtincha vaqti bilan chiqarib tashlash zarur.

Dupleks-jarayon V-ITP ham mashinasozlik zavodlarining quyidagi sexlarida keng tarqalgan. Tigelli induksion pechlarning ikkilamchi agregatlar sifatida qo'llanilishi smena davomida cho'yanning bitta necha markasini olish zarur bo'lgan hollarda maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu pechlarda ferroqotishmalar, karburizatorlar yoki po'lat chiqindilar qo'shib cho'yan tarkibini korrektirovka qilish oson bo'ladi.

Dupleks-jarayon ITP-IKP da cho'yan mayda po'lat siniqlari va chiqindilaridan iborat shixtalardan olinadi. Bu jarayon tigelli induksion pechlarning texnologik afzalliklaridan foydalanishga imkon beradi.

VAZda kulrang cho'yan ishlab chiqarishda sig'imi 25 t bo'lgan tigelli induksion pechdan va foydali sig'imi 45 t bo'lgan kanalli pechdan iborat dupleks-jarayondan foydalaniladi [35]. Shixta sifatida temirchilik—presslab ishlab chiqarish chiqindilari, qaytarilgan metall va biroz quyma cho'yandan foydalaniladi. Metall bitta pechdan boshqasiga tarnov yordamida uzatiladi. Shixtaning o'rtacha kimyoviy tarkibi (%) C — 2,179; Si — 2,078; Mn — 0,624; S — 0,05; P — 0,058; Cr — 0,184; Sn — 0,035; Ni — 0,0183; Cu — 0,089. Suyuqlantirish jarayoni 3 soatga yaqin davom etadi. Butun quyma massasi taxminan 26 t ni tashkil qiladi. Yuklashni boshlagandan keyin 3 soat 25 minut o'tgach, 20 t cho'yan kanalli pechga qayta quyiladi. Bu cho'yanning tarkibi (%): C — 3,35; Si — 1,97; Mn — 0,61; S — 0,045; P — 0,05; Cr — 0,15; Sn — 0,038; Ni — 0,29. Suyuqlantirish shlak tarkibida Fe_2O_3 — 30–42%, SiO_2 — 42–53% va MnO — 4,5–5,2% bo'ladi. Saqlab turish kanalli pechda cho'yanning kimyoviy tarkibi ko'p

maydi: C — 3,325 dan 3,33% gacha; Si — 1,935 dan 1,90% gacha, Mn — 0,595 dan 0,59% gacha. Tigelli pechdan 20 t metallni metall pechga quygunga qadar pechda suyuq metall qoldig'i (20 t yaqin) bo'ladi.

Dupleks-jarayon DP-ITP ham VAZda qo'llaniladi. Bu yerda qattiq metall suyuqlantiriladigan 40 t sig'imli yoy pechi o'rnatilgan. Tigelli induksion pechlarda metall zarur bo'lgan kimyoviy tarkibgacha tarkiziladi va quyish jarayonida yuqori temperaturada saqlab turiladi. CH , KH , BH cho'yanlarni suyuqlantirib olish uchun tarkibida, asosan, po'lat chiqindilari va qaytarilgan metall, shuningdek 11% gacha quyma cho'yan (CH uchun) va turli qo'shimchalar (ΦC , ΦMn , grafit) bo'lgan shixtalardan foydalaniladi.

Grafitni ancha to'la o'zlashtirish va tigelli pechga quyishda issiqlik yo'qotishlarni to'ldirish uchun metall pechdan quyish kovshlariga beriladigan temperaturasidan $50^{\circ}C$ ortiq o'ta qizdiriladi. O'ta qizdirish temperaturasi $1520-1580^{\circ}C$ diapazonda o'zgaradi.

Kimyoviy tarkib kremniy va marganes bo'yicha yoy pechida, uglerod bo'yicha — metall qabul qilgichga grafit kiritib, metallni induksion pechga berishda quyish tarnovida korrekcirovka qilinadi.

Dupleks-jarayon ITP-DP dan cho'yanni chuqur desulfuratsiya qilish zarur bo'lganda foydalaniladi. Avtomobil zavodi (GAZ)da bu jarayon sharsimon grafitli juda mustahkam cho'yandan tirsakli vallar ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Cho'yanni suyuqlantirish uchun sanoat chastotali tigelli induksion pechlar $LFD=12$ dan, desulfuratsiyalash uchun esa asos futerovkali yoy pechi DChM-10 dan foydalaniladi.

Dupleks-jarayon DP-DP KAMAZ da qo'llaniladi. Cho'yan sig'imi 50 t yoy pechlarida suyuqlantiriladi va sig'imi 75 t bo'lgan xuddi shunday pechlarga qayta quyiladi. Pechda berilgan kimyoviy tarkibli suyuqlantirilgan cho'yan olinadi. Masalan, $CH-20$ uchun quyidagi tarkibdagi cho'yan olinadi (%): C — 3,3–3,45; Si — 1,95–2,10; Mn — 0,5–0,7; S — 0,1; P — 0,2; Sr — 0,2–0,4; Ni — 0,1–0,2. Shixta sifatida, asosan, qaytarilgan metall va po'lat chiqindilari, shuningdek, 10–15% quyma ko'rinishidagi cho'yan hamda 10% ga yaqin cho'yan temir-tersaklaridan foydalaniladi.

Suyuqlantirish asosli shlaklarda olib boriladi. CaO/SiO_2 nisbat 0,9–1,2 chegaralarida saqlab turiladi. Cho'yan temperaturasi $1430-1450^{\circ}C$ ga erishganda kimyoviy analiz qilish uchun namuna olinadi. So'ngra cho'yan $1540-1560^{\circ}C$ gacha o'ta qizdiriladi, shlak nasos bilan so'rib olinadi va cho'yan kovshga chiqarib yuboriladi. Agar kimyoviy analiz berilgan qiymatga to'g'ri kelmasa, unda zarur bo'lgan qo'shimchalarning hisob miqdori kiritiladi. Kutish pechiga 60–80 kg kvars qumi yoki shamot siniqlari, 40–50 kg ohaktosh va 20–30 kg koks yuklanadi.

Saqlab turish pechlarida cho‘yan temperaturasi, uning kimyoviy tarkibi va oqartirilish kattaligi nazorat qilinadi. Pechdan chiqarilayotgan cho‘yan temperaturasi 1440–1480 °C, kimyoviy tarkibi esa taqviy darajasiga mos kelishi kerak.

Amalda suyuqlantirish pechlarining muayyan ishlab chiqarish sharoitlariga ancha to‘g‘ri keladigan boshqa birikmalari ham uchraydi. Domna pechi–elektr pechdan iborat dupleks-jarayondan foydalanish eng samaralidir [8].

5.7. Po‘lat suyuqlantirish jarayonining fizik-kimyoviy xarakteristikasi

Termodinamika. Po‘latni suyuqlantirish uchun boshlang‘ich bosqichda oksidlash jarayonlarining jadal o‘tishi (oksidlash davri) va po‘lat olishning yakunlovchi bosqichida metallardan oksidlarni chiqarib tashlash (oksidlantirish) xarakterlidir.

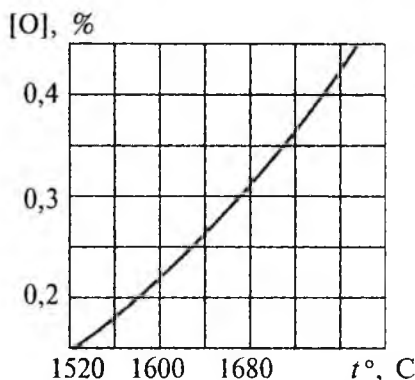
Oksidlash davrini termodinamik analiz qilish uchun 2- § da bayon qilingan metodikani qo‘llash mumkin. Oksidlanish reaksiyalarining termodinamikasi kislorodning suyuq temirda eruvchanligi va aktivligiga bog‘liq [9, 30].

Kislorodning eruvchanligi to‘g‘risida turli eksperimental sharoitlarda olingan ma’lumotlar bir-biriga yaxshi to‘g‘ri keladi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\lg[\% \text{ O}] = -6320/T + 2,734, \quad (5.61)$$

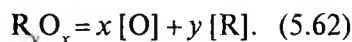
1600 °C da kislorodning eruvchanlik eksperimental qiymatlari 65- rasmda keltirilgan.

Suyuq temir eritmasida kislorod miqdorining kamayish darajasi metallga kiritiladigan elementning oksidlantirish qobiliyatiga bog‘liq.



65- rasm. Suyuq temirda kislorodning erishi.

Bu qobiliyat berilgan temperatura-da oksidlantirgichning ma’lum konsentratsiyasi bilan muvozanatda bo‘lgan kislorod miqdori bilan baholanadi [30]. Kislorodning suyuq temirdagi oksidlantirgich element bilan o‘zaro ta’sir reaksiyasini umumiy ko‘rinishda quyidagi tenglama bilan tasavvur etish mumkin:



Kislorod va oksidlantirgichning muvozanat miqdori orasidagi munosabat (5.62) reaksiyaning

Muvozanati konstantasi bilan aniqlanadi. Bu konstanta suyuq temirda erimaydigan oksid bo'ladigan oksid erimaydigan hollarda, quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

$$K = a_R^y a_O^x = f_R^y [\%R]^y f_O^x [\%O]^x,$$

bu yerda: a_R va f_R — tegishli element-oksidsizlagichning aktivligi va aktivlik koeffitsiyenti.

f_R va f_O kattaliklar quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$f_R = f'_R \text{ va } f_O = f'_O f_O^R,$$

bu yerda: f'_R va f'_O — mos ravishda temir juda ko'p qo'shilgan binafsh qotishmalarda element-oksidsizlagich va kislorodning aktivlik koeffitsiyenti; f_R^O va f_O^R — uch komponentli suyuqlanma Fe—R—O larda kislorod va oksidsizlantirgichning aktivlikka ularning o'zaro ta'sirini hisobga oladigan aktivlik koeffitsiyenti.

Po'latning asosiy oksidsizlantirgichlari Mn, Si va Al hisoblanadi. Temirni mangan bilan oksidsizlantirish reaksiyasi $(FeO) + [Mn] = (MnO) + [Fe]$ tenglama bilan, reaksiya muvozanati konstantasi esa quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$K_{Mn} = \frac{(MnO)}{(FeO)[\%Mn]},$$

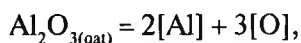
bu yerda: (FeO) va (MnO) — temir ikki oksidi va manganesning shlakdagi konsentratsiyasi. U massa yoki molar ulushlari bo'yicha protsentlarda ifodalanadi. Ulardan aktivlik o'rnida foydalanishni FeO—MnO sistemada qorishmalarning ideal holatda bo'lishi bilan oqlash mumkin.

Suyuq temir eritmasida kremniyning kislorod bilan o'zaro ta'sir reaksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:



$$a_{SiO_2} = 1 \text{ da } K_{Si} = [\%Si] = [\%O]^2.$$

Aluminiy uchun muvozanat konstantasi [30] quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:



$$K'_{Al} = [\%Al]^2 \cdot [\%O]^3.$$

28-jadvalda V.I.Yanovskiy bo'yicha [30] muvozanat konstantalarini temperaturaviy bog'lanishining taqqoslanishi berilgan. Jadvaldan ko'rinishicha, aluminiy eng katta oksidsizlantirish qobiliyatiga ega.

Jarayon mexanizmi. Quymakorlikda po‘lat suyuqlantirish yoy pechlarida amalga oshiriladi. Yoy pechida suyuqlantirish $\varphi = f(T)$ bog‘lanish 66- rasmda tasvirlangan. Keltirilgan ma’lumotlardan ko‘rinishicha, $t \geq 2100^\circ\text{C}$ da komponentlar qaynayotgan va temperaturalar zonasi boshlanadi. Yoy pechlari uchun 2000°C ga qaytish zonada yuqorida keltirilgan barcha mulohazalar haqiqiydir (56- rasmda a, b, c, d, f nuqtalarga q.). Yoy razryadida yuqori temperaturalar mavjudligi yoy yonidagi bo‘shliqda quyidagi zonalarni ajratishga imkon beradi:

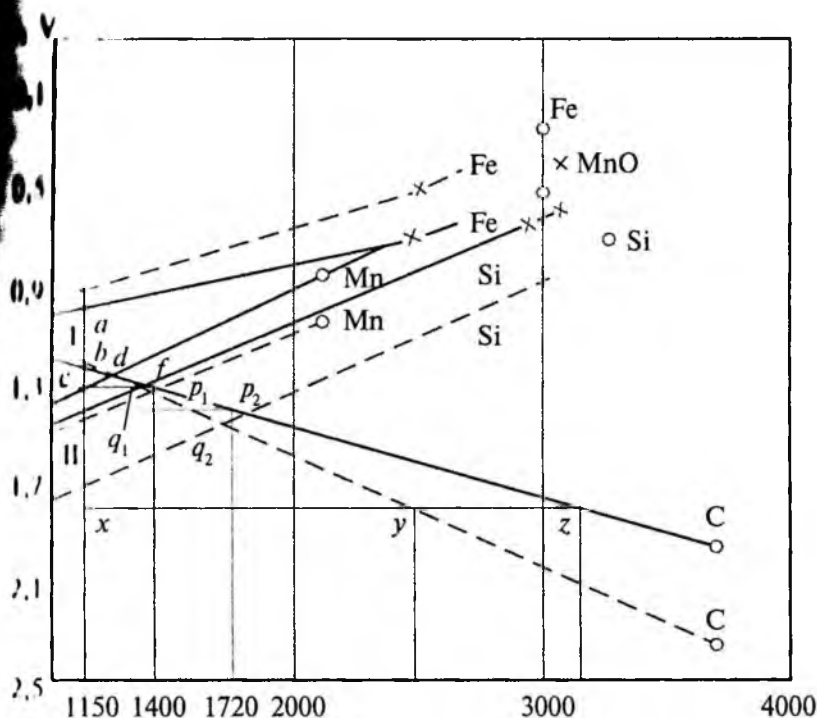
- 1) suyuqlanma barcha komponentlarining bug‘lanish zonasi $t > 3700^\circ\text{C}$;
- 2) barcha oksidlar bug‘lanadigan zona, $t > 2500^\circ\text{C}$;
- 3) barcha metallar bug‘lanadigan zona, $t > 2100^\circ\text{C}$;
- 4) cho‘yanning barcha elementlarining erigan uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1720^\circ\text{C}$ (nuqta p_2);
- 5) barcha elementlarning sof uglerod bilan qaytarilish zonasi $t > 1550^\circ\text{C}$ (nuqta q_2);
- 6) Fe va Mn larning erigan uglerod bilan qaytarilish zonasi $t > 1440^\circ\text{C}$ (nuqta p_1);
- 7) Fe va Mn larni sof uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1360^\circ\text{C}$ (nuqta q_1).

28- jadval

Po‘latni oksidsizlantirish reaksiyalari muvozanat konstantalarining temperaturaviy bog‘lanishi

Oksidsizlantirgichlar	Tenglama $\lg K = \frac{A}{T} + B$	K qiymati	
		1550 °C da	1600 °C da
Mn	$\lg K_{\text{Mn}} = \frac{10900}{T} + 4,06$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,73 \cdot 10^{-2}$
Si	$\lg K_{\text{Si}} = \frac{26050}{T} + 9,51$	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Al	$\lg K_{\text{Al}} = \frac{82580}{T} + 33,96$	$4,57 \cdot 10^{-12}$	$7,41 \cdot 10^{-11}$

Temperatura maydoni notekis sharoitlarda oksidlash jarayonidan qaytarish jarayoniga o‘tish hozirgina suyuqlangan metall uchun mumkin, chunki $a-x$ chiziqdagi I va II qirg‘malar (66- rasm) y nuqta 2480°C ga muvofiq bo‘lgan holatda va z nuqta (erigan uglerod) 3170°C ga muvofiq bo‘lgan holatda teng. Yoy yaqinidagi bo‘shliqda bunday temperaturalar bo‘lishi mumkin.



66- rasm. Yoy elektr pechidagi (x – oksidlarning, o – metallarning qaynash temperaturasi) $\text{Me} - 2e = \text{Me}^{2+}$ ($\text{Me} \equiv \text{C}, \text{Si}, \text{Mn}, \text{Fe}$) elektrod jarayonlar uchun $\varphi^\circ = f(T)$ (punktir chiziq) va $\varphi = f(T)$ (tutash chiziq) bog'lanishlar.

Kinetika. Termodinamikada po'lat suyuqlantirish jarayonlari kinetikasi oksidlash davri vaqtida elementlarning oksidlanishi va oksidsizlantirish vaqtida qaytarilishini o'rganishga katta ahamiyat beriladi. Suyuqlanmani uglerodsizlantirish kinetikasi alohida ahamiyatga ega [9]. Uglerodsizlantirish tezligi suyuqlanmaga kislorodning qaysi usulda keltirilishiga bog'liq. Agar shlakka kislorod ruda ko'rinishida berilsa, unda oksidlanish tezligi soatiga 0,5–1% ni tashkil qiladi; agar suyuqlanma gazsimon kislorod bilan puflab tozalansa, unda uglerodsizlantirish tezligi soatiga 2–3% ga yetadi.

Uglerodsizlantirish kinetikasining muhim masalasidan biri – limitlovchi bosqichni aniqlashdir. Ba'zi tadqiqotchilar limitlash bosqichi (yoki diffuziya, yoki kimyoviy bo'g'in) tabiatiga keskin nuqtayi nazarda asoslanadilar. Oksidlanish qonuniyatlarini esa berilgan sharoitlarda ko'rib chiqish lozim [9].

S.I.Filippov ishlab chiqqan kritik konsentratsiyalar nazariyasi [9] eksperimental ma'lumotlarni yetarli darajada yaxshi tushuntirib beradi. Bu nazariyaga ko'ra, uglerod yuqori darajada konsentratsiyalanganida

uglerodsizlantirish jarayoni oksidlagichning diffuziyanishi bilan limitlanadi. Bunda sirtiy (pufakchalarsiz) uglerodsizlantirish kuzatiladi. Uglerodning oksidlanish tezligi uning konsentratsiyasi va metall suyuqlanmasining tarkibiga bog'liq bo'lmaydi. Uglerodsizlanish reaksiya kirishuvchi uglerod ortiqcha bo'lganda va kislorod yetishmagan sodir bo'ladi.

Tajriba ma'lumotlari to'g'ri chiziqli tenglamasi bilan yaxshi approximatatsiyalanadi:

$$-\frac{dC}{dt} = 1/V (\eta \omega p_{O_2}),$$

bu yerda: V — metall vannasining hajmi, t; η — oksidlagichda foydalanish koeffitsiyenti; ω — oksidlagich oqimining tezligi, m/s; p_{O_2} — kislorodning parsial bosimi, Pa.

Erigan kislorod konsentratsiyasi $[C]_{kr}$ dan kichik qiymatgacha pasayganda oksidlanish qonuniyatlari sezilarli darajada o'zgaradi. Bunday sharoitlarda oksidlashning makroskopik tezligi uglerod konsentratsiyasi bilan aniqlanadi:

$$-\frac{d[C]}{dt} = K[\%C].$$

Bu davr uglerodning kichik tezliklarda oksidlanishi, metallda kislorod konsentratsiyasining ortishi, temir oksidlanishi jarayonining sezilarli rivojlanishi bilan xarakterlanadi. Uglerod konsentratsiyasi kritik konsentratsiyadan past bo'lganda hajmiy uglerodsizlanish jarayoni rivojlanadi.

Po'lat suyuqlantirish jarayonlari uchun shlakdagi komponentlarning massa ko'chirishi katta ahamiyatga ega. Shlakdagi aralashmaning diffuzion oqimi Fik qonuniga muvofiq uning konsentratsiya gradiyenti bilan aniqlanadi. Lekin real sharoitlarda aralashmalar shlakda qanday holatda bo'lishi konsentratsiya gradiyentigagina emas, balki oksidlar suyuqlanmasining oksidlanganlik gradiyentiga ham bog'liq bo'ladi. i - komponentning jami oqimi quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi:

$$P_i = KB_i RTC_i \left(\frac{d \ln C_i}{dx} + \frac{v_i}{4} + \frac{d \ln p_{O_2}}{dx} \right), \quad (5.63)$$

bu yerda: B_i — diffuziylanadigan zarrachalarning harakatchanligi; v_i — valentiligi; C_i — konsentratsiya.

Tenglama (5.63) dan shlak komponentlari massa ko'chirishining ikkita turli variantini osongina olish mumkin. Birinchisi bir tekis oksidlanganligiga javob beradi:

$$\frac{d \ln p_{O_2}}{dx} = 0$$

va Fik qonuniga olib keladi. Ikkinchisini azotning suyuqlantirilgan shlak qatlami orqali ko'chirilishi misolida ko'rib chiqamiz. Ikkita gaz hajmi qalinligi $\Delta x = 1$ bo'lgan shlak pardasi bilan ajratilgan deylik. Gaz hajmlarida azot parsial bosimlarining farqi o'zgarmas $\Delta p_{N_2} = \text{const}$ (masalan, inert gaz bilan suyultirilganda) va kislorod hajmini bir xil saqlab turiladi. Agar Fik tenglamasida hosilani oxirgi ayirmaga almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz [8]:

$$P_{(N)} = D_{(N)} \Delta C_{(N)} = D_N (C'_N - C''_N).$$

Ikin (5.63) tenglamaga muvofiq $C_{(N)}$ kattalik p_{O_2} ga bog'liq:

$$C_{(N)} = K p_{N_2}^{1/2} p_{O_2}^{v_{N_2}/4}.$$

Binobarin,
$$P_{(N)} = D_{(N)} p_{O_2}^{-3/4} \Delta p_{N_2}^{1/2}.$$

Shunday qilib, agar $\Delta p_{N_2} = \text{const}$ da p_{O_2} o'zgartirilsa (uni ikkala hajmda bir xil saqlab), unda shlak qatlamining azotga nisbatan singdiruvchanligi ham o'zgaradi. Masalan, po'lat suyuqlantirish jarayonlari sharoitlarida pech atmosferasi ($\Delta p_{O_2} \approx 10^{-1}$ atm.) bilan qamrab olingan shlak qatlamlarining singdiruvchanligi metall bilan kontaktlanadigan qatlamlarga ($p \geq 10^{-9}$ atm.) qaraganda 10^6 marta kichik. Shuning uchun diffuzion qarshilik shlakning yupqa sirt qatlamida to'planib qolar ekan, shu vaqtning o'zida qolgan hajm azot ko'chirilishini limitlamaydi. Boshqa elementlarga nisbatan ham shunga o'xshash xulosalar chiqarish mumkin.

5.8. Marten pechlarida po'lat suyuqlantirish

Marten pechida po'latni suyuqlantirib olish pechni ishga tayyorlash (zapravka qilish), shixta yuklash va uni suyuqlantirish, oksidlash (qaynash), o'ta qizdirish, me'yoriga yetkazish va oksidsizlantirish, chiqarishdan tashkil topgan ketma-ket jarayonlardan iboratdir.

Asosli marten jarayoni. Pechni ishga tayyorlash futerovkaning shikastlangan uchastkalariga asosli o'tga chidamli materiallarni surib amalga oshiriladi. O'tga chidamli material sifatida magnezit va pishirilgan dolomitdan foydalaniladi. Zapravka qilish 10–15 min davom etadi, issiqlik nagruzka maksimal nagruzkaning 70–80% ini tashkil qiladi (maksimal issiqlik quvvat pech tagi yuzasining 1 m^2 iga $2,1 \cdot 10^7$ kJ/soat to'g'ri keladi), butun suyuqlantirish davri ichida o'rtacha issiqlik quvvati 1 m^2 ga $(1,26-1,47) \cdot 10^7$ kJ/soat. Zapravka qilish tuggach, po'lat chiqariladigan teshik magnezit kukuni bilan bekitiladi.

Marten pechida po'lat suyuqlantirishda ishlatiladigan tarkibida 30% gacha qayta ishlanadigan cho'yan va 10–15% qirindisi, qolgani – po'lat temir-tersaklari va shaxsiy ishlab chiqarishdan qaytgan metall bo'ladi. Shixtani hisoblashda shu natijaga asoslaniladiki, bunda kremniy miqdori eng kam bo'lsin (u me'yoriy yetkazish va oksidsizlantirishda kiritiladi), marganes miqdori 1% yaqin, uglerod po'latda talab etilganidan 0,3–0,6% yuqori, fosfor ko'pi bilan 0,3%, oltingugurt – 0,05–0,06% gacha bo'ladi. Shixta uglerod miqdorining yuqori bo'lishi va qayta ishlanadigan cho'yan uglerod bilan aniqlanadigan ulushi normal qaynash, oksidlanish davrida yetarli darajada jadal qaynashni ta'minlash uchun zarur.

Metall komponentlarining oksidlanishi shixta qizdirilayotganday boshlanadi, shixta oksidlovchi atmosfera bilan kontaktlashadi. Bunda (1.16)–(1.27) reaksiyalar sodir bo'ladi. Shixta bilan birgalikda ohaktosh yuklanadi. Pech tagiga dastlab umumiy massadan 10–25% miqdorida yengil vaznli sof temir-tersak, so'ngra ohaktosh (yoki boksit) beriladi, jami massa 20 minut davomida qizdiriladi, shunda keyin cho'yan yuklanadi. Shunday qilib, yuklash qisman qizdirishga to'g'ri keladi. Yuklashning davom etish muddati pechning sig'imiga bog'liq. Quyim massasi 60 t bo'lgan pech uchun vaqt 1 dan 3 soatgachani tashkil qiladi. Bunda yuklash operatsiyasi qancha tez bajarilsa, umuman 8–10 soat davom etadigan umumiy suyuqlantirish vaqti shuncha kam bo'ladi. Ulardan 3 soatga yaqini yuklash, qizdirish va suyuqlantirishdan tashqari barcha davrlarga sarflanadi. Shu sababdan, qizdirish va suyuqlantirishni jadal, to'la issiqlik quvvatida olib borish kerak. Suyuqlantirish jarayonini tezlashtirish uchun havo kislorod bilan boyitiladi. Buning uchun gumbazli yoqilg'i-kislorod gorellalaridan foydalaniladi yoki mahalliy konvertor zonalarini yaratib, jarayonni jadallashtirish uchun pechga bevosita kislorod kiritiladi. Konvertor zonalarida suyuqlantirilgan metall (1.16), (1.19), (1.22) va (1.25) reaksiyalar bo'yicha reaksiyaga kirishadi.

Suyuqlantirish tugagach, po'lat ekspress-analiz qilinadi. Agar uglerod yetarli bo'lmasa, unda pechga qayta ishlanadigan cho'yan kiritiladi. Bu davrda shlak aktiv bo'lib (tarkibida ko'p temir oksidlari bo'lishi kerak), asosiligi – 1,5–2,5 ga teng. Bunday shlak yaratish uchun 4–9% ohaktosh, 1,5% ga yaqin boksit va 2% temir rudasidan foydalaniladi. Agar shlak navbatdagi suyuqlantirish davri sharoitlarini qoniqtirmasa, uni nasos bilan qisman yoki to'la so'rib olib va yangi shlak hosil qilib korrektirovka qilinadi.

Masalan, (1.31)–(1.33) reaksiyalarga muvofiq defosforatsiyalash uchun shlakning tarkibida FeO va CaO lar miqdori juda ko'p bo'lishi zarur, buning uchun temir rudasi kiritiladi. Defosforatsiya uglerod oksidlanish davrining boshlanishi (qaynash)ga to'g'ri keladi. Qaynash qanchalik jadal bo'lsa, defosforatsiya shunchalik yaxshi o'tadi.

soatga yaqin davom etadi. Bu suyuqlantirish davrining oxirida miqdori 0,025% gacha pasayadi. $(\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5$ bilan boyitilgan ko'rib olinadi va pechga qaytadan ohak va boksit qo'shiladi.

Yangi shlakni hosil qilish ham bir soatga yaqin davom etadi. Yonish kiritilayotgan ruda kislorodi yoki gaz fazasidan kislorodning orqali uzatilishi hisobiga sodir bo'ladi. Yangi shlak hosil qilish tugach, ruda kiritilmasdan sodir bo'ladigan *sof qaynash* deb atalishi qaynash boshlanadi. Bunda shlakdan asta-sekin temir ikki oksidi chiqiladi, desulfuratsiya uchun sharoitlar yaratiladi, shlakning viskozligi 2,2–3,5 ga yetadi va (1.34)–(1.35) reaksiyalar keta boshlaydi. Uning ketishi uchun eng qulay sharoitlar oksidsizlanish davri boshida amalga keladi, u ikki bosqichda bajariladi.

Birinchi bosqichda uglerodning berilgan miqdoriga erishgach, yannada 0,1–0,17% Si bo'lishi hisobidan pechga silikomarganes yoki ferrosilitsiy kiritiladi. Bu oksidsizlantirish bosqichini ferromarganes yordamida ham bajarish mumkin. Ushbu holda ferromarganes shunday hisobdan kiritiladiki, bunda marganes miqdori suyuqlantirib olinadigan po'lat markasi uchun quyi chegaraga teng bo'lishi kerak.

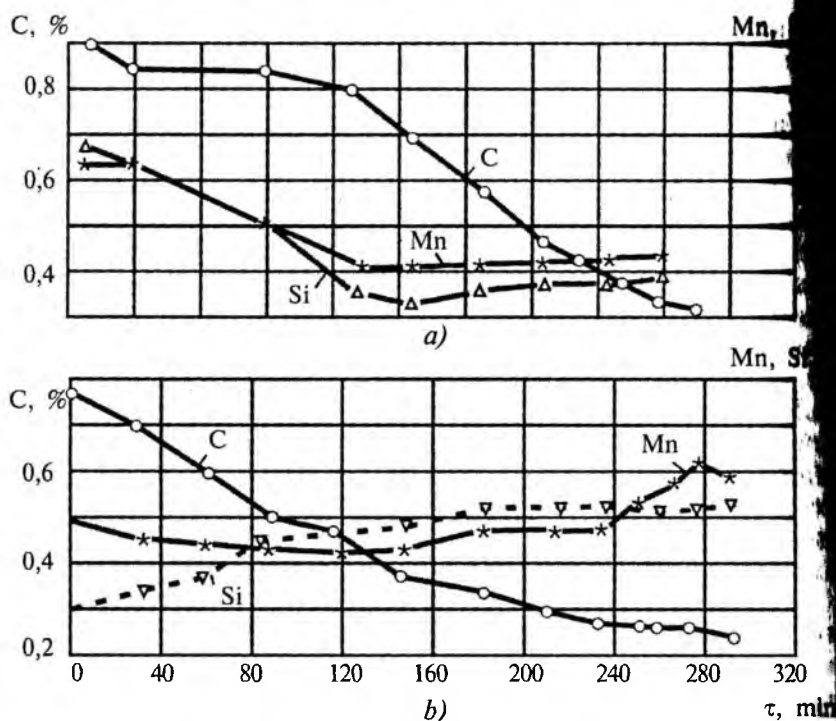
Ferroatishmalar bilan oksidsizlantirish po'latning kimyoviy tarkibini talab etiladigan darajagacha yetkazish bilan birgalikda bajariladi. Legirlangan po'latlarni suyuqlantirishda legirlovchi komponentlarning bir qismi, masalan, nikel shixta bilan kiritiladi. Ferroxtrom ko'rinishidagi xrom birinchi oksidsizlantirish bosqichidan keyin me'yoriga yetkazishda; ferromolibden deformatsiyalash va shlak hosil qilish davrida; marganes esa birinchi oksidsizlantirish bosqichidan keyin kiritiladi.

Ikkinchi oksidsizlantirish bosqichi po'lat kovshga chiqarilayotgan vaqtda bajariladi. Shu maqsadda tarnovga maydalangan $\Phi\text{C } 75$ ferrosilitsiy beriladi. Uzil-kesil oksidsizlantirish uchun kovshga 0,8–1 kg/t miqdorida aluminiy kiritiladi.

Kislotali marten jarayonining xususiyatlari. Pechlarning futerovkasi kislotali, tagi kvarts qumdan yasalgan. Shu boisdan kislotali jarayonda oltingugurt va fosforini chiqarib yuborish mumkin bo'lmaganligidan, ularning shixtadagi miqdori juda kam bo'lishi kerak. Suyuqlantirishning kislotali jarayoni asosli jarayon kabi tagni zapravka qilishni, yuklash va suyuqlantirishni, oksidlash, me'yoriga yetkazish va oksidsizlantirishni o'z ichiga oladi. Shlak pechga suyuqlantirish oborotidagi shlakdan 3–4%, shamot sinig'idan 0,3–0,5% kiritib hosil qilinadi, asosiligi ohaktosh qo'shib rostlanadi.

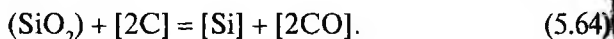
Kislotali jarayon uchun kremniy-qaytarilish reaksiyalarining o'tishi va shlakning oksidlash qobiliyatining pastligi xarakterlidir, shular tufayli metallidagi kislorod konsentratsiyasi ancha past bo'ladi.

Kislotali marten jarayonining ikkita turi mavjud: aktiv (kremniy qaytarilishi cheklangan) va passiv (kremniy qaytariladigan).



67- rasm. Aktiv (a) va passiv (b) kislotali jarayonda po'latni suyuqlantirishda metall kimyoviy tarkibining o'zgarishi.

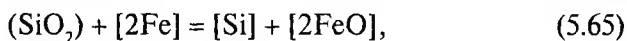
Aktiv suyuqlantirish jarayoni ko'p jihatdan yuqorida bayon etilgan jarayonga o'xshash. Pechga ruda beriladi, elementlar oksidlanadi va kremniyning metall uglerodi bilan quyidagi reaksiya bo'yicha qaytarilish sodir bo'ladi:



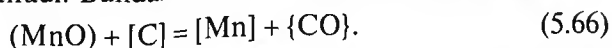
U po'latda 0,1–0,2% Si gacha cheklanadi. Elementlar miqdori-ning o'zgarish xarakteri 67- a rasmda ko'rsatilgan. Si va Mn larning miqdori suyuqlantirish mobaynida kamayadi.

Passiv jarayonda Si va Mn lar miqdori ortadi (67- b rasm). Suyuqlantirish tugagach, po'latdagi uglerod miqdori talab etilganidan kamida 0,8% ortiq bo'lishi kerak. Ruda kichik porsiyalar bilan qo'shiladi va oksidsizlantirishga 2 soat qolganda to'xtatiladi. Ohaktosh faqat boshlang'ich davrda qo'shiladi.

Kremniyning qaytarilishi uchun yuqori temperatura zarur. Bunda kremniyning (5.64) reaksiyadan tashqari, quyidagi reaksiya bo'yicha qaytarilishi sodir bo'ladi:



ni kremniyning temir ikki oksidi bilan oksidlanish reaksiyasi o'z
nolishini o'zgartiradi. Bundan tashqari, marganes qaytariladi:



Kremniy qaytariladigan jarayonda po'lat oksidsizlantirgichlar kiri-
lman holda qisman oksidsizlantiriladi. Po'lat pechdan chiqari-
yotganda aluminiy bilan oksidsizlantiriladi.

5.9. Konvertorda po'lat olish

Barcha po'lat suyuqlantirish jarayonlaridan farqli o'laroq, konver-
torda po'lat olish dastlabki material sifatida vagrankada suyuqlantirib
olingan suyuq cho'yandan foydalanilgan holda amalga oshiriladi. Po'lat
quyish korxonasida, odatda, havo yon tomondan beriladigan kichik
bessemer konvertorlardan foydalaniladi. Po'latni shakldor qilib quyish
uchun havo ust tomondan beriladigan kislorod konvertorlaridan
foydalanish mumkin.

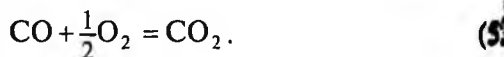
Konvertorning ishlash prinsipi quyidagidan iborat: havodagi
kislorod suyuq metall bilan kontaktlashib Fe, Si, Mn va dastlabki
metallda bor bo'lgan boshqa elementlarni oksidlaydi, buning
natijasida issiqlik ajralib chiqadi, metallning temperaturasi ortadi va
qisqa vaqt ichida (15 min) cho'yan po'latga aylanadi.

Kichik bessemer konvertorlarning sig'imi 1 t dan 5 t gacha bo'ladi.
Konvertor retortasining shakli vertikal o'qqa nisbatan nosimmetrik.
Og'iz qiyaligining 30° ga yaqin bo'lishi konvertor gorizontal holatda
bo'lganida unga suyuq metall quyishga imkon beradi. Konvertor
futerovkasi — dinas g'ishtdan, kislotali. Suyuqlantirish oldidan
konvertor futerovkasini 1000–1100 °C temperaturagacha qizdirish
zarur. Qizdirish suyuq, gazsimon yoqilg'i yoki koks bilan bajariladi.

Suyuqlantirish konvertorga suyuq cho'yan quyishdan boshlanadi.
Cho'yanning kimyoviy tarkibi va temperaturasi jarayonning ketishiga,
olingan po'latning temperaturasiga va uning sifatiga jiddiy ta'sir
ko'rsatadi. Odatda, suyuq cho'yan quyidagi tarkibga ega bo'ladi (%):
C — 2,8–3,5; Si — 0,9–2,2; Mn — 0,7–1,0; S < 0,06; P < 0,07. S va Si
larning miqdori qanchalik kichik bo'lsa, quyiladigan cho'yanning
temperaturasi shunchalik yuqori bo'lishi kerak. Odatda, bu temperatura
1300–1400 °C chegarasida o'zgaradi. Suyuq cho'yan konvertorga
quyilayotganda taxminan 50 °C issiqlik yo'qotiladi, shuning uchun
vagrankadan temperaturasi 1350–1450 °C bo'lgan cho'yan olish kerak.

Vagrankada po'lat suyuqlantirish uchun qo'llaniladigan shixta
40–60% po'lat temir-tersaklaridan va 60–40% qayta ishlanadigan
cho'yandan (fosforit kam bo'lsa, ko'ngildagidek bo'ladi) iborat.
Konvertorga quyilgan suyuq cho'yan maxsus havo berish mashinalari
bilan 1 t ga 720–800 m³ miqdorida 0,02–0,04 MPa bosim ostida
havo berib tozalanadi. Havo berish jadalligi 75–100 m³/min.

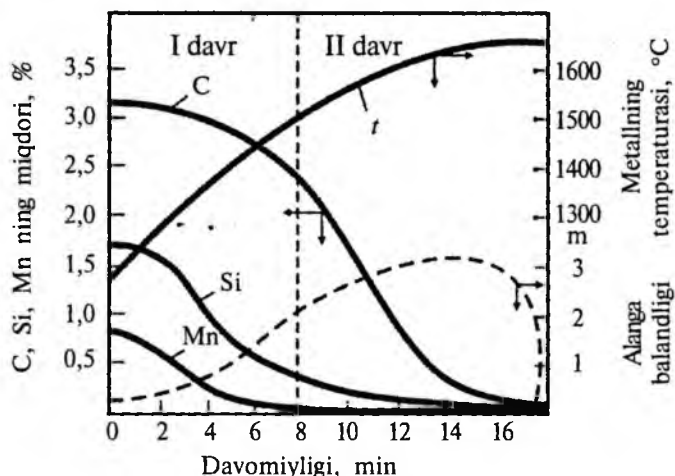
Havo metall bilan kontaktlashib, birinchi navbatda (1.16) reaksiya bo'yicha temirni oksidlaydi. Kremniy va marganes (1.19), (1.20) reaksiyalar bo'yicha kislorodda, shuningdek, temir ikki oksid (1.28), (1.29) reaksiyalar bo'yicha oksidlanadi. Metallning temperaturasi ko'tarila boshlaydi va (1.25) hamda (1.30) reaksiyalar bo'yicha uglerodning yonishi boshlanadi. Havo berib tozalashning bu konvertor og'zidan chala CO ning yonishidan hosil bo'ladigan alajralib chiqishi bilan xarakterlanadi:



Metall va shlak tarkibini, shuningdek, metall temperaturasi o'zgarishi 68- rasmda ko'rsatilgan.

Havo berib tozalash oxirida alanga pasayadi, bu esa metall me'yoriga yetkazish va uni oksidsizlantirishni boshlashga imkon beradi. Yetishmagan uglerod miqdori tarkibida 7% gacha C bo'lgan ferromarganes bilan kiritiladi. Bir yo'la Mn bo'yicha me'yoriga yetkazish (1.37) reaksiya bo'yicha oksidsizlantirish operatsiyalari bajariladi. Chiqarishdan oldin yoki chiqarilayotgan vaqtda ferrosilitsiy, so'ngra aluminliy qo'shiladi. Po'lat (1.36) va (1.38) reaksiyalar bo'yicha oksidsizlantiriladi. Oltingugurt va fosforni chiqarib yuborish imkoniyatining yo'qligi kislotali konvertorda havo berib po'lat olishning jiddi kamchiligidir.

Suyuq cho'yanni tagi ochilmaydigan konvertorda vertikal furna orqali 0,8–1,2 MPa bosim ostida beriladigan kislorod bilan tozalashtirish mumkin. Bu konvertorning asosli futerovkasi oltingugurt va fosfor



68- rasm. Metallni konvertorda havo bilan puflashda kimyoviy tarkibining va temperaturasining o'zgarishi.

chiqarib yuborishga imkon beradi. Kislorodning qo'llanilishi jarayonni soddalashtiradi, po'lat temir-tersaklari qo'shishga imkon beradi, uning cho'yan tarkibiga bog'liq bo'lmazligini ta'minlaydi.

Kislorod konvertorlariga qayta ishlanadigan suyuq cho'yan quyiladi. Bu cho'yanning tarkibida, odatda, 3,7–4,4% C; 0,3–1,7% Si; 0,4–0,5% Mn; 0,3% P va 0,03–0,08% S bo'ladi. Konvertorga yuklanadigan po'lat temir-tersakilarining miqdori Si va Mn lar miqdori hamda quyiladigan cho'yanning temperaturasiga bog'liq. Po'lat temir-tersakilarining miqdori, odatda, quyiladigan cho'yan massasining 25–30% ini tashkil qiladi. Shlaklar hosil qilish uchun metall shixta massasining 9% i miqdorida ohakdan foydalaniladi. Jarayonlarning fizik-kimyoviy mohiyati (1.16), (1.19), (1.22), (1.25), (1.28)–(1.38) reaksiyalar yordamida tavsiflanadi.

Kislorod-konvertor jarayonining yuqori darajada unumdorligi va keng metallurgik imkoniyatlari uni po'latdan shakldor quymalar olish uchun ham qo'llashga imkon beradi.

5.10. Elektr pechlarda po'lat suyuqlantirish

Quymakorlikda po'latning asosiy massasi davriy ishlaydigan agregat hisoblanuvchi yoy elektr pechlarida suyuqlantiriladi. Yirik seriyali konveyer korxonalarining quyish sexlarida juda ko'p miqdorda kichik sig'imli pechlar o'rnatiladi. Bunda 3–4 ta pechni metall bilan bitta konveyer ta'minlaydi. Yuklash usuliga ko'ra, yoy pechlari ikkita tipga bo'linadi: g'ildiratib chiqariladigan vannali va buriluvchi gumbazli. Pech vannasi gumbazdan bo'shatiladi va maxsus qovg'a yordamida ust tomondan unga shixta yuklanadi. Shixta tarkibida 55–65% po'lat temir-tersagi, 37–40% qaytgan metall va 2–3% qayta ishlanadigan cho'yan bo'ladi.

Kislotali va asosli jarayonlar bir-biridan farq qiladi. **Asosli jarayon** metallardan oltingugurt va fosforni chiqarib tashlashga va oq shlak deb ataladigan, ya'ni yaxshi oksidsizlashtirilgan, tarkibida temir oksidlari bo'lmagan shlak ostida diffuzion oksidsizlantirishni bajarishga imkon beradi.

Futerovkasi asosli bo'lgan yoy pechlarida shakldor qilib quyish uchun elektr pechlarda suyuqlantiriladigan barcha po'latning 35% ga yaqini olinadi; ulardan 20%i yuqori marganesli po'latlarga, 5% i yuqori xromli va xrom-nikelli po'latlar ulushiga, qolgan 10%i uglerodli va kam legirlangan po'latlarning mas'uliyatli markalariga to'g'ri keladi [44]. Asosli jarayonda po'lat yoxud aralashmalarni oksidlab, yoxud qayta suyuqlantirish usuli bilan, ya'ni oksidsizlantirmasdan suyuqlantiriladi.

Aralashmalarni oksidlantirib suyuqlantirish. Bunda shixta shunday tarzda hosil qilinadiki, suyuqlantirgandan keyin uning tarkibidagi

uglerod mazkur markali po'lat uchun yuqori chegaradan 0,2-1,0% gacha bo'lsin. Yuklashga 3% ohak va 2% temir rudasi uzatiladi. Suyuqlantirilgandan keyin, darhol, fosfordan tozalaydigan shlakda oksidlanish qiladi, chunki (1.31)–(1.39) reaksiyalar shlakda FeO bo'lishini ta'minlaydi. Shlak tarkibidagi oksidlanishning kuchini ancha ortadi: suyuqlantirgandan keyin u 1,5% ni (P_2O_5 ga nisbatan hisoblaganda) tashkil qiladi. Bu shlak chiqarib tashlanadi va po'lat qaytadan ohak va ruda yuklanadi. Oksidlanish (1.28)–(1.30) reaksiyalar bo'yicha boshlanadi. CO pufakchalari shlakni ko'pirtiradi, uni uzlatib chiqarib (yo'qotib) turgan ma'qul. Oksidlanishning boshlanish davrida defosforatsiya davom etishi tufayli shlak qaytadan so'rib olinadi. Oksidlanish davrida so'rib olinadigan shlak tarkibida, odatda, 50% CaO, 10–25% SiO_2 , 12–15% FeO, 4–10% Mg, 0,5–1,0% MnO, 2–4% Al_2O_3 , 0,5–2% P_2O_5 bo'ladi.

Oksidlanishni jadallashtirish uchun ba'zan suyuq metall 1 M gacha yaqin bosim ostida kislorod bilan tozalanadi. Kislorod 15–25 mm diametrlı truba orqali kiritiladi, u tashqi tomondan shamot trubka bilan himoyalangan (ular po'lat trubaga kiydiriladi). Ruda jarayon davrida uglerodning yonib tugash tezligi soatiga 0,3 dan 0,6% gacha va kislorod berib tozalashda soatiga 1,5% gacha ortadi.

Qaytarish davri desulfuratsiyani, temperatura va po'lat tarkibi berilgan qiymatlargacha yetkazishni va oksidsizlantirishni o'z ichiga oladi. Desulfuratsiya davrida pechga qaytadan ohak kiritiladi. Bunda (1.34)–(1.35) reaksiyalar sodir bo'ladi. Desulfuratsiya uchun shlak hosil qiluvchi aralashma tarkibida ohakdan tashqari plavik shpati va qum (yoki shamot siniqlari) bo'ladi. Aralashmaning umumiy miqdori metall massasining 3–5% ini tashkil qiladi. Shlak suyuqlantirilgandan keyin u maydalangan ferrosilitsiyning koks bilan aralashmasi vositasida oksidsizlantiriladi. Kiritiladigan aralashma miqdori 1 : 1 nisbatda 10 kg/t Oksidsizlantirilgandan keyin shlak oq rangga ega bo'ladi va havoda sovutilgandan so'ng poroshok bo'lib sochiladi.

Shlak tarkibidagi (29- jadval) temir oksidlarining miqdori ancha kamayadi, chunki ular uglerod va kremniy bilan qaytariladilar.

29- jadval

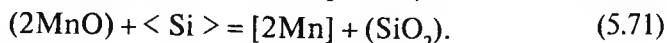
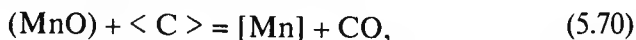
Shlakning kimyoviy tarkibi, %

Shlak	CaO	SiO_2	FeO	MnO	MgO	Al_2O_3	CaF_2	CaS	CaC_2
Oq	60–65	14–16	1,5 gacha	0,6 gacha	10–12	2,5–4,0	5–10	1,5 gacha	–
Karbidli	65–66	7–8	0,5 gacha	0,1 gacha	13–14	2,0–3,0	8–12	2–3	2–5

$$(FeO) + < C > = [Fe] + \{CO\}, \quad (5.68)$$

$$(2FeO) + < Si > = [2Fe] + (SiO_2). \quad (5.69)$$

Bunda $[\text{FeO}] \rightleftharpoons (\text{FeO})$ muvozanat buziladi va temir ikki oksidi shlakdan shlakka o'tadi va shlakning oksidsizlanishi vaqti-vaqti bilan tezlashadi. Marganes oksidlari ham qaytariladi:



Qaytarish davri vaqtida po'lat berilgan kimyoviy tarkibgacha yetkaziladi, shundan keyin u pechdan chiqariladi va aluminiy bilan oksidsizlantiriladi. Metallning chiqarilishini shlak bilan birgalikda amalga oshirish mumkin. Bunda metall va shlakning aralashishi hisobiga qo'shimcha desulfuratsiya sodir bo'ladi. Shunday qilib, oltingugurt miqdorini 50% ga pasaytirish mumkin [43].

Oq shlakning turlaridan biri karbidli shlakdir (29- jadvalga q.). U koks birmuncha ortiq bo'lganda hosil bo'ladi. Uni yaratish uchun oksidlovchi shlak so'rib olingandan keyin metall massasining 3–4%i miqdorida ohakli shlak (CaO va CaF_2 mos ravishda 80% va 20%) hosil qilinadi, so'ngra shlakka metall massasining 0,6–0,8% miqdorida maydalangan koks beriladi. Koks butun yuza bo'yicha bir tekis sepiladi, pech germetizatsiyalanadi va yoy razryadlari tarmoqqa ulanadi. Razryadlarning ta'sir zonasida yuqori temperaturada kalsiy karbidining hosil bo'lish reaksiyasi o'tadi:



Bunda oksidsizlantirish ikkita yo'ldan (5.68)–(5.71) reaksiyalar bo'yicha oq shlak ostida va kalsiy karbidi hisobiga quyidagi reaksiyalar bo'yicha boradi:



Oltingugurtni chiqarib tashlash quyidagi reaksiyalar natijasida amalga oshadi:



Karbid shlaki ostida suyuqlantirish faqat yuqori uglerodli va legirlangan instrumental po'lat olish uchun bajariladi.

Aralashmalarni oksidlamadan po'lat suyuqlantirish. Ushbu metod o'rtacha va yuqori legirlangan po'latlarni suyuqlantirish uchun qo'llaniladi. Bu holda po'lat ruda qo'shmasdan suyuqlantiriladi. Oksidlash jarayonining bo'lmashligi legirlovchi elementlardan iqtisodiy jihatdan qulay foydalanish imkonini beradi, chunki ular kuymaydi. Lekin zararli aralashmalarning to'planish xavfi tug'iladi. Biroq, bu metod yordamida olingan po'latning sifati aralashmalarni oksidlab suyuqlan-

tirishda olingan po'latning sifatidan qolishmaydi [43, 44]. Ila chiqarish tajribasi shuni ko'rsatadiki, bunda zararli aralashmalar to lanmaydi. Havodan azotni jadal yutadigan yuqori marganesli po' lar bundan istisnodir, lekin bu po'latlar uchun azot foydali kom nent ekan. Yoy pechida aralashmalarni oksidlamasdan po'latni suyuqlantirish texnologiyasi xuddi oksidlashdagidek bo'ladi. U barcha aso operatsiyalarni o'z ichiga oladi, faqat oksidlovchi shlaklar ho qilinmaydi, suyuqlantirish shlaki esa chiqarib tashlanadi va oksidsizla tirishni yo oq shlak ostida, yo ferroqotishmalar yordamida ama oshiriladi. Ba'zan jarayonni jadallashtirish uchun vanna kislorod be tozalanadi. Lekin ushbu jarayon endi aralash jarayon hisoblanadi.

Kislotali jarayon xususiyatlari. Bu jarayon eng ko'p tarqalg jarayondir. U eng unumdor va uglerodli hamda kam legirlangan po'latlar uchun keng ko'lamda qo'llaniladi.

Kislotali shlakning elektr o'tkazuvchanligi asosli shlakka nisbatan kichkina bo'ladi: yoylar shlak qoplamasini yoradi va bevosita metall bilan kontaktlashadi, bu esa o'ta qizishni jadallashtiradi. Ayni paytda shlak ancha past temperaturaga va asosli jarayondagiga nisbatan qaytarish qobiliyatiga ega bo'ladi. Aytganlarning hammasi FIKning va pech futerovkasi xizmat qilish muddatining ortishiga yordam beradi.

Kislotali shlakning hosil bo'lishi uchun pechga, odatda, kvarc qum va oz miqdorda temir rudasi hamda ohak kiritiladi. Shlakdagi $\text{SiO}_2/\text{FeO} + \text{MnO}$ nisbat 1 ga yaqin. Bunday shlak ostida vanna yaxshi qaynaydi, lekin bunda qaynash jarayoni uzoq davom etmaydi. Qaynash jarayoni tugagach, shlak qum qo'shib quyultiriladi va qaytarish davri boshlanadi.

Kislotali marten pechidagiga o'xshash suyuqlantirish jarayoni aktiv va kremniy qaytarilishli bo'lishi mumkin. Aktiv jarayonda metallga 1% ga yaqin ruda kiritiladi, kremniy qaytarilish jarayonida oksidlanish ilgari tugaydi va kremniyning (5.64) reaksiya bo'yicha qaytarilishi boshlanadi.

Kislotali jarayonda metall oksidlovchi shlak chiqarib yuborilgandan keyin oksidsizlantiriladi. Shlakni chiqarib yubormasa ham bo'ladi, lekin uning tarkibini o'zgartirish kerak. Yangi shlak yuqori sifatli po'latni tayyorlashda pechga shamot bo'laklari, qum va ohak kiritib hosil qilinadi. Oksidsizlantirish ikkita bosqichda: suyuqlantirish jarayonida – silikomarganes yoki ferrosilitsiy bilan, po'latni chiqarishda esa aluminiy bilan amalga oshiriladi.

Misol sifatida, po'latni ДС5МТ tipidagi kislotali elektr yoy pechda suyuqlantirishni ko'rib chiqamiz. 25JI markali po'lat uchun metall shixtaning tarkibi: 58% po'lat temir-tersaklari, 40% qaytgan metall va 2% ПБК-1.

Po'lat suyuqlantirish uchun pech quyidagi tarzda tayyorlanadi. Po'latni chiqarib bo'lgandan keyin pech tagi va futerovka otkoslari

Suyuq metall va shlak qoldiqlaridan tozalanadi. So'ngra futerovka ko'zdan kechiriladi, uning holati va navbatdagi po'latni suyuqlantirishda qatnashish imkoniyati aniqlanadi. Agar pechning futerovkasi devorlari, otkoslari va tagida o'yiqlar, g'adir-budurliklar, mahalliy chuqurchalar bo'lsa, ular qum va suyuq shisha aralashmasi bilan zapravka qilinadi. Zapravkani mumkin qadar tez bajarish kerak, aks holda po'lat chiqarilgandan keyin futerovkaning temperaturasi pasayib ketishi mumkin. Temperatura yuqori bo'lsa, zapravka materiali yaxshi payvandlanib yopishadi. Sovuqlayin ta'mirlashda yoki futerovkaning sezilarli shikastlangan joylari ta'mirlangandan keyin ahamiyati kamroq quymalar uchun suyuqlantirib yuvish operatsiyasi bajariladi. Pechni suyuqlantirish uchun ishga tushirishdan oldin ish tuynugi ostonasi ta'mirlanadi va uning po'lat chiqariladigan teshigi berkitiladi.

Shixta materiallari yuklashdan oldin tarozida tortiladi. Pech vannani g'ildiratib chiqarib, uning ustki tomoni orqali yuklanadi. Yuklashda shixta urilib pech tagini shikastlamasligi uchun qovg'a mumkin qadar pastga tushiriladi. Mayda shixta va qirindi pastga — pech tagiga yuklanadi. Yuklashni, shixtani zich yotqizib, jadal olib borish lozim. Yuklash tugagach, pech boshlang'ich holatda o'rnatiladi, vanna qulflari bektiladi va gumbaz pastga tushiriladi. Agar pech sovuq bo'lsa, ishga tushirish oldidan elektrodning har birining tagiga yondirishni osonlashtirish va elektr yoylarning osoyishta yonishi uchun koks bo'lakchalari qo'yiladi.

So'ngra pech tarmoqqa ulanadi va maksimal tok kuchi beriladi. Elektrodlar ostida suyuqlantirilgan metall ko'lchalari paydo bo'lishi bilan shlak hosil qilish va yoyning yanada osoyishta yonishi uchun 6—8 kurak qum va 2—3 kurak ohaktosh beriladi. Shixtaning suyuqlanishi uni kislorod bilan qirqib va otkosdan vanna markaziga itarib tushirib, jadallashtiriladi. Kulrang pag'ali oq tutun ajralib chiqqanida (bu holda pechda «qor yog'yapti» deydlar), ushbu hol elektr yoy pech tagiga yaqin bo'lgan holatda sodir bo'lgani uchun, pech darhol to'xtatilishi va elektrodni ko'tarib, elektrodlar ostida hosil bo'lgan quduqchalarga shixtani surib tushirish kerak.

Shixta to'la suyuqlanganda, C, Mn, S, P lar miqdorini ekspress-analiz qilish uchun metall namunasi olinadi. Oksidlash davrining boshlanishi oldidan po'lat tarkibidagi C ning optimal miqdori 0,45—0,70%. Uglerodni oksidlash uchun yaxshi qizdirilgan metallga kichik porsiyalar bilan temir rudasi kiritiladi: har qaysi porsiya orasida 5—10 min vaqt o'tishi kerak. Metall butun yuza bo'ylab qaynashi lozim. Vanna qattiq qaynaganda pech ishi to'xtatiladi va shlakka bir necha kurak qum solinadi. Oksidlash davrining davom etishi ko'pi bilan 40 min bo'lishi kerak, shu jumladan, qaynash vaqti ham bunga kiradi.

Berilgan analiz bo'yicha uglerodning o'rtacha miqdoriga erishilgach, shlak normal suyuq qo'zg'aluvchanlikka, zichlikka ega bo'lishi ip kabi cho'zilishi va singan joyida yashil rangga ega bo'lishi kerak. So'ngra metallni oksidsizlantirish uchun talab etilgan uglerod miqdori erishilganda vannaga $\Phi C45$ ferrosilitsiy qo'shiladi. Bunda vannani yaxshilab aralashtiriladi. 10–15 minutdan keyin vanna ikkinchi marta aralashtiriladi va oksidsizlanish hamda temperaturani aniqlash uchun namuna olinadi. Kremniy bilan yaxshi oksidsizlantirilgan va stakani quyilgan metall namunasi uchqunlanmasligi kerak. Qotayotgan metall kichrayishi kerak. Metallni chiqarishdan oldin vannani obdan aralashtirish zarur, yana bir marta oksidsizlanishi va temperaturani namuna olish va po'latni oldindan 800–900 °C gacha qizdirilgan kovshga chiqarib quyish kerak. Po'lat chiqariladigan tarnov oldindan yaxshilab tozalaishi va quritilishi lozim. Tarnovga chiqarishdan oldin silikokalsiy kiritiladi. Normal temperatura va kremniy bilan normal oksidsizlantirilganda kovshga chiqarishgacha 4–5 min qolganda zarur bo'lgan miqdorda ferromarganes qo'shiladi.

Po'latning uzil-kesil oksidsizlantirilishi kovsh tubiga beriladigan aluminii bilan (1 t suyuq po'latga 1,0–1,2 kg) amalga oshiriladi. Tarnovda temperatura optik pirometr bo'yicha tuzatma kiritmasdan 1500–1580 °C bo'lishi kerak. Kovshdagi metall shlakning 100–150 mm qalinlikdagi himoya qatlami bilan qoplangan bo'lishi kerak.

Induksion elektr pechlarda po'lat suyuqlantirish. Kislotali induksion pechlarda po'lat suyuqlantirishda shixta tarkibida oltingugurt va fosfor miqdori juda kam bo'lgan oksidlanmagan materiallardan tashkil topgan bo'lishi kerak. Asosli pechlarda suyuqlantirishda shixta tarkibidagi oltingugurt va fosfor miqdoriga qo'yiladigan talab uncha qat'iy bo'lmaydi, chunki bu pechlar defosforatsiya va desulfuratsiya o'tkazishga imkon beradi. Suyuqlantirish jarayoni yuklashdan, suyuqlantirishdan, me'yoriga yetkazishdan, suyuqlanmani oksidsizlantirish va chiqarishdan iborat. Tigelni yirik bo'laklar bilan urilishdan saqlash uchun tigel tagiga shixtaning mayda qismini (yaxshisi qirindini), so'ngra kam oksidlanadigan ferroqotishmalar va yirik shixta joylashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Yirik bo'laklarni tigelning devorlariga yaqin yuklash va zich joylashtirilsa, ko'ngildagidek bo'ladi.

Suyuq metallning ko'rinadigan uchastkalari paydo bo'lganda tigelga shlak aralashmasi kiritiladi, buning natijasida oksidlanish va suyuq metallning atmosferadan gazlar yutishi kamayadi. Shlak hosil qilish uchun kislotali pechga quyidagi komponentlar kiritiladi: 10% maydalangan shisha, 65% shamot va 25% ohak yoki kvars qumi. Asosli tigelda suyuqlantirishda shlak aralashmasi quyidagi komponentlardan hosil qilinadi: 60–65% ohak, 15–20% magnezit va 20–25% plavik shpati.

Shixtaning asosiy massasi (80–95%) suyuqlantirilgandan keyin metall namunasi kimyoviy analizga olinadi. Asosli tigelda shixtani suyuqlantirish jarayonida metallning qisman defosforatsiyalanishi sodir bo'ladi. Fosforning qaytarilishini oldini olish uchun shlak chiqarib chiqiriladi va yangisi hosil qilinadi.

Shixta to'la suyuqlantirilgandan keyin iste'mol qilinadigan quvvatning yuqori qiymatidan 30–40% gacha pasaytiriladi, bunda o'ta qiziqchilikka yo'l qo'ymaslikka harakat qilish lozim. Metallning analizi olingandan keyin oksidsizlantirish va legirlash boshlanadi.

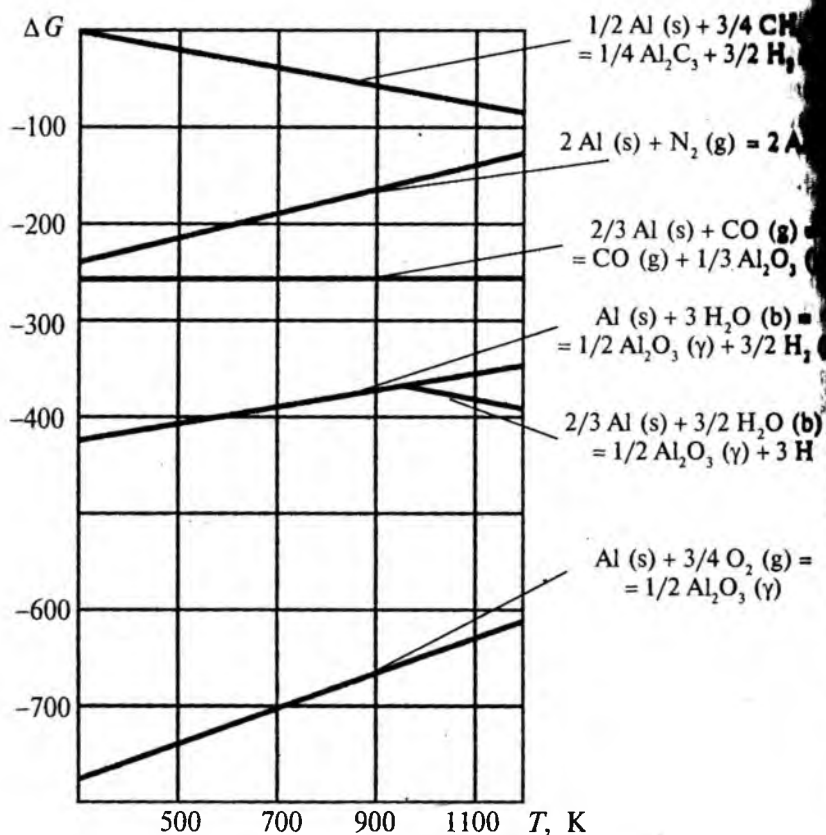
Induksion pechlarda po'lat suyuqlantirishda ferroqotishmalar mu'ayyan tartibda qo'shiladi. Ferrovolfram, ferroxrom va ferromolibdenning asosiy miqdori yuklagichga kiritiladi. Korrektirovka qilish uchun bu qotishmalar chiqarishgacha 20 minutdan ortiq kechiktirmay tigelda yuklanadi, bu esa ularning suyuqlanishi va legirlovchi elementning metall hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi. Ferromargenes, ferrosilitsiy va ferrovanadiy metallni chiqarishga 10 min qolganda qo'shiladi. Kuyindini kamaytirish maqsadida ferrovanadiy eng so'nggi navbatda qo'shiladi. Metallga aluminiy va titan bevosita chiqarish oldidan yoki kovshga kiritiladi. Legirlovchi elementlarning kuyishi po'latning tarkibi va ularni kiritish usuliga bog'liq. Metallni yuqorida bayon etilgan legirlash va oksidsizlantirish texnologiyasida volframning kuyindisi 2% ga yaqinni, marganes, xrom va vanadiyniki 5–10% ni, kremniyniki 10–15% ni va titanniki 70% ni tashkil qiladi.

Induksion suyuqlantirish pechlari legirlangan elementlar eng kam yo'qotiladigan holda po'latning o'rtacha va yuqori legirlangan markalarini suyuqlantirishga imkon beradigan tejimli suyuqlantirish agregatlaridan iboratdir.

5.11. Aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Aluminiy nisbatan oson suyuqlanadigan va yengil metall ($t_{er} = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$, zichligi $2,7 \cdot 10\text{ kg/m}^3$) bo'lib, yuqori darajada issiqlik o'tkazuvchanlikka, katta yashirin suyuqlanish issiqligiga ega.

Suyuqlantirish vaqtida aluminiy gaz fazasining komponentlari bilan (1.42–1.46) tipdagi reaksiyalar bo'yicha reaksiyaga kirishadi. Bu reaksiyalar uchun ΔG ning qiymati manfiy zonada bo'ladi (69– rasm), ya'ni barcha bu reaksiyalar chapdan o'ng tomon o'tadi. Sodir bo'lish ehtimoli eng katta bo'lgan reaksiya (1.42) dir: uning uchun ΔG ning qiymati 600 dan 800 kJ/mol gacha zonada bo'ladi. (1.45) reaksiyaning bo'lish ehtimoli juda kam. (1.44) reaksiya 350 dan 420 kJ/mol gacha intervaldagi ΔG ga ega bo'ladi. Binobarin, suyuqlantirilgan holatdagi aluminiy vodorodni eritishga yuqori daraja qobi-



69- rasm. Alumiiniyning gaz fazasining komponentlari bilan o'zaro ta'sirlashuv reaksiyalarining $\Delta G^\circ = f(T)$ bog'lanishlari.

liyatga ega bo'ladi. Vodorod alumiiniy suyuqlanmasining suv bug'lari bilan o'zaro ta'sirlashganda ajralib chiqadi. Suv bug'larining hosil bo'lish manbayi shixta materiallari, pech futerovkasi, tigel materiali, fluslar, suyuqlantirishda ishlatiladigan asbob-uskuna, gazsimon va suyuq yoqilg'ining yonish mahsulotlari hamda atmosfera bo'lishi mumkin.

Suyuqlanmaga vodorodning katta miqdori ligaturalar bilan kiritilishi mumkin. Masalan, alumiiniy-sirkoniyl ligatura (5% Zr) tarkibida 100 g ga 45 sm³ gacha, alumiiniy-titanli ligatura (3% Ti) tarkibida 100 g ga 30 sm³ gacha vodorod bo'lishi mumkin.

Alumiiniy qotishmasi o'tga chidamli futerovka va fluslar bilan ham o'zaro ta'sirlashishi mumkin. Odatda, oksidlardan bajariladigan futerovka bilan o'zaro ta'sirlashish ularning alumiiniy bilan qaytarilishiga olib kelishi mumkin. Ko'pchilik oksidlar uchun bu reaksiyalar

lanishi mumkin, lekin Al_2O_3 pardasi futerovka sirtini o'rab olib, himoya qilishi tufayli u tormozlanishi mumkin. Biroq futerovka shi bo'shlig'ini parda bosib qolish muammosi vujudga keladi.

Suyuqlanmalarining fluslar va qo'shimchalar bilan o'zaro ta'siri Aluminiiy qotishmalarini tozalash bilan bog'liq.

Tozalash. Aluminiiy qotishmalarini suyuqlantirishda pechda tozalash usuli ham, turli usullar bilan pechdan tashqarida ishlov berib tozalash ham qo'llaniladi. Aluminiiy qotishmalarini eng ko'p ishlatilgan tozalash usullari — tozalovchi fluslar va boshqa qo'shimchalar bilan ishlov berish, gazlar yuborib tozalash va filtrlash; ba'zan elektr flus yordamida tozalash qo'llaniladi (10- rasmga q.) [20, 23, 34].

Fluslarning tarkibi 30- jadvalda keltirilgan. Ularning barchalarining tarkibida xlorli va fluorli birikmalar bo'ladi. Suyuqlantirilgan metallni pech atmosferasi bilan o'zaro ta'sirlashishdan saqlash uchun qoplama fluslar ishlatiladi. Ular mumkin qadar kichik solishtirma massaga va o'ziga kam gigroskopiklikka ega bo'lishi, metall sathi bo'yicha tekis qatlam bo'lib joylashishi va shlak olinayotganda uning yuzasidan oson ajratilishi kerak. Qoplama fluslar pechga shixta yuklanayotganda kiritiladi. Al—Mg sistema qotishmalarini suyuqlantirishda 4, 5, 6- fluslar, qolgan barcha qotishmalar uchun 1- va 2- fluslar ishlatiladi (10- jadval).

30- jadval

Aluminiiy qotishmalarini suyuqlantirishda foydalaniladigan fluslar

Flus №	NaCl	KCl	Na_3AlFe_6	CaF_2	MgF_2	$MgCl \cdot KCl$	NaF
1	45	55					
2	37	50	6,5	6,4			
3	35	50	15				
4						100	
5				15		85	
6					15	85	
7	30	47	23				
8				40		60	
9					15	85	
10	47,5	47,5	5				
11	35	40	10				15
12	56,5	11,5	7				25
13	50	10	10				30

7–11- tozalaydigan fluslarni bevosita tarqatish pechining kov yoki tigeliidagi suyuqlanma yuzasiga kiritish mumkin. Lekin bu k samarali, chunki ular bu holda qoplama fluslar rolini o'ynaydi, suyuqlanmani faqat qisman tozalaydi. Suyuqlanmaga ular qalp (9, 10- rasmlarga q.) yordamida kiritilsa, ancha samarali bo'la Masalan, ZILda bu usul bilan 10, 11- suyuq fluslar kiritiladi [34]

Universal fluslar alohida gruppani tashkil etadi. Ularga ishl berish qotishmani tozalash va modifikatsiyalash operatsiyalarini bir bajarishga imkon beradi (12- va 13- fluslar). Ularning tarkibida, odat NaF qatnashadi, flusning modifikatsiyalovchi ta'siri NaF ning bo'li bilan tushuntiriladi. Flus tarkibidagi NaF miqdori 60% ga yetis mumkin.

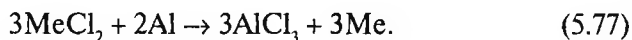
Xlorli gazlar bilan tozalash operatsiyasi 5–20 min davomid 720–730 °C temperaturalarda bajariladi. Bunda inert gaz sarfi ishl berilayotgan metall massasidan 0,3–1% ni tashkil qiladi. Qotishman inert gaz bilan ishlash jarayoni metallda erigan gazning pufakchalard diffuziyalanishi, shuningdek, pufakchalarning suyuqlanmada bo'lg boshqa muallaq metallmas aralashmalarga nisbatan flatatsion ta's riga asoslangan.

Suyuqlanmani xlor bilan ishlash yuqori darajada tozalashni ta'min laydi. Lekin xlor zaharli, shu boisdan tozalash ishlarini bajarish uchun maxsus qurilmalar (germetik kameralar, kovshlar, yaxshi ventilatsiya, izolatsiyalangan xona va shunga o'xshashlar) talab etiladi, bular esa ushbu jarayonning qo'llanilishini cheklaydi. Shu boisdan aluminiy qotishmalaridan shakldor quymalar ishlab chiqarishda suyuqlanmalar ning xloridlar (xlorli rux, xlorli marganes, geksaxloreten, xlor to'rt titan va boshq.) bilan ishlanishiga bog'liq bo'lgan jarayonlar keng qo'llaniladi.

Xloridlar yuqori darajada gigroskopik bo'lgani uchun foydalanish oldidan, albatta, quritilishi kerak va suyuqlanmaga qalpoqda kiritiladi, chunki zichligi kichik bo'ladi. Ularning sarfi ishlov beriladigan suyuqlanma massasidan 0,5–2% ni tashkil qiladi. Jarayonning temperaturasi 700–730 °C. Shuni hisobga olish lozimki, past temperaturalar tozalash samarasini pasaytiradi, yuqori temperaturalar esa qotishmaning jadal oksidlanishiga olib keladi. Geksaxloreten zichligi $2,09 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ va suyuqlanish temperaturasi past bo'lgan (186,5 °C) organik moddadir. Geksaxloreten sarfi 0,3–0,7% ni tashkil qiladi, 740–750 °C da ishlov beriladi. Xlorli tuz, C_2Cl_6 lardan farqli o'laroq, gigroskopik emas va u uchun maxsus saqlash sharoitlari talab etilmaydi.

Quyish sexlarida «Degazer» preparati tabletkalari qo'llaniladi, tabletkalar tarkibida geksaxloreten va xlorli bariy bo'ladi (massasidan 10 %).

Suyuqlanmada xlorli birikmalar aluminiy bilan o'zaro ta'sirlashadi:



Pufakchalar ko'rinishidagi xlorli aluminiy suyuqlanmadan o'ta-
bundan metallmas aralashmalarni o'zi bilan olib ketadi. Bundan
qari, suyuqlanmadagi vodorod pufakchaga diffuziyanadi, natija-
metallning metallmas aralashmalaridan tozalanishi ta'minlanadi.

Aluminiy qotishmalarini tozalash filtratsiyalab ham amalga oshi-
ishi mumkin. Bu usul metall-filtr ajralish chegarasida suyuqlan-
ning fizik va kimyoviy adsorbsiyaga hamda suyuqlanmadagi muallaq
metallmas aralashmalarni mexanik tarzda ushlab qolishga asoslangan.
Filtrlash uchun turli materiallar ishlatiladi. Masalan, shisha to'qima
qotishmaning metallmas aralashmalar bilan ifloslanganligini taxminan
2-2,8% kamaytirishga imkon beradi; donalarining kattaligi 3-6 mm
bo'lgan maydalangan glinozyom qotishmadagi metallmas aralashmalar
miqdorini pasaytiradi, lekin vodorod miqdorini kamaytirmaydi. Alu-
miniy qotishmalarini tozalash uchun vakuum, ultratovush va boshqa-
lardan ham foydalaniladi.

Aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Shixta mate-
rallari sifatida quymalar ko'rinishidagi birlamchi aluminiy va silumin,
quymalar ko'rinishidagi aluminiy qotishmalari, qaytgan metall,
aluminiy temir-tersaklari va chiqindilari, shuningdek, ligaturalar
ishlatiladi.

Ligaturalar aluminiy qotishmasiga qiyin eriydigan komponentlar
(Cu, Ni va boshq.) yoki yo'qotishlar eng kam bo'ladigan, oson
oksidlanadigan aktiv komponentlar kiritish maqsadida tayyorlanadi.
Ligaturaning suyuqlanish temperaturasi suyuq qotishma temperatu-
rasiga yaqin bo'lishi kerak (31- jadval).

Ligaturalarni istalgan suyuqlantirish pechida tayyorlash mumkin.
Qiyin eriydigan ligaturalar (Ti, Be, Zr, Cr) grafit tigellarda suyuq-
lantiriladi. Ligatura quyidagi tartibda tayyorlanadi: avval aluminiy
suyuqlantiriladi, so'ngra uncha katta bo'lmagan porsiyalar bilan ma'-
lum temperaturali legirlovchi qo'shilma kiritiladi (31- jadval), so'ngra
suyuqlanma aralashtiriladi, bu esa legirlovchi qo'shilmalarning tez
o'zlashtirilishiga yordam beradi, suyuqlanmani oksidlanishdan saqlay-
digan qoplama fluslar kiritiladi va u tozalanadi.

Barcha aluminiy qotishmalari (aluminiy-magniyli qotishmalar
bundan mustasnodir) shunga o'xshash suyuqlantiriladi. Temperatura
ortgan sari gazlarning yutilishi jadallanishiga asoslanib, aluminiy
qotishmalarini suyuqlantirish tezlashtirilgan tarzda va optimal tempe-
raturalarda olib borilishi tavsiya etiladi (32- jadval) [7].

Tigelli induksion pechlarda suyuqlantirish jarayonini ko'rib
chiqamiz, chunki ulardan barcha gruppalar qotishmalari uchun
foydalanish mumkin.

Induksion pechlarda suyuqlantirishda tozalangan tigelga ehtiyotlik
bilan, zarbalarsiz shixta yuklanadi: tigel tagiga qaytarilgan xususiy
metall zich yotqiziladi, so'ngra quyma ko'rinishidagi metall va uning

Qo'sh aluminii ligaturalarining xarakteristikasi

Ligatura	Legirlovchi komponent miqdori, %	Temperatura, °C	
		Ligaturaning suyuqlanishi	Legirlovchi qo'shil kiritilayotganda suyuqlanmani
Al-Cu	45-50	575	750
Al-Mn	10	780	850-900
Al-Ni	20	780	850-900
Al-Ti	3-4	800-850	1200-1300
Al-Mg	9-11	560-640	700-750

Aluminii qotishmalarini suyuqlantirish temperatura rejimlari

Qotishma	Temperatura, °C	
	o'ta qizdirishda	quyishda
Al-Si	730-750	700-710
Al-Si-Mg	750	680-720
Al-Cu	740-780	690-730
Al-Cu-Si	750	680-730
Al-Cu-Zn	700-750	670-710

ustiga mayda qaytgan xususiy metall yuklanadi. Pech ishga tushiriladi va suyuqlantirish operatsiyasi boshlanadi. Shixtaning birinchi porsiyalari suyuqlanayotganda qolgan qismi yuklanadi. Induksion pechlardagi suyuqlantirish jarayonini jadallashtirish uchun suyuqlantirish tigelnig uchdan bir hajmini tashkil etadigan «botqoq» bilan olib boriladi. Metall otilib chiqishining oldini olish uchun yuklanadigan shixta nam, moy va emulsiyadan tozalangan bo'lishi kerak.

ZILDagi induksion pechlarda AJI 4 qotishma suyuqlantiriladi [39]. Kokilga quyish (№11) va bosim ostida quyish (№10) uchun qotishma suyuq fluslar bilan tozalanadi (30-jadvalga q.). Suyuq fluslar bilan ishlangandan keyin qotishmadagi gazlarning qoldiq miqdori texnologik vakuum-namuna bilan kontrol qilinadi. Agar tarkibdagi gaz miqdori katta bo'lsa, qotishma flus bilan takror ishlanadi yoki suyuqlanmani 3-5 soat davomida saqlab turish yo'li bilan gazdan tozalash uchun

anallı induksion mikserga qayta quyiladi. Suyuqlanmani atmosfera o'zaro ta'sirlashishdan №3 tarkibli qoplama flus vositasida moya qilinadi (30- jadvalga q.).

Ko'pchilik aluminiy qotishmalari ikki komponentli shixta: quyma rinishidagi aluminiy qotishmasi va xususiy ishlab chiqarishdan yitgan metall asosida suyuqlantiriladi. Masalan, ZILda tarkibida Si bo'lgan Al-Si qotishma 25 t sig'imli vannali gaz pechlarida suyuqlantiriladi, shixta esa qaytarilgan metall va quyma ko'rinishidagi AK9 markali qotishmadan iborat.

Al-Cu-Si qotishmalar ham gaz pechlarida suyuqlantiriladi. Masalan, VAZda gaz pechlari uchun mo'ljallangan shixta 40% AK6M2 va 60% qaytarilgan metall dan iborat bo'ladi. Qotishma gaz pechida 1350 °C temperaturada qoplama flus ostida suyuqlantiriladi, bunda qotishma ko'pi bilan 780 °C temperaturagacha qizdiriladi. Tayyor qotishma suyuqlantirish pechidan letka orqali tarnov bo'yicha kutish pechiga chiqariladi, bu pechdan pnevmo qayta quyish qurilmasi yordamida kovshga quyiladi. Kovshda gazdan tozalovchi tabletka joylashtirilgan (87% geksaxloretan, 12,7% NaCl va 0,3% ultramarin) qalpoq yordamida metall tozalanadi. Kovsh transportirovka qilinayotgan vaqtda metallning yuzasi qoplama flus bilan bekitiladi. Qotishma kovshdan tarqatish pechiga quyiladi, u bu yerda ham qoplama flus ostida bo'ladi.

Tarkibida 9,5–11,5% magniy bo'lgan Al-Si-Mg qotishmani suyuqlantirish qator xususiyatlarga ega. Unda shixta materiallari sifatida yuqori darajada toza bo'lgan aluminiydan (A995, A99, A97, A95), magniy va ligaturadan (aluminiy-berilliy, aluminiy-titan va aluminiy-sirkoniydan), shuningdek, xususiy ishlab chiqarishdan qaytarilgan metall dan foydalaniladi.

700 °C gacha qizdirilgan toza tigelga quyma ko'rinishidagi aluminiy va aluminiy-berilliy ligatura yuklanadi; metall suyuqlantirilgandan va 700 °C gacha qizdirilgandan keyin aluminiy-titan hamda aluminiy-sirkoniy ligaturalar kiritiladi. To'la suyuqlantirilgandan so'ng qotishma shlakdan tozalanadi, obdan aralashtiriladi va titandan tayyorlangan qalpoqcha yordamida magniy kiritiladi. Qotishmani 750 °C dan yuqori o'ta qizdirishga yo'l qo'yilmaydi. Qotishmada berilliy va titan bo'lsa, suyuqlantirish operatsiyasini himoyalovchi flussiz bajarish mumkin. Qolgan hollarda 4, 5 va 6- qoplama fluslardan foydalaniladi (30- jadvalga q.). Metall yuzasi ustida to'q qo'ng'ir rangli dog'larning paydo bo'lishi qotishmaning oksidlanganligini ko'rsatadi. Quyma yuzasida qora qatlamning yoki namunalarning singan joyida qoramtir to'q rangning paydo bo'lishi qotishmaning normadan tashqari o'ta qizdirilganligi haqida guvohlik beradi.

Barcha komponentlar kiritilgandan so'ng qotishma 8 va 9- fluslar (30- jadvalga q.) bilan tozalanadi, so'ngra shlakolinadi va qoli plarga

quyiladi. Qotishmani qoliplarga quyish quyiladigan buyum devorining qalinligiga qarab 660–770 °C temperaturalar oralig'ida bajariladi.

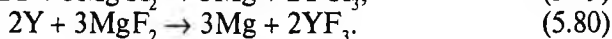
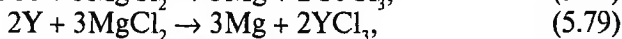
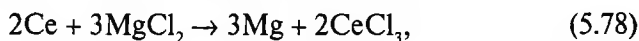
Tarkibida 3–4% dan ortiq magniy bo'lgan aluminiy-magniy qotishmalar kislorod va vodorodni yutishgagina moyil bo'lmastan balki havodagi azot va pech atmosferasi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Azotning magniy bilan reaksiyaga kirishi natijasida nitridlar hosil bo'ladi. Nitridlar hosil bo'lishining oldini olish uchun maxsus flus ishlatiladi. Ularning tarkibida boshqa xloridlar bilan bir qatorda magniy xloridi bo'ladi, u magniyni kuyib tugashiga to'sqinlik qiladi.

Suyuqlantirish vaqtida suyuqlanma temperaturasi va metall tarkibidagi gazlar miqdori texnologik namunalar bo'yicha, shuningdek, vakuum ekstraksiyasi metodi yordamida nazorat qilinadi. Aluminiy qotishmalar olishning yakunlovchi bosqichida ular modifikatsiya qilinadi.

5.12. Magniy qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Magniy yengil va nisbatan oson eriydigan metallar ($t_{er} = 650$ °C, $\rho = 1738$ kg/m³) jumlasiga kiradi. Suyuqlantirilgan holatda magniy va uning qotishmalarining o'ziga xos xususiyati – ularning yuqori darajada kimyoviy aktivligidir: hosil bo'ladigan g'ovak oksid pardasi suyuqlanmani jadal oksidlanish va yonib ketishdan saqlamaydi. Shu sababli magniy qotishmalarini suyuqlantirishda ma'lum qiyinchiliklar tug'iladi.

Kislorod va azot amalda magniyda erimaydi, balki u bilan suyuqlanmaga qaraganda ancha yuqori zichlikka ega bo'lgan MgO va MgN₂ birikmalar hosil qiladiki, bu esa ularga suyuqlanma vannasining tagiga cho'kishga imkon beradi. Suyuqlantirish va quyish jarayonlarida magniy qotishmalari ko'p miqdorda vodorod yutadi. Magniy qotishmalarini nodir-yer metallari ittriy va seriy bilan suyuqlantirishda ajralish yuzasi suyuqlanma – flusda legirlovchi elementlar bilan fluslar komponentlari orasida almashinuv reaksiyalari sodir bo'ladi, bu esa qimmat turadigan komponentlarning yo'qolishiga olib keladi:



Oksid pardasining zichligini oshirish va alangalanib ketishining oldini olish uchun xloridli fluslar bilan tozalangandan keyin suyuqlanma yuzasiga, odatda, tarkibida MgF, CaF₂, AlF₃, B₂O₃ lar bo'lgan xloridsiz fluslar beriladi. Magniy qotishmalarida ittriy, seriy, lantan, neodim, toriy va kalsiy bo'lganda yo'qotishlarni kamaytirish uchun xlorisiz fluslardan foydalanish yoki flussiz himoya atmosfera-sida suyuqlantirish tavsiya etiladi.

Tozalash. Hozirgi vaqtda magniy qotishmalarining quyidagi tozalash usullari qo'llaniladi: tindirish, qattiq va suyuq fluslar bilan shlov berish, gazlar (argon, xlor, karbonat angidrid gazi, geliy, to'rt xlorli uglerod) kiritib tozalash, filtrlash, aktiv metallar (sirkoniy, kalsiy, titan, marganes) qo'shish va h.k. Tindirish metodi eng sodda, 750 °C temperaturada bajariladi, lekin unumdorligi kam va tejamsiz.

Magniy qotishmalarini suyuqlantirishda flyus БИ 2 (38–46% $MgCl_2$, 32–40% KCl, 10% gacha NaCl + $CaCl_2$, 5–8% $BaCl_2$, 3–5% CaF_2), БИ 3 lardan foydalaniladi. БИ 3 БИ 2 dan tarkibida CaF_2 (15–20%) va MgO (7–10%) lar miqdorining ko'proq bo'lishi va $BaCl_2$ ning bo'lmasligi bilan tafovutlanadi. Bulardan tashqari, xloridsiz flus БИАМ5 (17,5% MgF_2 , 15% AlF_3 , 50% B_2O_3 , 17,5% CaF_2) va ФНН (32% MgF_2 , 40% AlF_3 , 15% B_2O_3 , 13% CaF_2) lardan ham foydalaniladi.

Magniy qotishmalarini fluslar bilan taxminiy tozalash rejimi quyidagicha: 700–720 °C temperaturada suyuqlanma 5–6 min davomida aralashtiriladi. Foydalanilgan flus chiqarib tashlanadi va yangi flus hosil qilinadi, suyuqlanma 750–780 °C gacha qizdiriladi, shu temperaturada 10–15 min tindiriladi hamda 700–680 °C temperaturagacha, ya'ni quyish temperaturasigacha pasaytiriladi.

Suyuqlanmaning metallmas aralashmalardan tozalanish darajasi texnologik namunaning singan joyi bo'yicha nazorat qilinadi: unda qora dog'larning bo'lishi magnit oksidlarining borligini ko'rsatadi, kulrang dog'lar esa fluslar aralashganligi haqida guvohlik beradi.

Fluslar bilan ishlanganda qotishmalarning qisman degazatsiyalanishi ham sodir bo'ladi. Ancha chuqur degazatsiyalash uchun gazlar bilan ishlash usuli qo'llaniladi. Azot kiritib tozalash ko'pi bilan 660–685 °C temperaturada bajariladi, chunki bundan yuqori temperaturalarda qotishmani ifloslantiradigan magniy nitridlari hosil bo'ladi. Argon va xlor berib tozalash jarayoni 740–760 °C da bajariladi.

Tozalash ba'zan modifikatsiyalash bilan birgalikda bajariladi, bunda xlor oqimiga uglerod (IV)-xlorid kiritiladi. Xlor kiritib tozalashda xlorli magniy hosil bo'ladi, u metall dan oksid aralashmalarini chiqarib yuborishga yordam beradi. Amalda suyuqlanmalarni ko'pkarrali ishlash usuli qo'llaniladi. Masalan, suyuqlanmani karbonat angidrid gazi va geliy yoki uglerod (IV)-xlorid va geliy bilan ketma-ket ishlash qotishma tarkibidagi vodorod miqdorini eng kichik miqdorgacha kamaytirishga (8–10 $sm^3/100$ gr metall) imkon beradi.

Sirkoniy, titan yoki marganesning qo'shilishi magniy qotishmalarini temir aralashmalaridan tozalashga yordam beradi. Temir aralashmalarining miqdorini protsentning mingdan bir ulushigacha kamaytirish mumkin. Bu usulda tozalash operatsiyasi, odatda, 800–850 °C temperaturada bajarilib, keyinchalik suyuqlanma 700 °C temperatu-

rada 20–30 min davomida saqlab turiladi. Bunda tarkibida temir qo'shimchalar bo'lgan qattiq fazaning kristallizatsiyalanishi va cho'shib shi sodir bo'ladi.

Filtratsiya magniy qotishmalarini aralashmalardan tozalashda ya'ni natijalar beradi. Shu maqsadda *donador* va *to'rsimon* filtrlar foydalaniladi. Eng nafis tozalashni donador filtrlar ta'minlaydi. Ular filtrllovchi materiallar sifatida magnezit, grafit, koks va ular birgalikda boshqa materiallar ishlatiladi. Qotishmaning tozalanish darajasi dona o'lchami va filtrlash qatlamining qalinligi bilan aniqlanadi. dona qanchalik mayda va qatlam qalinligi qanchalik katta bo'lsa, qotishma shunchalik nozik tozalanadi. Magnezit filtrlari qotishma tarkibida metallmas aralashmalarni eng kam miqdorgacha pasaytirishga imkon beradi. To'rsimon filtrlar sifatida kataklari 1×1 mm bo'lgan to'rdan foydalaniladi. Po'lat to'r ifloslanishni 3–7 marotaba kamaytiradi.

Magniy qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Magniy qotishmalarini suyuqlantirish — ishlab chiqarishning seriyaliligi va quymalarning massasiga qarab yo tigelli pechlarda (yoqilg'i yoki elektrda ishlaydigan), yo dupleks-jarayon: alanga pechi—tigelli pech yoki induksion pech—tigelli pech (45- rasimga q.) yordamida bajariladi. Mayda quymalar tigelli statsionar pechlarda suyuqlantiriladi. Yiril quymalar uchun to'siqqa ega bo'lgan po'lat tigeli olinadigan pechlardan yoki dupleks-jarayonlardan foydalaniladi.

Tigelda suyuqlantirish bilan bir yo'la qotishmalarni tozalash va modifikatsiyalash amalga oshiriladi. Statsionar tigellarda suyuqlantirishda БИ 2 flus, tigeli olinadigan pechlarda suyuqlantirishda esa БИ 3 markali flus ishlatiladi. БИ 3 ning zichligi kichik bo'ladi, shu sababli u yuzaga qalqib chiqadi. Statsionar tigeldan tayyor qotishma kovshlar yordamida quyiladi, olinadigan tigellar pechdan chiqarib olinadi va quyiladigan joyga transportirovka qilinadi.

Tigelli pechlarda qotishma ma'lum ketma-ketlikda suyuqlantiriladi: tigel 400–500 °C gacha qizdiriladi va unga shixta massasidan 10% gacha miqdorda flus (jarayonga qarab БИ 2 yoki БИ 3) yuklanadi. Barcha shixta suyuqlangandan keyin suyuqlanma 700–720 °C gacha qizdiriladi va tozalanadi hamda modifikatsiya qilinadi. Suyuqlanma 10–15 min vaqt davomida saqlab turiladi, kimyoviy va spektral analiz uchun, shuningdek, sinishga sinash uchun texnologik namunalar olinadi, shundan keyin metall quyish uchun transportirovka qilinadi. Metallni quyishda uni flus bilan ifloslantirmaslik uchun tigelda suyuqlanmaning 20–30% hajmi qoldiriladi. Qolgan iflos metall izlojnitsa (qolip)larga quyiladi va tayyorlov qotishmasi uchun foydalaniladi.

Suyuqlantirish texnologiyasining ikkita turi bir-biridan farqlanadi: quyma ko'rinishidagi qotishmani qaytgan metallni qo'shib qayta suyuqlantirish va ikkita bosqichda suyuqlantirish (dastlabki va ishchi

shimolarni tayyorlash). Birinchi holda, quyma ko'rinishidagi magniy qotishmalari shixta materiallari bo'lib xizmat qiladi. Ular pechga quyilgan metall bilan birgalikda yuklanadi, atmosfera ta'siridan himoyalanganadi, suyuqlantiriladi, qotishma talab etilgan temperatura-gacha yetkaziladi, so'ngra tozalanadi va modifikatsiya qilinadi, shundan keyin quyishga kirishiladi.

Ikkinchi holda, birlamchi metallar va ligaturalar shixta materiallari bo'lib xizmat qiladi. Shu sababli, oldin shixta hisoblab chiqiladi, so'ngra ligatura tayyorlanadi va dastlabki qotishma suyuqlantiriladi. Uning tayyorlash uchun tozalanagan va 500 °C gacha qizdirilgan tigelda shixta massasidan 0,25–1,0% miqdorda flus yuklanadi va suyuqlantiriladi. So'ngra metall shixta yuklanadi, suyuqlantiriladi, suyuqlanma 700–720 °C gacha qizdiriladi va tozalanadi.

Tozalash jarayoni shundan iboratki, tigel yuzasiga metall massasidan 1% miqdorda maydalangan quruq flusning yangi porsiyalari beriladi va qotishma kagpir bilan 4–6 minut davomida obdan aralashtiriladi. Bu davr ichida qotishma nomaqbul aralashmalardan tozalanadi, bir jinsli bo'ladi va uning sirti ko'zgudek yaltiroq bo'lib qoladi. Yuqori temperatura chegarasini ma'lum vaqt davomida saqlab turish muallaq zarrachalarning ancha to'la suzib chiqishi hamda qirilishiga yordam beradi. Tozalash oxirida shlak yaxshilab so'rib olinadi, yangi flus qatlami hosil qilinadi va qotishma temperaturasi 750–780 °C gacha ko'tariladi. Bu temperaturada qotishma 10–15 minut saqlab turiladi va kimyoviy analiz qilish uchun namuna olinadi. So'ngra temperatura 680–700 °C gacha pasaytiriladi va qotishma 120–150 °C gacha qizdirilgan izlojnitse' (qolip)larga quyiladi.

Ischi qotishma ham xuddi shunday ketma-ketlikda suyuqlantiriladi: pechga flus yuklanadi, so'ngra oldindan 120–150 °C gacha qizdirilgan shixta (quyma ko'rinishidagi magniy qotishmalari yoki dastlabki qotishma quymalari) yuklanadi. Yuklash operatsiyasi yuklanayotgan komponentlarning erishiga qarab, davriy ravishda amalga oshiriladi. Shixta har gal yuklangandan keyin metall oksidlanishining oldini olish uchun vanna yuzasiga flus sepiladi. Qotishma 760–800 °C gacha qizdiriladi va suyuqlangan metall yuziga sepiladigan flus bilan tozalanadi. Magniy qotishmalari tarkibidagi mexanik aralashmalar, oksidlar va nitridlar 750 °C temperaturada yetarli darajada tez tigel tagiga cho'kadi.

Magniy qotishmalarini quyish xususiyatlari. Tayyor bo'lgan qotishma qoliplarga quyish uchun kovshlar bilan beriladi. Kovshlar oldindan qizdiriladi va eritilgan karnalit yoki flus BN 2 bilan yuviladi. Magniy qotishmalari ma'lum temperaturada quyiladi: MJI 2 qotishma 720–800 °C da; MJI 5, MJI 6 – 690–780 °C da va MJI 3, MJI 4 – 690–790 °C da. Qoliplarga quyish tugagach, kovshda 10–15% qotishma qoldiriladi (qolipga flus tushishi oldini olish uchun). Quyish

vaqtida qotishma alangalanishining oldini olish uchun m qotishmasining oqimi oltingugurt yoki oltingugurtning bor k aralashmasi bilan changlatiladi (1 : 1).

5.13. Rux qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Rux oson eriyd og'ir metallar jumlasiga kiradi ($t_{er} = 419,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\rho = 7133\text{ kg/m}^3$). qaynash temperaturasi esa past bo'ladi ($907\text{ }^{\circ}\text{C}$). Gaz fazasi t o'zaro ta'sirlashganda $\text{ZnO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2$ dan iborat zich himoya pat bilan qoplanadi. Temperatura ortgan sayin pardaning himoyalov qobiliyati pasayadi va ruxning (1.42)–(1.44) reaksiyalar bo'yl oksidlanishi uchun qulay sharoit yaratiladi.

Oksidlanishni kamaytirish uchun rux va uning qotishmalari him yoki sust qaytaruvchi atmosferada suyuqlantiriladi. Suyuqlantiray ganda himoya atmosferasi sifatida azotdan foydalaniladi. H so'rilishiga yo'l qo'ymaslik uchun pech bo'shlig'ida azot bosimi 0,12 0,15 MPa chegarasida saqlab turiladi. Suyuqlantirish suyuqlan temperaturasi $440\text{--}480\text{ }^{\circ}\text{C}$ da olib boriladi. O'ta qizdirish $480\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan ortmasligi kerak, chunki bu temperaturada jadal oksidlanish qotishmaning gazlar bilan to'yinishi boshlanadi, cho'yan yoki po'l tigelda suyuqlantirilganda esa qotishma temirga to'yinishi mumkin.

Tozalash. Rux qotishmalari gazlar aralashmalaridan va metallma qo'shilmalardan rux xloridi, aluminiy xloridi, geksaxloretan yoki tuzla kompleksi yordamida tozalanadi. Rux qotishmalari zararli metal aralashmalaridan tindirish usuli bilan tozalanadi. Bu usul qotishma tarkibidagi qo'rg'oshin va temir miqdorini kamaytirishga imkon beradi. Rux qotishmalari azot va xlor bilan tozalanganda vodorod miqdori sezilarli darajada kamayadi (50% gacha), lekin gaz bilan ishlov berilgandan keyin mustahkamligi va qattiqligi biroz kamayadi, elastikligi esa ortadi.

Rux qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Rux qotishma-larini suyuqlantirish, asosan, tigelli yoqilg'i va elektr pechlarida amalga oshiriladi (45- a, f, g rasm). Ba'zan vannali alanga pechlarida ishlatiladi (45- b rasm).

Shixta sifatida, odatda, quyma ko'rinishidagi quyiladigan rux qotishmalari, bosim ostida quyish uchun quyma ko'rinishidagi rux qotishmalari va ishlab chiqarishdan qaytgan qotishmalar ishlatiladi. Sof birlamchi metallar ham ishlatiladi. Masalan, Msensk aluminiy quyish zavodida IIAM-1 qotishma olish uchun quyma ko'rinishidagi qotishma, IIAM10-5 qotishma uchun esa birlamchi rux va ligaturalar ishlatiladi [31].

IIAM4-1 tipidagi rux qotishmasini tigelli induksion pechda suyuqlantirishda shixta sifatida shu tipdagi quyma ko'rinishidagi qotish-

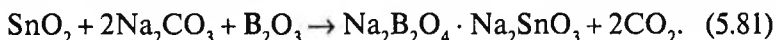
dan 50% va ishlab chiqarishdan qaytgan materiallardan 50% shlaklar, brakka chiqarilgan quymalar, past sifatli chiqindilarning suyuqlantirmalari) ishlatiladi. Zarur bo'lganda qotishma magniy qo'shimcha shixtalanadi. Shixtaning barcha komponentlari chet mahallalar (namlik, moy va boshqa qo'shilmalar) dan tozalanadi. Shixtaning uchdan bir sig'imini to'ldiradigan suyuq qotishma chiqib shixtaning oldini olish uchun shixtani ehtiyotlik bilan yuklash kerak. Vannaga dastlab yengil vaznli shixta (qaytarilgan mayda qotishma), so'ngra quyma ko'rinishidagi materiallar yuklanadi. Suyuqlantirish jarayoni jadal olib boriladi. Metall eritiladi va 440–460 °C gacha o'ta qizdiriladi, bundan keyin shlak olib tashlanadi va ekspress-analiz uchun namuna olinadi. Zarur bo'lganda qalpoq yordamida suyuqlanmaga magniy kiritiladi. Agar kimyoviy analiz ijobiy natija bersa, metallning temperaturasi 440–460 °C ga yetkaziladi va metall 400–450 °C gacha qizdirilgan kovshga quyiladi, so'ngra uni transportirovka qilib, tortib oluvchi zont ostiga o'rnatiladi. Bu yerda qotishma tozalanadi. Tozalash uchun kovshga suyuqlanma massasidan 0,4% miqdorda tabletkalar kiritiladi. Tabletkalar tarkibiga 87% geksaxloreten, 0,3% ultramarin va 12,7% NaCl kiradi. Qotishma yaxshilab aralashtiriladi, shlak tozalanadi va metall qoliplarga quyish uchun transportirovka qilinadi.

5.14. Mis qotishmalarini suyuqlantirish

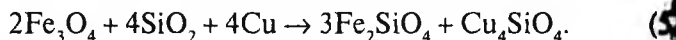
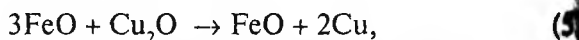
Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Misning suyuqlanish temperaturasi 1083 °C, jezniki 950 dan 1050 °C gacha, bronzalarni quyish temperaturasi 1150 dan 1200 °C gacha. O'ta qizdirish qotishmalarining gazlar bilan to'yinishiga olib keladi, qotish jarayonida gazlarning jadal ajralib chiqishi quymalarning g'ovakli bo'lishiga olib keladi, ularning zichligi va germetikligini yomonlashtiradi.

Qotishmalarning gazlar bilan to'yinishi qotishmaning kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'ladi. Metallar uchun eng zararli gazlardan biri vodorod hisoblanadi. U metallga suv bug'lari tarkibida bo'ladigan pech atmosferasidan kiradi. Ba'zi legirlovchi elementlar erigan vodorod miqdorini kamaytiradi, ba'zilari esa ko'paytiradi. Masalan, sof qo'sh qotishma Cu–Al lar gazlarni yutishga kam moyil bo'ladi, lekin u qotishmaga qo'shimcha legirlovchi komponentlar kiritilganda va qotishmada aralashmalar bo'lganda keskin ortadi.

Qotishmalarning komponentlari gaz fazasi bilan (1.42)–(1.44) reaksiyalar bo'yicha oksidlanadi. Oksidlar shlakka o'tkaziladi. Masalan, qalay oksidi qotishmadan suvsizlantirilgan soda yordamida shlakka o'tkazilib, chiqarib yuboriladi:

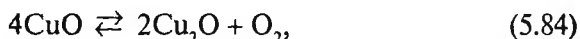


Temir qotishmani kuprit bilan oksidlab tozalash yo'li bilan chiqarib tashlanadi:

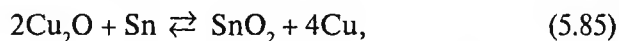


Bronzalarini suyuqlantirishda talab etilgan kimyoviy tarkibni ta'minlash alohida qiyinchilik tug'dirmaydi. Qotishmalarning gazlanishini ta'minlash murakkabroq bo'ladi, chunki gazlanish suyuqlantirish jarayonida suyuqlanma tomonidan jadal yutiladi va gaz o'vakkliklarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun suyuqlanmani himoyalovchi qoplam tanlash alohida ahamiyatga ega bo'ladi. Himoya qotishmani oksidlanishdangina saqlaydi, lekin suyuqlan metallda erigan gazlarni chiqarib yubormaydi.

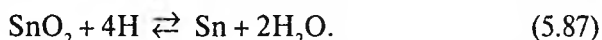
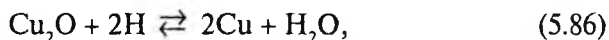
Tozalash. Vodorodni suyuqlanmadan chiqarib yuborishning bir nechta usullari mavjud: vakuumdan foydalanish, metall vannasida kislorod bilan boyitish va suyuqlanmaga degazatsiyalovchi qo'shimchalar kiritish. Vakuumdan foydalaniladigan bo'lsa, qimmatbaho asbob-uskunalar talab etiladi, shuning uchun bu usul cheklangan. Kislorod bilan boyitish qotishma tarkibidagi vodorodni deyarli kamaytiradi, lekin metallning kislorod bilan to'yinishiga olib keladi, bu esa oksidsizlantirish jarayonini o'tkazish zaruriyatini tug'diradi. Suyuqlanmaga havo yoki sof kislorod yuborib va suyuq metallga oksidlovchi fluslar kiritish yordamida oksidlab degazatsiyalash eng yaxshi samara beradi. Bunda bronza suyuqlanmasida quyidagi reaksiyalar sodir bo'ladi:



qotishmada qalay bo'lganda esa



Cu_2O va SnO_2 vodorod bilan reaksiyaga kirishib suv bug'larini hosil qiladi:

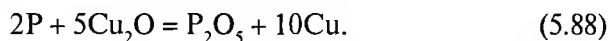


Suyuqlanmadan kislorodni chiqarib yuborish uchun oksidsizlantirishdan foydalaniladi. Fluslar bilan oksidlab tozalash 1180–1200 °C da amalga oshiriladi. Bunda oksidlagichlar sarfi metall massasidan 0,5–1,0% ni tashkil qiladi.

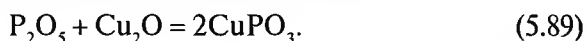
Mis qotishmalarini qo'rg'oshin va qalay bilan suyuqlantirishda keng ko'lamda ishlatiladigan oksidsizlagichlar jumlasiga fosfor kiradi. Tarkibida rux, aluminiy, berilliy va kremniy bo'lgan mis qotishmalari

berilliy bilan oksidsizlantiriladi, chunki bu elementlarning oksidlari yordamida qaytarilmaydi. Berilliy metallni to'la oksidsizlantirishga va yuqori darajada zich bo'lgan quymalar olishga imkon beradi.

Mis qotishmalarini oksidsizlantirish uchun tarkibida 90–93% Cu va 7–10% P bo'lgan mis fosfidi ham ishlatiladi:



Oson eriydigan ($t_{er} = 563^\circ C$) fosfor besh oksidi suyuqlantirilgan metall vannasining yuzasiga ko'tariladi va suyuqlantirilgan metalldan o'tayotganida mis oksidlari bilan reaksiyaga kirishadi:



Hosil bo'ladigan mis metafosfati — suyuq modda, u vanna yuzasiga suzib chiqadi.

Oksidsizlantirgichlar sifatida fosfatdan tashqari Zn, Al, Sn, Mg, Ba, Ce va boshqa elementlar ishlatiladi, lekin ularning hammasi umumiy kamchilikka ega: oksidsizlantirish reaksiyalarining to'la o'tishi uchun bu elementlarni biroz ortiqcha kiritish kerak, bunga esa hamma vaqt ham yo'l qo'yib bo'lavermaydi.

Yetarli darajada to'la oksidsizlantirish oksidsizlantirgich tarkibida mis–bor ligatura ko'rinishidagi bor kiritish hisobiga amalga oshiriladi (2–4% B).

Kiritiladigan oksidsizlantirgichlar miqdori vannaning oksidlanish darajasi bilan aniqlanadi va odatda, quyim massasidan 0,1–0,3% ni tashkil qiladi. Oksidsizlantirgichlar vanna ichiga qalpoq yoki kajom-burlar bilan himoya flusi qatlami ostiga kiritiladi.

Sirt oksidsizlagichlari sifatida magniy boridi, kalsiy karbidi va bor shlakidan foydalaniladi. Eng samaralisi — bor kislotasi yoki bura hamda 95 : 5 nisbatda olingan magniy kukunidan iborat bor shlakidir. Aralashma 1000–1100 °C da suyultiriladi, izlojnit-salarga quyiladi, so'ngra esa maydalanib, kukunsimon ko'rinishda qotishma massasidan 1–1,5% miqdorda unga kiritiladi. Qotishma yaxshilab aralashtiriladi.

Tozalashdan oldin suyuqlanma 1200–1250 °C gacha qizdiriladi, shlak olinadi, metall yuziga maydalangan flyus kukuni sepiladi va 10–15 min davomida obdan aralashtiriladi, shundan keyin suyuqlanma 10–15 min davomida tindiriladi, shlakdan tozalanadi va quyish uchun tarnsportirovka qilinadi.

Fluslar bilan mis qotishmasiga ishlov berishdan qalayli va alu-miniylı bronzalardan zararli aralashmalarni, chunonchi, aluminii hamda kremniyni chiqarib yuborish uchun foydalaniladi. Bu maqsadlar uchun, masalan, tarkibida 33% Na₂B₄O₇, 33% Cu₂O va 34% SiO₂ bo'lgan flus ishlatiladi.

Qalayli bronzalarning kompleks oksidsizlantirgichlari sifatida mis va bor aralashmasidan foydalaniladi. Ularning oksidlari oson eriydigan shlak hosil qiladi. Litiy bilan bor aralashmasining kiritilishi modifikatsiya qilishni ham ta'minlaydi.

Mis qotishmalari azot, xlor, geliy va argon bilan degazatsiya qilinadi. Mis va uning qotishmalarini gaz berib tozalashda vodorod atomlari gaz pufakchasining ichiga diffuziyanadi. Qotishmaning temperaturasi ortgan sayin degazatsiyalanish jarayoni jadallashadi. Degazatsiyani 1270–1370 °C larda o'tkazish tavsiya etiladi. Mis qotishmalari aluminiy qotishmalari kabi geksaxloreten bilan ham degazatsiya qilinadi. U degazatsiyalash qobiliyatiga ko'ra inert va neytr gazlardan qolishmaydi.

Qotishmaning xlor bilan tozalanishi uning aktivligi hisobiga sodir bo'ladi. Metallda erigan gazlar bilan reaksiyaga kirishadigan xloridlar keyinchalik metallardan chiqarib yuboriladigan xloridlar hosil qiladi. Inert gazlar bilan tozalash suyuqlanmaning temperaturasi 1150–1200 °C bo'lganda 5–10 minut davomida amalga oshiriladi. 1 t suyuqlanmaga 20–30 kPa da 0,25–0,5 m³ gaz sarflanadi. Qotishma tozalandan keyin gaz pufakchalarini yo'qotish uchun u 10–15 minut saqlab turiladi va quyish uchun transportirovka qilinadi.

Tozalash uchun qotishmalarni, masalan, aluminiyli bronzalarni filtrlash usuli ham qo'llaniladi. Shu maqsadda donador keramik filtrlardan (masalan, CaF₂ singdirilgan magnezitdan), metall to'rtirlardan (masalan, molibdendan) ham foydalaniladi. Suyuqlanmaga kompleks ravishda ham ishlov berish mumkin. 1250 °C da 10 minut davomida 0,6–1,3 kPa siyraklanish ostida filtrlash vodorod miqdorini 80% ga, kislorod miqdorini 40–50% ga kamaytirishga imkon beradi. Biroq, tarkibida qo'rg'oshin va rux bo'lgan qotishmalar uchun vakuumlash yaramaydi, chunki bu — elementlarning qotishmadan jadal chiqib ketishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun vakuumlash mis qotishmalari uchun cheklangan holda foydalaniladi.

Mis qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Bronza, odatda, mustaqil yoyli elektr yoy pechlarida yoki alanga pechlarida (46- a, b, g rasm), jezlar esa tigelli induksion pechlarda hamda kanalli pechlarda (46- d, e rasm) suyuqlantiriladi.

Shixta sifatida birlamchi materiallar, qaytarilgan metall, temir-tersak va quyma qotishmalar (jezlar va bronzalar) ishlatiladi. Qotishmani kimyoviy tarkibi bo'yicha me'yoriga yetkazish uchun birlamchi sof metallar yoki ligaturalardan foydalaniladi (33- jadval).

Mis qotishmalarini suyuqlantirishda qoplama materiallar sifatida pistako'mir va qoplama fluslardan foydalaniladi (34- jadval).

**Mis qotishmalarini suyuqlantirishda foydalaniladigan
ligaturalar tarkibi**

Ligatura	Massa ulushi, %	Suyuqlanish temperaturasi, °C
Mis--marganesli	73 Cu, 27 Mn	860
Mis--berilliyli	85–95 Cu, 5–15 Be	900
Mis--kremniyli	84 Cu, 16 Si	800
Mis--qalayli	50 Cu, 50 Ni	780
Mis--nikelli	67–85 Cu, 15–33 Ni	1050–1080
Aluminiy--mis--nikelli	50 Al, 40 Cu, 10 Ni	670

**Mis qotishmalari uchun qoplama va tozalovchi fluslar
(massasidan % hisobida)**

Tarkibi	Vazifasi
41–47 SiO ₂ ; 25–32 MnO ₂ ; 10–15 Na ₂ O; 11–14 Al ₂ O ₃	Shamot futerovkali pechlarda jezli bronzalar uchun qoplama
50 SiO ₂ ; 30 Na ₃ B ₄ O ₇ ; 20 C ₄ O	—//—
10–30 SiO ₂ ; 90–70 Na ₃ B ₄ O ₇	Magnezit futerovkali pechlar uchun shuning o'zi
7 Na ₃ B ₄ O ₇ ; 60 Na ₂ CO ₃ ; 33 CaF ₂	Qalayli bronzalar uchun tozalovchi
50 Na ₂ CO ₃ ; 50 – shisha siniqlari	Aluminiyli bronzalar uchun qoplama
30 SiO ₂ ; 30 Na ₂ CO ₃ ; 40 CaF ₂	Kremniyli va oddiy jezlar uchun qoplama
50 Na ₂ CO ₃ ; 50 CaF ₂	—//—
50 CaF ₂ ; 50 MgF ₂	Bronza va jezlar uchun qoplama- tozalovchi
20 CaF ₂ ; 60 NaF; 20 Na ₃ AlF ₆	Aluminiyli bronzalar uchun tozalovchi
6 Na ₃ B ₄ O ₇ ; 70 Na ₂ CO ₃ ; 12 Na ₃ AlF ₆ ; 12 K ₂ CO ₃	—//—

Ligaturalarni istalgan pechda tayyorlash mumkin, lekin induksion pechlardan foydalanish ma'qulroq bo'ladi, chunki ularda suyuqlanmaning aralashishi ta'minlanadi va qimmatbaho rangli metallar juda kam yo'qotiladi.

Mis-aluminiyli ligaturalarni tayyorlash texnologiyasini ko'rsatib chiqamiz. Pechga aluminiyning hisob miqdoridan taxminan $\frac{2}{3}$ qismi yuklanadi, u suyuqlantiriladi va $800-1000^{\circ}\text{C}$ temperaturagacha qizdiriladi, shundan keyin $150-200^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan mis porsiyasi porsiyalab yuklanadi. Qotishma yaxshilab aralashtiriladi va barcha mis suyuqlangandan keyin aluminiyning qolgan qismi kiritiladi, qaytadan aralashtiriladi va $720-750^{\circ}\text{C}$ gacha tutib turiladi, so'ng suvsizlantirilgan xlorli rux yoki xlorli marganes bilan tozalanadi. $670-700^{\circ}\text{C}$ temperaturada tayyorlangan ligatura $150-200^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan cho'yan izlojitsaga quyiladi.

Jezlar yoy va vakuum pechlardan boshqa pechlarning barcha tiplarida suyuqlantiriladi (bu ikkita pechda rux ko'p kuyadi). Tayyor qilingan shixta tozalangan va qizdirilgan pechga yuklanadi. Agar suyuqlantirish shixtaning birlamchi komponentlaridan amalga oshirilsa, u holda avval quritilgan flus (masalan, metall massasidan $0,25\%$ miqdorda bura) va sof mis yuklanadi. Mis suyuqlangandan keyin $1130-1150^{\circ}\text{C}$ gacha o'ta qizdiriladi va quyimdan $0,3-0,4\%$ hisobida fosforli mis bilan oksidsizlantiriladi. Qotishma obdan aralashtiriladi va shlak ostiga hisob bo'yicha oldindan $200-250^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan mis-kremniy ligaturasi ($15-20\%$ Si) kiritiladi. Ligatura bo'laklari-ning shlaklanishiga yo'l qo'yilmaydi. Ligatura to'la suyuqlangandan so'ng qizdirilgan rux, so'ngra qo'rg'oshin kiritiladi va suyuqlanmani grafit qorg'ich bilan aralashtira borib, uning temperaturasi $1050-1100^{\circ}\text{C}$ gacha yetkaziladi. So'ngra namuna olinadi. Qotishmaning tayyor bo'lganligi quyilgan namunalarning singan joyi bo'yicha baholanadi. Mayda donador siniq va namuna sirtida likvatsion do'ngliklarning yo'qligi qotishma yuqori darajada sifatli ekanligidan darak beradi, bu esa qoliplarga quyishga kirishish mumkinligini ko'rsatadi. Qotishmaning gazlar bilan yuqori darajada to'yinganligi payqalsa, u degazatsiya qilinadi, buning uchun azot kiritib yoki o'ta qizdirib tozalash usuli qo'llaniladi.

ИЖТ-2,5 markali pechda ИС 59-1И jez quyidagi tarzda suyuqlantiriladi. Pechda oldin suyuqlantirib olingan qotishmadan 30% (botqoq) qoldiriladi. Iflosliklar, namlik, moy va boshqa chet qo'shimchalardan yaxshilab tozalangan shixta materiallari (50% quyma ko'rinishidagi jez va 50% qaytarilgan qotishma) ehtiyotlik bilan pechga yuklanadi. Bunda, birinchi navbatda, ishlab chiqarish chiqindilari (litniklar va quyma braklari), so'ngra quyma ko'rinishidagi jez yuklanadi. Shixta cho'g'latilgan pistako'mir qatlami bilan qoplanadi. Yuklangan shixta suyuqlantiriladi, metallning temperaturasi $960-980^{\circ}\text{C}$ gacha yetkaziladi, shlakdan tozalanadi va ekspress-analiz qilish uchun namuna olinadi. Zarur bo'lganda rux bilan shixtovka qilinadi. Tayyor bo'lgan qotishma $700-800^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan kovshga quyiladi va qoliplarga quyish uchun transportirovka qilinadi.

Qo'sh jez, masalan, JI 68 ni suyuqlantirish uncha qiyinchilik tug'dirmaydi. Qizdirilgan pechga mis yuklanadi, u suyuqlantiriladi, shundan keyin tarkibida rux bo'lgan chiqindilar va ikkilamchi jez kiritiladi. Qotishmaning temperaturasi 1000–1050 °C gacha yetkaziladi, ruxning yetishmagan miqdori kiritiladi va qoliplarga quyish boshlanadi. Rux a'lo darajadagi oksidsizlantirgich bo'lgani uchun suyuqlantirib olingandan keyin mis oksidsizlantirilmaydi. Rux kuyindisini kamaytirish uchun suyuqlantirish operatsiyasi qoplama flus qatlami ostida bajariladi.

Ko'p komponentli murakkab jezlarni suyuqlantirish shu bilan farqlanadiki, bunda legirlovchi komponentlar, masalan, aluminiyni kiritishdan oldin jez fosforli mis bilan oksidsizlantiriladi. Metallmas qo'shilmalarni chiqarib tashlash uchun qotishmalar xlorli marganes bilan tozalanadi yoki donador filtrlar orqali filtrlanadi.

Qalayli bronza birlamchi materiallar, ishlab chiqarishdan qaytgan materiallar va quyma ko'rinishidagi bronza asosida suyuqlantiriladi. Qizdirib tayyor qilingan pechga shixtaning katta qismi yuklanadi va uning ustiga quritilgan pistako'mir to'kiladi. Suyuqlantirilgan mis massadan 0,2% miqdorda fosforli mis bilan (9–10% P) oksidsizlantiriladi, suyuqlanmaning temperaturasi 1100–1150 °C gacha yetkaziladi, so'ngra shixtaning qolgan tashkil etuvchilari navbatma-navbat (rux, qalay va qo'rg'oshin) kiritiladi, qotishmaning temperaturasi 1100–1200 °C gacha yetkaziladi, xlorli marganes yoki azot bilan tozalanadi, modifikatsiyalanadi (masalan, tarkibida 0,05% Zn, 0,06% B va 0,2% Ti bo'lgan kompleks modifikator bilan), texnologik namuna olinadi va quyish uchun transportirovka qilinadi.

Qalayli bronzalarni suyuqlantirib olishda fosforli mis yordamida oksidsizlantirish bilan bir qatorda, 100 kg qotishmaga 500 g fosforli mis va 500 g rux hisobidan rux bilan oksidsizlantirish qo'llaniladi. Fosforli mis bilan oksidsizlantirish ikki bosqichda bajariladi: dastlab 250 g fosforli mis kiritiladi va qotishma aralashtiriladi (agar birlamchi materiallar asosida suyuqlantirilsa, unda qalay qo'shishdan oldin), so'ngra 500 g rux qo'shiladi va qotishmani chiqarishdan oldin qolgan 250 g fosforli mis kiritiladi.

Tarkibida qalay bo'lmagan, masalan, aluminiyli bronzalar, odatda, elektr yoy pechlarida yoki induksion pechlarda jadallashtirilgan rejimda suyuqlantiriladi. Yoqilg'i pechlaridan kamroq foydalaniladi. Aluminiyli bronzalar o'ta qizdirishga nihoyatda sezgir bo'ladi va gazlar yutishda yuqori aktivlikka ega, shuning uchun ular qotishmaning temperaturasi ko'pi bilan 1200 °C bo'lganda flus qatlami ostida (34-jadvalga q.) oksidlovchi atmosferada suyuqlantiriladi.

Nikel, marganes yoki temir bilan legirlangan aluminiyli bronzani suyuqlantirishda dastlab mis suyuqlantiriladi va u fosforli mis (0,05–0,1%) bilan oksidsizlantiriladi, shundan keyin aluminiy yoki Al–Cu ligatura

kiritiladi. Aluminiyni marganes va temirdan oldin kiritish lozim, chunki aks holda, qotishmani quyish uchun yaroqsiz holga keltiruvchi plenlar hosil bo'ladi.

Qotishma 1150–1200 °C temperaturagacha yetkaziladi va xlor, marganes yoki suyuqlanma massasidan 0,1–0,3% hisobida kriolit bilan tozalanadi. Plenlarni chiqarib tashlash uchun qotishma donador filtrlar orqali filtrlanadi.

Mayda donador struktura olish uchun metall vannadiy, bor, volfram, sirkoniy yoki titan bilan suyuqlanma massasidan 0,05–0,015% miqdorda modifikatsiyalanadi, so'ngra Cu–Ni, Cu–Mn, Cu–Fe ligaturalar kiritiladi, qotishma qaytadan fosforli mis bilan oksidsizlantiriladi.

Mis va aluminiyning kiritiladigan komponentlarining zichligi bir-biridan ancha farq qiladi. Bu farqning zonal likvatsiyaga yordam berishini hisobga olib, suyuqlanma yaxshi aralashtiriladi. Suyuqlantirish operatsiyasi flus ostida bajariladi (34- jadval). Aluminiyli bronzalar tolali metallmas aralashmalar pardasini hosil qilishga moyil bo'ladi. Ulardan ozod etish uchun suyuqlanma filtrlansa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

Qo'rg'oshinli bronzalarni (БрС30) suyuqlantirish ma'lum qiyinchiliklar tug'diradi. Ularning tarkibiga kiradigan komponentlar zichligining bir-biridan ancha farqlanishi bu qotishmalarning likvatsiyaga moyilligini oshiradi. Likvatsiyani pasaytirish uchun qotishmani induksion pechlarda suyuqlantirish tavsiya qilinadi, chunki bu pechda suyuqlanma yaxshi aralashadi, shuningdek, bronzani nikel bilan (massasidan 2–2,5%) legirlash va qotishmani metall qoliplarga quyish mumkin bo'ladi. Qoliplarda quymalarning tez kristallanishi uchun sharoitlar yaratiladi.

Berilliyli bronzalarni suyuqlantirish jarayoni qalayli bronzalarni suyuqlantirish jarayoni kabi bo'ladi. Lekin shuni nazarda tutish kerakki, berilliy zaharli va maxsus ehtiyot choralarini ko'rishni talab qiladi. Shuning uchun qotishma izolatsiya qilingan, havo berib-so'radigan mashinalar bilan yaxshi jihozlangan xonalarda suyuqlantirilishi kerak.

Kremniyli bronzalarni suyuqlantirish ham qalayli bronzalarni suyuqlantirishga o'xshash bo'ladi. Qotishmalarni vodorod bilan to'yinishini oldini olish uchun suyuqlanmani 1250–1300 °C dan yuqori temperaturagacha qizdirishga yo'l qo'yilmaydi. Mis qotishmalari olishning so'nggi bosqichlarida modifikatsiyalash qo'llanilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

5.15. Nikel qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Nikel 1455 °C da suyuqlanadi, zichligi $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Suyuqlantirish jarayonida suyuq nikel yuzasida (masalan, ochiq induksion yoki yoy pechida, ya'ni

tarkibida kislorod bo'lgan atmosferada) NiO dan iborat zich parda hosil bo'ladi. Bu parda qotishmani oksidlashdan saqlaydi. Lekin nikel qotishmalarining tarkibida Cr, Si, Al, Ti va boshqa elementlar bo'ladi. Ular pardani quyidagi tipdagi reaksiya bo'yicha tiklaydilar:



Bunda suyuq nikel qotishmasining yuzasida murakkab oksid parda (shlak) hosil bo'ladi, u endi qotishmani himoyalamaydi va kislorodga kimyoviy yaqin bo'lgan elementlarning oksidlanishiga to'sqinlik qilmaydi. Vodorod va azotning erishi ham sodir bo'ladi. Shuning uchun tarkibida aluminiy hamda titan bo'lgan nikel qotishmalari vakuum pechlarida suyuqlantiriladi, qolganlari uchun esa gazlarning suyuq qotishmaga kirishini cheklaydigan qoplama fluslardan foydalaniladi va tozalash operatsiyasi bajariladi. Fluslar tarkibiga SiO_2 , CaF_2 , CaO , MgF_2 va boshqa birikmalar, masalan, bura, natriy karbonat (soda), potash bilan kvars qum aralashmasi kiradi.

Qotishmalarni havoda ochiq pechlarda suyuqlantirganda quyish oldidan ular oksidsizlantiriladi. Shu maqsadda, CaC_2 , Mg_3B_2 , bor shlaki va misni oksidsizlantirish uchun ishlatiladigan boshqa oksidsizlantirgichlar, shuningdek, Al, Si, Mg, Mn lar qo'llaniladi.

Nikel qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Nikel qotishmalari, asosan, induksion, shu jumladan, induksion-vakuum pechlarda suyuqlantiriladi. Ba'zi hollarda yoqilg'i pechlari va yoy elektr pechlari-dan foydalaniladi. Shixta materiallari sifatida birlamchi metallar va xususiy ishlab chiqarishdan qaytarilgan metallar, shuningdek, tegishli qotishmaning temir-tersaklaridan foydalaniladi.

Shixta konkret pechlarga tatbiqan IX bobda bayon etilgan usul bo'yicha hisoblanadi. Bunda shuni nazarda tutish lozimki, Ni, Co, Cu larning kuyindilari uncha ko'p bo'lmaydi. Ti ning kuyindilari esa, masalan, ochiq pechlarda suyuqlantirilganda 50–70% ga yetishi mumkin.

Nikel qotishmalarni suyuqlantirishning temperatura intervali 1270–1300 °C dan (H65M17X15B5JI) 1400–1500 °C gacha (ЭИ418, monel va boshqalar) bo'ladi. Qolipga quyish temperaturasi 1560 °C ga yetadi. Ularni suyuqlantirish texnologiyasi yuqori legirlangan po'latni suyuqlantirish texnologiyasiga yaqin bo'ladi. Shixta bilan birgalikda qoplama flus (masalan, shisha siniqlari) hamda 50% CaO va 50% CaF_2 yoki MgF_2 aralashmasi yuklanadi; Si va Mn ligaturalar ko'rinishida kiritiladi. Shixtaning birinchi porsiyasi (qaytgan qotishma, temir-tersaklar, nikel va misning bir qismi) suyuqlangandan keyin katod nikeli qismlarga bo'lib qo'shiladi. Bunda butun suyuqlantirish davomida metall qalinligi 10–15 mm bo'lgan flus qatlami bilan qoplangan bo'lishini diqqat bilan nazorat qilib turiladi. Shixtaning

barcha komponentlari suyuqlangandan keyin metallning temperaturasi talab etilgan darajaga yetkaziladi va kompleks oksidsizlantirish jarayoni amalga oshiriladi.

Uglerod asosiy oksidsizlantirgich hisoblanadi, u yoxud tarkibida 1,5–2% C bo'lgan Ni–C ligatura, yoxud grafitning siniq bo'lakchalar bilan, ya'ni boshqa oksidsizlantirgichlar bilan kompleks kiritiladi. Uglerod miqdori 0,05–0,1% dan ortmasligi kerak. Uning ortiqcha bo'lishiga yo'l qo'yilmaydi, chunki qotishmaning mo'rtligi ortadi. Oksidsizlantirish uchun tarkibida 20% gacha kalsiy bo'lgan silikokatlanma ishlatilishi ham mumkin. U metall massasidan 0,05–0,1% miqdorida kiritiladi. Murakkab legirlangan qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun marganes (0,02–0,06%) va magniy (quyim massasidan 0,1–0,2%) ham ishlatilishi mumkin. Oksidsizlantirilgandan keyin metall nikeldan tayyorlangan qorgich bilan aralashtiriladi va bir necha minut saqlanib turiladi. So'ngra shlak tigeli yoki kovshga magnezit qo'shib (suyuqlanmagan massasidan 0,2% gacha) quyuqlantiriladi va qoliplarga quyiladi.

Ba'zi o'tga chidamli qotishmalarning mexanik xossalarini yaxshilash va strukturasi mayda donador bo'lishi uchun ular bor (0,01–0,03%) hamda sirkoniy (0,03–0,1%) qo'shib modifikatsiya qilinadi.

Nikel qotishmalarini vakuumda suyuqlantirish juda afzal ko'riladi, chunki u tarkibida gazlar va metallmas qo'shimchalar juda kam bo'lgan holda yuqori mexanik hamda maxsus xossali qotishmalar olishga imkon beradi.

Induksion-vakuum pechda suyuqlantirilganda (46–48% fasm) yuklash oldidan uning tigeli oldingi suyuqlantirish qoldig'idan yaxshilab tozalanadi, ta'mirlanadi va qizdiriladi. Tigelni futerovka qilish uchun o'tga chidamli magnezit materiallari yoki elektr korund ishlatiladi. Yuqori chastotali pechlarni futerovka qilish uchun tarkibida 80% suyuqlantirilgan magnezit, 8% suyuq shisha va 12% suv bo'lgan aralashma ishlatiladi. Tigeli shixta materiallari bilan ma'lum ketma-ketlikda, mumkin qadar, zich va keskin zarbasiz yuklanadi. Tigeli tubiga avval nikelning mayda bo'laklari, so'ngra yirikroq bo'laklari yuklanadi, keyin kobalt, xrom, volfram va molibden qo'shiladi. Oson oksidlanadigan va C, Ti, Al, Ce, B uchuvchan qo'shimchalar maxsus dozatorga yuklanadi, undan tigeli uzatiladi. Yuklangandan so'ng kamera bekitiladi va vakuum-nasos vositasida havo so'rib olinadi. Vakuum hosil qilingandan keyin, havoni so'rib olish uchun yuqori darajada vakuum yaratadigan busterli nasos ishga tushiriladi. Talab darajasidagi vakuum olingach, tigeli qizdira boshlanadi.

Vakuumda suyuqlantirilganda qotishma, imkon boricha, 1600 °C dan yuqori o'ta qizdirilmasligi kerak, chunki, aks holda, metall bilan olovbardosh materialning o'zaro ta'sirlashish reaksiyasi kuchayadi, bu esa qotishmaning qaytadan qaynashida namoyon bo'ladi.

Shixta to'la suyuqlangandan va suyuqlanma 1580–1600 °C temperaturagacha o'ta qizdirilgandan keyin oksidsizlantirish uchun dozatordan uglerod beriladi, shundan keyin suyuqlanmaning temperaturasi 1380–1400 °C gacha pasaytiriladi va dozatordan aluminiy qo'shiladi. Oxirida mishmetall tarkibida bo'ladigan seriy va ligatura ko'rinishidagi bor kiritiladi. So'ngra metall 1480–1500 °C gacha qizdiriladi va metall qoliplarga quyiladi.

5.16. Titan qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Titan va uning qotishmalarini suyuqlantirish qator o'ziga xos xususiyatlarga ega. Qizdirganda titan turli muhitlarga nisbatan yuqori darajada aktivlik ko'rsatadi, kislorod, azot va vodorod bilan o'zaro aktiv ta'sirlashadi. Kislorod bilan o'zaro ta'sirlashib, u TiO , TiO_2 , Ti_2O_3 oksidlar hosil qiladi. Titan kislorod bilan kristallizatsiyalanganda qator qattiq eritmalar hosil bo'ladi, chunki kislorod α -fazani stabillashtiradi. Azot titan bilan birikib, kirishma eritmalarini hosil qiladi va shuningdek, eritmani mustahkamlab α -fazani stabillashtiradi. Kislorod va azotning titanda erishi qaytmas jarayon hisoblanadi. Vodorod titanda erib, TiH_2 titan gidridlarini hosil qiladi, gidridlar esa elastiklikni keskin pasaytiradi. Shu sababli, vodorod eng zararli aralashmalardan biri hisoblanadi.

Titan amalda ishlatiladigan barcha o'tga chidamli materiallar bilan o'zaro ta'sirlashadi. Bunda u oksidlarni qaytaradi va TiC turg'un karbidni hosil qiladigan uglerodni eritadi. Shuning uchun titanni suyuqlantirishda uni boshqa fazalar bilan o'zaro ta'sirlashish imkoniyatini to'la mustasno qilish zarur.

Suyuqlantirish texnologiyasi. Titan qotishmalari, asosan, elektrodi sarflanadigan va sarflanmaydigan vakuum yoyi pechlarida suyuqlantiriladi. Elektron-nur pechlari ham qo'llaniladi (58-rasmga q.) Sarflanmaydigan elektrodlar sifatida torirlangan volfram va elektrod grafiti sterjenlaridan foydalaniladi. Elektrodi sarflanmaydigan yoy pechida suyuqlantirishning kamchiligi — qotishmaning elektrod materiali bilan ifloslanishi va jarayonning metallning to'la degazatsiyalanishiga bog'liq holda uzoq davom etishidir. Shu sababli bu tipdagi pechlar kamdan-kam ishlatiladi.

Sarflanadigan elektrodni tayyorlash uchun dastlabki materiallar sifatida titan gubkasi, legirlovchi elementlar (sof holda va ligaturalar ko'rinishida) va titan qotishmalarining chiqindilari xizmat qiladi. Aluminiy, xrom, mis, marganes, vanadiy, sirkoniy, temir va kremniy sof holatda kiritiladi. Aluminiyli ligaturalar bian molibden va qalay kiritiladi. Ba'zan ligaturalar ko'rinishida xrom, vanadiy va temir kiritiladi (masalan, AXMK ligatura tarkibida 30–34% Mo, 23–27% Cr, 3–6% Fe, 2,5–4% Si va qolgani aluminiy bo'ladi).

Garnisaj pechidagi ish jarayonini ko'rib chiqamiz (47-
Pech yonidagi olingan qopqoq qo'yiladigan maxsus stendda
tutgichga sarflanadigan elektrod biriktiriladi. Qopqoq stend
bilan olinadi va vakuum kamerasiga o'rnatiladi. Bunda sarflan
elektrod tigel o'qi bo'ylab joylashtiriladi. Pechda vakuum ya
elektrod tutgich va tigelga o'zgarmas tok bilan ta'minlash ma
kuchlanish beriladi, elektrod qisqa tutashgunga qadar pastga
ladi va yoy razryadi uyg'otiladi. Kichik quvvatda elektrod
biroz qizdiriladi, so'ngra yoy quvvati ishchi parametrlar
ko'tariladi va elektrod eritiladi.

Suyuqlantirishda chiqindilardan (30% gacha) va xususan
chiqarishdan qaytarilgan metallardan (litnik sistemasi elem
hovuraklar, quymalar braki) foydalaniladi. Sinchiklab toza
chiqindilar tigel tagiga yuklanadi, so'ngra elektrod o'rnatiladi
germetizatsiya qilinadi va 1,33 Pa bosimgacha vakuum yar
Qizdirish past rejimlarda bajariladi. Suyuqlantirish 14–35
kuchida va 30–50 V kuchlanishda amalga oshiriladi. Avtomatik
60–80 mm yoy uzunligi saqlab turiladi. Suyuqlantirish jar
suyuqlanma solenoid yordamida aralashtiriladi. Qotishmani su
tirish tezligi 8–15 kg/min ni tashkil qiladi. Zarur bo'lgan
suyuqlantirilib olingandan keyin metall talab etilgan tempe
gacha o'ta qizdiriladi va vakuumda qoliplarga quyiladi.

Titan va uning qotishmalarini suyuqlantirish jarayonida ele
larning kuyishi sodir bo'ladi: 0,1–0,2% gacha Ti, 2,0–2,5%
Al va 10–15% gacha Mn. Ikkinchi qayta suyuqlantirishda
bo'ladigan barcha yo'qotishlar qotishma massasidan 0,3–0,4
tashkil qiladi.

Elektron-nur pechlarida (47- b rasm) titan chuqur vaku
(0,013 Pa) suyuqlantiriladi. Metallning suyuqlanishi elektronlar
energiyasining issiqlik energiyasiga o'tishi hisobiga amalga oshi
Katodi volfram yoki tantalidan tayyorlangan, 2000–2500 °C
qizdirilgan elektron pushka elektronlar manbayi bo'lib xizmat
Elektronlar oqimi magnit linzalari yordamida to'planadi va yo
riladi. Bu tipdagi suyuqlantirish qurilmalari suyuqlanmani talab
temperaturagacha qizdirishga va shu temperaturada saqlab tur
imkon beradi. Lekin chuqur vakuum yaratish zarurligi va suyuqlan
jarayonida ba'zi bir oson eriydigan elementlarning jadal bug'lan
titanni suyuqlantirish uchun elektron-nur pechlarining qo'llanilish
cheklaydi.

Titan va uning qotishmalarini suyuqlantirishda portlash xavfi
ta'minlash uchun alohida ehtiyot choralarini ko'rish talab qilin
Suyuqlantirish qurilmalarini ularni vakuum nasoslaridan ajratib
qo'yadigan va sovitish uchun beriladigan suv miqdorini kamaytirish
chi, tez ishlaydigan avtomatik sistema bilan ta'minlash zarur. Pech
masofadan boshqariladigan maxsus kameralarda joylashtirish lozim

4.17. Qiyin eriydigan metallar asosida tayyorlanadigan qotishmalarni suyuqlantirish

Qiyin eriydigan metallar jumlasiga xrom, vanadiy, niobiy, molibden, tantal, volfram va boshqa metallar kiradi. Metallarning bu guruhiga ta'biy yuqori suyuqlanish temperaturasi ($1860-3400^{\circ}\text{C}$) bilan taqqoslanganda, balki suyuqlantirilgan holatda kislorod, vodorod, azot, uglerod va boshqa gazlar bilan o'zaro ta'sirlashganda katta kimyoviy o'zgarishlar yuz berishi bilan ham xarakterlanadi. Shu sababli qiyin eriydigan metallar va ularning qotishmalari vakuumda yoki neytral gaz muhitida suyuqlantiriladi.

Suyuqlantirish uchun vakuum-yoy, elektron-nur va plazma usullaridan (47- rasimga q.) foydalaniladi. Suyuqlanmaning metallmas qotishmalar bilan biroz ifloslanishiga yo'l qo'yiladigan hollardagina vakuum pechlardan foydalaniladi. Tigellarni tayyorlash uchun o'tga chidamli materiallar sifatida sirkoniy ikki oksidi, yuqori eritiladigan o'tga chidamli materiallar va aluminiy oksididan foydalaniladi.

Qiyin suyuqlanadigan metallar (niobiy, molibden, volfram)ni suyuqlantirishda ko'p umumiylik bor, lekin ular elektrodning suyuqlanish tezligi va sifatini yaxshi metall olish uchun zarur bo'ladigan suyuqlanish darajasi bilan tafovutlanadi. Vakuum-yoy va garnisaj tigelli elektron-nur pechlarida suyuqlantirish juda keng ko'lamda qo'llaniladi.

Shixta materiallari sifatida poroshok metallurgiyasi metodi bilan tayyorlanadigan shtabiklar (shtabik o'lchami $16 \times 18 \times 500$ mm) ishlatiladi. Sarflanadigan elektrod hosil qilish uchun shtabiklar $1,5-2,5$ m uzunlikdacha flus qatlami ostida uchma-uch qilib payvandlanadi, qattiqroq bilan tozalanadi hamda $4-12$ donadan (suyuqlantirish jarayonining quvvatiga qarab) paket qilib yig'iladi. Polosalar yoki bo'laklar shixta ko'rinishidagi legirlovchi elementlar sarflanadigan elektrodga qo'llaniladi. Qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish jarayoni titan qotishmalarini suyuqlantirish jarayoniga o'xshash bo'ladi.

Niobiy vakuumda, shuningdek, argon yoki geliy atmosferasida suyuqlantiriladi. Qotishma uglerod, seriy yoki ittriy vositasida oksidlanib qotiriladi. Molibden va uning qotishmalari shunga o'xshash usulda suyuqlantiriladi. Oksidsizlantirish uglerod yoki aluminiy vositasida bajariladi.

Qiyin suyuqlanadigan metallarni elektron-nur pechlarida suyuqlantirish eng istiqbolli suyuqlantirish usullaridan biridir. Bu usul vakuum yoy va induksion usullarga nisbatan afzalliklarga ega: elektron-nur yuqori darajada bir joyda to'plangan isitish energiyasini olishga, suyuqlantirish jarayonini keng chegarada boshqarishga, istalgan komponentdagi shixta komponentlarini ishlatish va qotishmaning tigel

materiali bilan ifloslanishiga yo'l qo'ymaslikka imkon beradi, shuningdek, kichik suyuqlantirish tezligi va chuqur vakuumda suyuqlantirish metallni o'ta qizdirishga imkon beradi.

Elektron-nur pechlarida suyuqlantirish niobiy, molibden va niobiy asosida tayyorlanadigan qotishmalar, shuningdek, boshqa metallar bilan qotishmalar olishga imkon beradi, chunki u suyuq vannada fizik va kimyoviy jarayonlarning o'tishi va qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish uchun qulay sharoitlar yaratadi. Bunda oksidsizlantirish uchun suyuqlantiriladigan elektrodlar tarkibiga kislorodga ancha yaqin bo'lgan sirkoniy yoki seriy qo'shiladi.

Elektron-nur pechlarida ko'p marotaba qayta suyuqlantiriladigan metall tarkibidagi zararli aralashmalar (kislorod, azot, vodorod va boshqalar metallmas qo'shilmalar) miqdorini sezilarli darajada kamaytirish imkon beradi, bu esa metall sifatini ancha yaxshilaydi.

Qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish uchun elektron-nur pechlari ham ishlatiladi.

QUYMA QOTISHMALARGA SUYUQ HOLATDA ISHLOV BERISH

6.1. Tozalash

Tozalash jarayonlarining fizik-kimyoviy asoslari. Tozalashning termodinamik shart-sharoiti — aralashmani chiqarib yuborish reaksiyasining ΔG ning yuqori darajada manfiy qiymatga ega bo'lishidir:

$$[E_i] \rightarrow (E_i), \{E_i\}.$$

Ushbu jarayon mexanizmi tozalash usuliga bog'liq bo'ladi. Masalan, umumiy bosimni pasaytirib vakuumlashda gazlarni eruvchanligi kamayadi va ular suyuqlanmadan ajralib chiqa boshlaydi. Ya'ni tozalash usul mohiyatining negizida va uning termodinamik xarakteristikasiga bog'liq. Masalan, desulfuratsiya shunga asoslanganki, desulfuratsiya reaksiyasining natijasida hosil bo'ladigan kalsiy sulfidi toza sulfidlardan eng kichik ΔG qiymatga ega bo'ladi.

Tozalash kinetikasi ham uning mexanizmiga uzviy bog'langan va tozalash qaysi usulda bajarilishiga bog'liq. Bir-biridan prinsip jihatdan farqlanadigan ikkita jarayon mavjud. 70- rasmda ichida V hajmni tozalaydigan va M_0 massaga ega bo'lgan tozalanadigan qotishma bo'lgan muayyan sig'imda amalga oshiriladigan jarayon sxemasi ko'rsatilgan. Tozalash Ω yuza orqali amalga oshiriladi. Oqimdagi tozalashmalar massasi Fik qonuni bo'yicha aniqlanadi:

$$-\frac{dM_{i(\tau)}\omega^2}{d\tau} = -k \cdot \Omega (K_i - K_i^\omega), \quad (6.1)$$

$$\frac{dI_{i(\tau)}}{d\tau} = -\beta \cdot \Omega (C_i - C_i^\omega), \quad (6.2)$$

bu yerda: $M_{i(\tau)}$ — τ vaqt ichida chiqarib yuborilgan i - komponent massasi, kg; k — massa uzatish koeffitsiyenti, kg/s · m² · %; K_i va K_i^ω — hajmda va ajralish sirtida i - aralashma konsentratsiyasi, massadan hisobida; Ω — ajralish sirti yuzasi, m²; I_i — vaqt τ_0 ichida chiqarib yuborilgan i - komponent moddolari miqdori, mol; β — massa uzatish koeffitsiyenti; C_i va C_i^ω — i - komponent konsentratsiyasi, mol/m³.

Tozalash jarayonining bunday tipi *kinetik tip* deb atalgan.

Amaliy hisoblashlar uchun (6.1) va (6.2) ifodalarni $\left(1 - \frac{C^0}{C}\right)$ deb qabul qilib, soddalashtirish mumkin. U holda:

$$\frac{dI_{i(\tau)}}{d\tau} = -\beta^e \cdot \Omega \cdot C_i.$$

$V = \text{const}$ da $0 - \tau_i$ va $C_i^0 - C_i$ chegaralarida integrallaganda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C_i = C_i^0 \exp\left(\beta^e \frac{\Omega}{V} \tau_i\right),$$

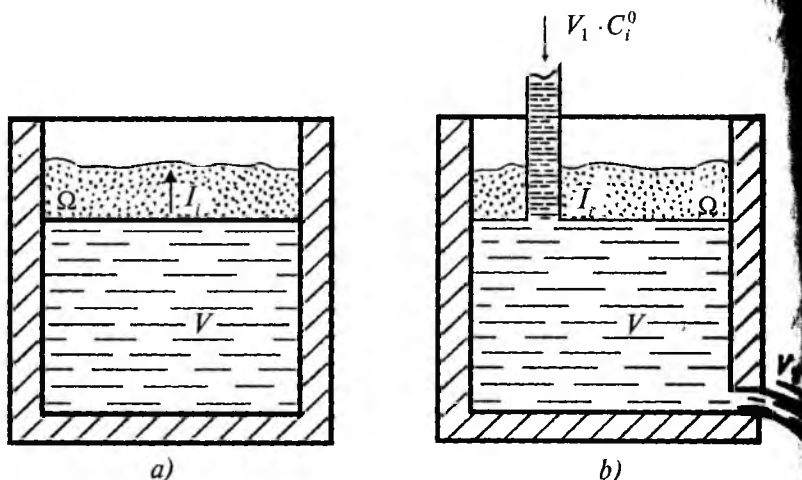
bu yerda: τ_i — tozalash vaqti, s; C_i^0 — i - komponentning boshlang'ich konsentratsiyasi, %.

Oqim massasini kg/s da ifodalab $\left(M_i = \frac{M_{i(\tau)}}{\tau}\right)$, quyidagicha bo'lamiz:

$$\frac{dM_{i(\tau)}}{d\tau} = -k^v \cdot \Omega \cdot K_i,$$

$$K_i = K_i^0 \exp\left(k^v \frac{\Omega}{M_0} \cdot \tau_i\right),$$

ya'ni tuyulma massa uzatish koeffitsiyenti k^v ga ega soddalashtirilgan ifoda.



70- rasm. Kinetik (a) va kvazimuvozanat (b) tozalash sxemalari.

tozalash jarayonining ikkinchi tipi (70- b rasm) *kvazimuvozanat* bo'lgan [31]. U uzluksiz amalga oshiriladi, ya'ni metall uzluksiz sig'imiga – reaktorga tushib, o'zi bilan v_1 tezlikda C_i^0 aralash- solimini olib kiradi va aralashmaning C_i qoldiq miqdorini olib, qayta undan uzluksiz chiqib ketadi.

U holda:

$$\frac{dI_i(\tau)}{d\tau} = v_1 \cdot C_i^0 - v_2 \cdot C_i - \beta \cdot \Omega \cdot (C_i - C_i^{\infty}). \quad (6.7)$$

Tozalashning bunday tipi barcha qayta suyuqlantirish jarayonlari uchun xarakterlidir. Bunda, odatda, $v_1 = v_2 = v$. Demak,

$$\frac{dI_i(\tau)}{d\tau} = v(C_i^0 - C_i) - \beta^e \Omega C_i. \quad (6.8)$$

Agar jarayon boshlanishida reaktor tarkibida i - komponent bo'lmagan deb qabul qilinsa (masalan, jarayon bo'sh sig'imda qayta suyuqlantirishdan boshlangan) va (6.8) tenglama integrallansa, quyidagiga erishiladi:

$$\frac{C_i}{C_i^0} = 1 + \frac{\beta^e \Omega}{v}. \quad (6.9)$$

v/Ω nisbat solishtirma unumdorlik, ya'ni reaksiya sodir bo'ladigan sirt yuzasi P ga to'g'ri keladigan unumdorlik deb ataladi. Bunda

$$C_i = \frac{C_0}{1 + \frac{\beta^e}{P}}. \quad (6.10)$$

Shunday qilib, kvazimuvozanat jarayonining tozalash qobiliyati uning solishtirma unumdorligiga bog'liq. Binobarin, Ω va v larning qiymati C_i ning talab etiladigan qoldiq darajasiga bog'liq bo'ladi. Kinetik usulda tozalashda talab etiladigan C_i qiymatga τ_i va Ω larni bog'laytib erishiladi.

Tozalash usuli ko'rib o'tilayotgan jarayonning imkoniyatlarini termodinamik analiz qilish, uning mexanizmini analiz qilish va uning parametrlarini kinetika jihatidan aniqlash asosida tanlanadi.

Tozalash sirtida sodir bo'ladigan hodisalarga sezilarli darajada bog'liq. Unga sirtiy aktiv moddalar, ya'ni fazalarning ajralish yuzasida to'planishga va uning erkin energiyasini pasaytirishga qobil bo'lgan moddalar jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Bunda yuzada to'plangan moddalar hajmda to'plangan moddalardan ancha farq qilishi mumkin:

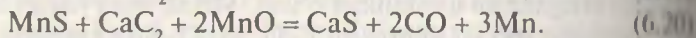
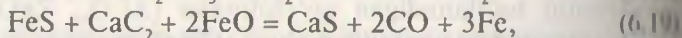
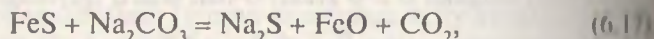
$$N_i^{\infty} = N_i + \omega \cdot \Gamma_i. \quad (6.11)$$

bu yerda, Γ_i – adsorbsiyalangan modda miqdori (2.43 formulaga q.);

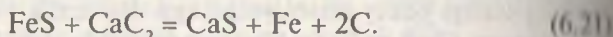
N_i^{∞} va N_i – yuza va hajmdagi i - komponentning mol ulushi;

ω – 1 molga to'g'ri keladigan sirt yuzasi, m^2/mol .

tozalash usuli kam qo'llaniladi, chunki uning tarkibida geterogen fazalar miqdori ancha bo'ladi va uni tozalash zaruriyati tarkibida oltingugurt kam bo'lgan maxsus cho'yanlarni olishdagina vujudga keladi. Bunday holda cho'yan odatdagi kovshda yoki maxsus qurilmalarda (71- rasm) ishlanadi. Tozalash operatsiyasi aralashtirilayotgan cho'yanga turli qo'shimchalar kiritib amalga oshiriladi. Qo'shimchalar sifatida soda va kalsiy karbididan foydalaniladi. Oltingugurt quyidagi reaksiyalar bo'yicha chiqarib yuboriladi:



Lekin shuni hisobga olish kerakki, kalsiy karbidini kiritishda cho'yan uglerodlanishi mumkin:

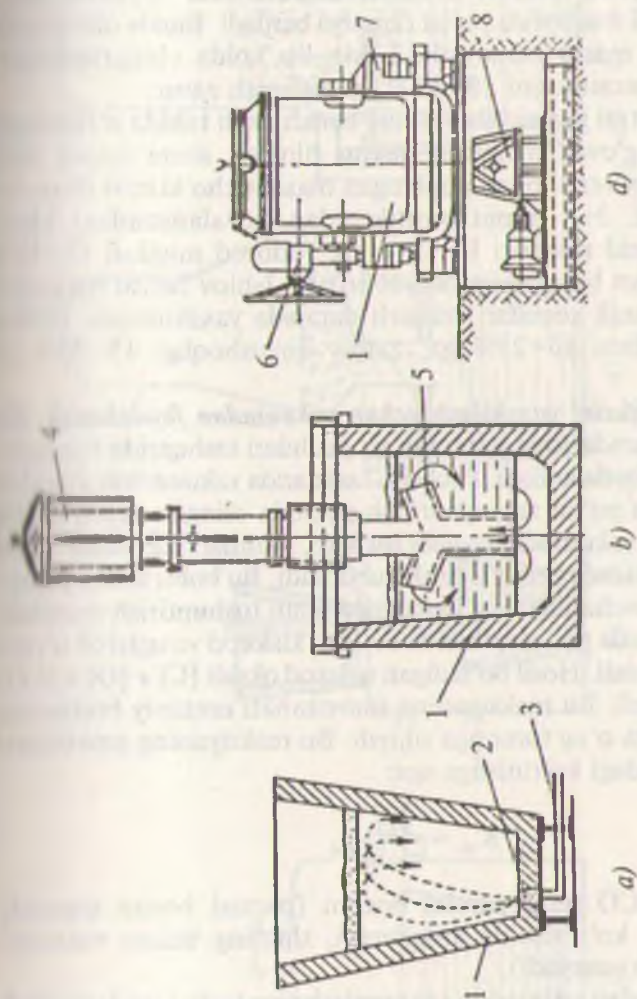


Chet el firmalarining tajribasi shuni ko'rsatadiki [17], cho'yan kovshda tozalanganda (71- a rasm) uning tarkibidagi oltingugurt 0,1% dan 0,005% gacha kamaytirish mumkin. 3 min davomida tozalash sharsimon grafitli juda puxta cho'yan olish maqsadida keyinchalik modifikatorlar bilan ishlov berish uchun yetarli bo'ladigan darajagacha oltingugurt miqdorini kamaytirishga imkon beradi.

Metallmas qo'shimchalarning miqdori va tuzilishi po'latning sifatiga jiddiy ta'sir qiladi, shuning uchun pechdan tashqarida tozalash uning sifatiga ta'sir qilishga imkon beradi [5, 18, 45].

Suyuqlantirib olinayotgan po'latlar sortamenti va foydalaniladigan asbob-uskunalariga qarab: po'latga suyuq oq yoki sintetik shlaklar, fluslar poroshogining aralashmalari bilan, shuningdek, neytral gazlar yordamida tozalab, injektor vositasida poroshok kiritib tozalab, vakuumlash hamda kovshda ishlov berish turlarini vakuumlash bilan birgalikda bajarib, suspensiyani quyib kompleks yoki alohida-alohida ishlov berish amalga oshiriladi.

Elektr pechlarda asosiligi 2,5 dan ortiq va tarkibida 1% gacha FeO bo'lgan (FeO kuchli desulfuratsiyalovchi reagent hisoblanadi) oq shlaklardan foydalaniladi. Po'lat bu shlaklar ostida saqlab turilganda diffuziya jarayonlari suyuqlantirib olingan po'latni kovshga chiqarish vaqtida uning shlak bilan tez siljishi hisobiga tezlashtirilishi mumkin. Avval unga shlakning katta qismi quyiladi, so'ngra esa balandlikdan kuchli po'lat oqimi beriladi. Bunda shlak po'latning butun massasi bilan o'zaro ta'sirlashadigan tomchi ko'rinishidagi emulsiyaga aylanadi va oltingugurt hamda kislorod miqdori 2-3 marta kamayadi [45]. Sintetik suyuq shlak alohida agregatda tayyorlanadi. Optimal ishlov berish sharoitlari uchun shlak miqdori metall massasidan 3-5% ni



71 - rasm. Cho'yanni kovshda tozalash uchun qurilma:

a - havo oqimi bilan tozalanadi; b - kovshda qorgich bilan aralashtiriladi;

d' - buriladigan kovshda aylanuvchi mexanizm bilan aralashtiriladi;

1 - kovsh, 2 - g'ovak tiqin, 3 - azot yoki boshqa gazni uzatish, 4 - qorgich uzatmasi, 5 - naysimon qorgich,

6 - burish uzatmasi, 7 - aylanuvchi mexanizm, 8 - uzatma.

tashkil qiladi, shlakning tarkibi 60% CaO va 40% Al_2O_3 , suyuqlanish temperaturasi $1410^\circ C$. Sintetik shlaklar bilan ishlangandan keyin kislorod miqdori 0,003% gacha, oltingugurt esa 0,005–0,01% gacha kamayadi [40].

Ishlov berish uchun yangi so'ndirilgan ohak (80%) va plavik shpati (20%) poroshoklari aralashmasidan ham foydalaniladi. Aralashma 2–3% miqdorida po'lat oqimiga beriladi. Bunda oltingugurt miqdori 1,5–2 marta kamayadi. Lekin bu holda chiqarilayotgan po'latning temperaturasini $20-30^\circ C$ ga oshirish zarur.

Po'latga neytral gazlar bilan ishlov berish pech tubida o'rnatilgan o'tga chidamli g'ovak magnezit quyma-bloklar, soxta stopor yoki o'tga chidamli material bilan qoplangan maxsus cho'ktirma furnalar orqali bajariladi. 3–7 minut quritilgandan (tozalangandan) keyin tarkibdagi kislorod miqdori 10–20% ga, vodorod miqdori 15–30% ga kamayadi, azot biroz chiqarib yuboriladi. Ishlov berish natijasida po'latning mexanik xossalari sezilarli darajada yaxshilanadi. Nisbiy uzayish va siqilishi 10–25% ga, zarbiy qovushoqligi 15–30% ga ortadi [45].

Po'latning sifatini yaxshilash uchun vakuumdan foydalanish. Bu maqsadda vakuumda suyuqlantirish va pechdan tashqarida vakuumlash usullaridan foydalaniladi. Pechdan tashqarida vakuumlash shundan iboratki, istalgan po'lat suyuqlantirish pechida olingan suyuq po'lat quyish oldidan vakuumda saqlab turiladi, buning natijasida unda erigan vodorod hamda azot chiqarib yuboriladi. Bu holni bosim pasayganda gazlar eruvchanligining kamayishi bilan tushuntirish mumkin. Bunday sharoitlarda po'lat tarkibida bo'lgan kislorod va uglerod o'zaro to'laroq ta'sirlashadi. Hosil bo'ladigan uglerod oksidi $[C] + [O] = (CO)$ gaz fazasiga o'tadi. Bu reaksiyaning muvozanati umumiy bosimning pasayishi hisobiga o'ng tomonga siljiydi. Bu reaksiyaning muvozanat konstantasi quyidagi ko'rinishga ega:

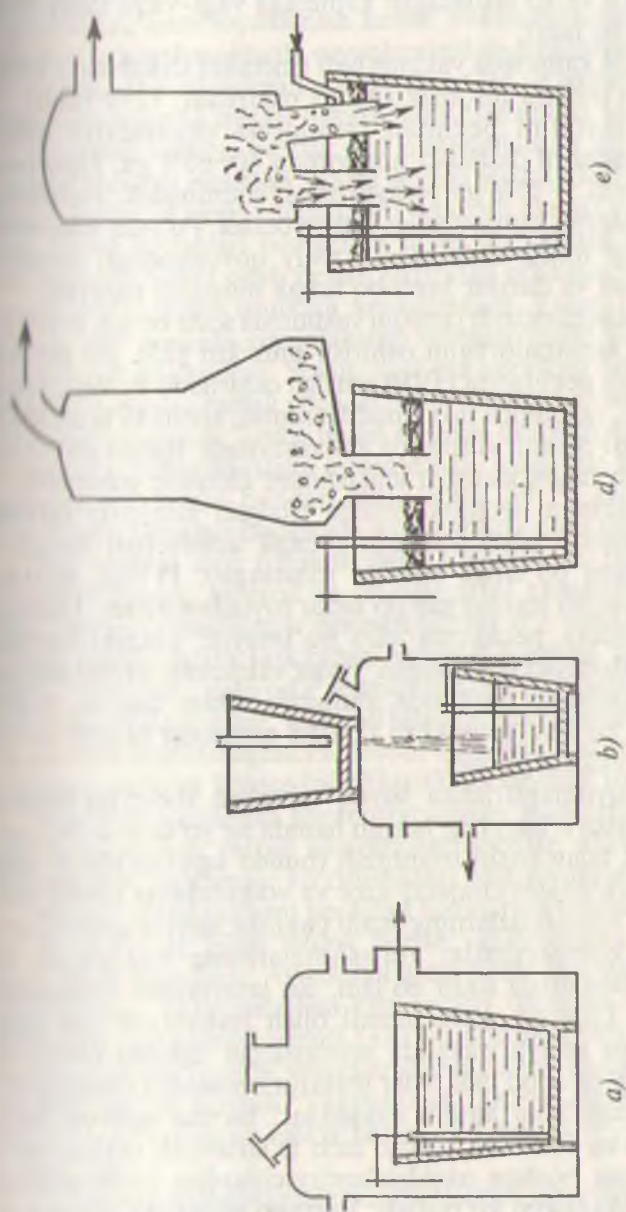
$$K_m = \frac{p_{CO}}{a_C \cdot a_O},$$

bu yerda: p_{CO} — CO ning parsial bosimi (parsial bosim umumiy bosimdan ulush ko'rinishida aniqlanadi, shuning uchun vakuumlashda p_{CO} keskin pasayadi).

Po'latni pechdan tashqarida vakuumlashning to'rtta usuli mavjud:

1) maxsus kamerada kovshda (po'latli kovsh kameraga joylashtiriladi, u germetik bektiladi va unda vakuum yaratiladi, 72- a rasmi);

2) metallni kovshdan kovshga quyishda (bo'sh kovsh kamerada o'rnatiladi, u yerda vakuum yaratiladi va saqlab turiladi, 72- b rasmi); metall to'kib bo'shatiladigan kovsh tegishli zichlanib, vakuum kamerasi ustida o'rnatiladi;



72- rasm. Po'latni pechdan tashqarida vakuumlash usullari:
a – kovshda (kamerada); *b* – kamerada kovshdan kovshga qayta quyishda;
d – parsial vakuumlash, *e* – sirkular kamerada vakuumlash.

3) po'latni parsial vakuumlash (metall kichik porsiyalar bilan vakuum kamerasi orqali o'tkaziladi, 72- d rasm; vakuumlash po'latni pastga tushadigan va ko'tariladigan kameraga vaqt-vaqti bilan olish natijasida sodir bo'ladi);

4) sirkulatsion kamerada vakuumlash (metallni sirkulatsiya qilish neytral gaz bilan puflash hisobiga amalga oshiriladi, 72- e rasm).

Vakuumba metallni pechdan tashqarida degazatsiya qilish vodorodning miqdorini dastlabki miqdordan 40–60% ga, kislorodni 50–70% ga, azotni 5–10% ga pasaytirishga, shuningdek, metallmas qo'shimchalar miqdorini kamaytirishga imkon beradi. Po'latni vakuumba ishlash natijasida uning elastikligi, zarbiy qovushoqligi, sovuqqa chidamliligi ortadi va darzlar hosil bo'lishga moyilligi pasayadi.

Agar barcha suyuqlantirish jarayoni vakuumba sodir bo'lsa, vakuumba ishlov berish samaradorligini oshirish mumkin [25]. Bu jarayon induksion vakuum pechlarida (IVP) amalga oshiriladi. Po'lat chuqur degazatsiyalanadi, vakuumba uzoq muddat saqlab, ancha to'la oksidsizlantiriladi va elektr magnit vositasida aralashtiriladi. Bunda po'latdan yengil uchuvchan rangli metallar aralashmasi chiqarib yuboriladi.

Induksion vakuum pechida amalda istalgan kimyoviy tarkibli po'latni suyuqlantirib olish mumkin (yengil uchuvchan metallari bo'lgan legirlangan po'latlar bundan mustasno). IVPda, odatda, olovbardosh va yuqori legirlangan po'latlar suyuqlantiriladi. Ulardan ba'zi birlarini oddiy pechlarda olib bo'lmaydi, chunki havoda suyuqlantirish imkoniyati cheklangan. Faqat vakuumba suyuqlantirish usuli qo'llanilgandagina tarkibida aluminiy, titan, bor va shular kabi elementlari bo'lgan murakkab tarkibli qotishma hamda po'lat ishlab chiqarish imkoni bo'ladi.

Vakuumba suyuqlantirishda suyuq metallda sodir bo'ladigan jarayon bir-biri bilan o'zaro bog'langan hamda bir yo'la sodir bo'ladi. Metallni uglerod bilan oksidsizlantirish (bunda uglerod oksidi yoki uglerod ikki oksidi ajralib chiqadi) azot va vodorodning ajralib chiqishi, metallmas aralashmalarining suzib chiqishi hamda qaytarilishi, tez uchuvchan komponentlar aralashmalarining bug'lanishi va hokazolar bilan birgalikda sodir bo'ladi. Bu jarayondan foydalanilganda tarkibida kislorodi kam metall olish imkoniyati tug'iladi. Oksidsizlantirishda qariyb metallda erimaydigan uglerod oksidi va uglerod ikki oksidi hosil bo'ladi. Ular reaksiya zonasidan chiqib ketadilar va suyuq metalldan ajralib chiqadilar, bu esa uglerod bilan oksidsizlantirishning kislorod bilan o'zaro ta'sirlashish mahsulotlari metallda qoladigan boshqa oksidsizlantirgichlardan foydalanishga qaraganda afzal ekanligini ko'rsatadi. Vakuum qanchalik chuqur va CO bosim qanchalik past bo'lsa, uglerodning oksidsizlantirish qobiliyati shunchalik yuqori hamda uglerodning berilgan konsentratsiyasi bilan shunchalik oz miqdordagi kislorod muvozanatda bo'lishi kerak.

Lekin oksidsizlantirgich sifatida bitta uglerodning ishlatilishi po'latning, ayniqsa kam uglerodli po'latning to'la oksidsizlanishini ta'minlamaydi. Chuqur oksidsizlantirish uchun metall oksidsizlantirgichlardan ham foydalanish kerak. Vakuumdagi oksidsizlantirishda odatdagi ochiq sharoitlarda suyuqlantirishdagi oksidsizlantirishga qaraganda (bunda kiritiladigan elementlar shlak va oksidlovchi atmosfera bilan oksidlanadi) metall oksidsizlantirgichlar ancha kam talab etiladi.

Legirlash uchun, odatda, sof materiallardan foydalaniladi. Agar ferroqotishmalar ishlatilsa, ularni pechga yuklashdan oldin adsorbsiyalangan gazlar va namlikni chiqarib yuborish hamda vannaga materialning sovuq bo'laklari tushganda suyuq metallning qattiq chayqalib sepilishining oldini olish uchun yaxshilab qizdiriladi. Yirik IVPlarda suyuq holda quyish usulidan foydalaniladi. Yarim (chala) mahsulot sifatida yoy pechida suyuqlantirib olingan yarim oksidsizlantirilgan po'latdan foydalaniladi. Sovuq tigel gaz gorelkasi bilan 700 °C gacha qizdiriladi. Suyuq metall pech ichida o'rnatilgan maxsus quyish trubasi yordamida quyiladi. Truba po'lat oqimini bevosita tigelga yo'naltiradi va metall siyraklashtirilgan atmosferaga tushganda uning sachrashini kamaytiradi; bosim bundan oldin 300–330 Pa gacha pasaytiriladi. Suyuq metall yuklab ishlaganda suyuqlantirib olish vaqti qisqaradi [25].

Eng muhim davr tozalash davri hisoblanadi. Bu davr metalldan eriydigan gazlar, uglerod va oltingugurtni chiqarib yuborish uchun zarur bo'lgan texnologik operatsiyalarni o'z ichiga oladi. Bu davr ichida metall shixta tarkibidagi uglerod hisobiga ham, shuningdek, grafit, cho'yan, uglerodli ferroqotishmalar hisobiga ham uglerod bilan oksidsizlantiriladi. Uglerod bilan oksidsizlantirishda saqlab turish vanna to'la tinchimaguncha davom ettiriladi. Vakuumlash metalldan vodorod, azot va kislorodni chiqarib yuborishga yordam beradi.

Metalldagi kislorod konsentratsiyasini pasaytirish uchun yakunlovchi bosqichda metall oksidsizlantirgichlar: aluminiy seriy bilan, shuningdek, ligaturalar ko'rinishidagi kalsiy yoki magniy ishlatiladi.

Rangli qotishmalarni pechdan tashqarida tozalash kovshda xlorli va storli tuzlar bilan ishlov berish, vakuumlash hamda filtrlash yo'li bilan bajariladi. Ayrim hollarda elektr flus yordamida tozalash qo'llaniladi. Vakuumlashda eng yuqori darajada degazatsiyalashga erishiladi. Vakuumdagi metall 1330 Pa bosimda 10–30 min davomida saqlab turiladi; bunda suyuqlanmaning temperaturasi 720–740 °C atrofida saqlab turiladi. Vakuumlash qizdirmasdan olib boriladigan hollarda suyuqlanma ishlov berish oldidan 760–780 °C gacha o'ta qizdiriladi.

Aluminiy suyuqlanmalarini metallmas qo'shilmalardan tozalash uchun to'r, donador va g'ovak keramik filtrlar orqali filtrlash, shuningdek, elektr flus yordamida tozalash qo'llaniladi. To'r filtrlar suyuqlanmalarni yirik qo'shilmalar hamda pardalardan tozalash uchun

keng ko'lamda qo'llaniladi. Ular o'lchami to'r katagidan katta qo'shilmalarni ajratadi. To'r filtrlarni tayyorlash uchun katagidagi o'lchamlari $0,5 \times 0,5$ dan $1,5 \times 1,5$ mm gacha bo'lgan shisha matodan va titandan tayyorlangan metall to'rdan foydalaniladi. Shisha matodan tayyorlangan filtrlar litnik kanallarida o'rnatiladi: ularning ishlatilishi yirik metallmas qo'shilmalar va pardalarni 1,5–2 marta kamaytirishga imkon beradi, lekin ular dispers qo'shilmalar hamda vodorod miqdoriga ta'sir qilmaydi. Donador filtrlar yordamida tozalash ancha sezilarli natija beradi, chunki ular metallga tegib turadigan yuzasining kattaligi hamda o'zgaruvchan kesimli, uzun ingichka kanallarga ega ekanligi bilan farqlanadi.

Aluminiy suyuqlanmalarini pardalar va yirik qo'shilmalardan eng samarali tozalash usullaridan biri — elektr flus yordamida tozalashdir. Bu jarayonning mohiyati shundan iboratki, suyuqlanmaning ingichka oqimlarini suyuq flus qatlami orqali bir yo'la metallni qoplab o'tkazilganda va o'zgarmas hamda o'zgaruvchan tok maydonining flusi qo'shilmalarni flus bilan adsorbsiyalanishi uchun qulay sharoitlar yaratishidan iborat. Buning natijasida metall bilan chegaradosh zonada fazalararo taranglik pasayadi [23].

6.2. Legirlash

Temir-uglerodli qotishmalarni legirlash. Temir-uglerodli qotishmalar uchun legirlovchi elementlar sifatida Cr, Ni, Mo, W, V, Ti, Al, Nb, Co, Cu va boshqa elementlar, shuningdek, odatdagi miqdorga qaraganda orttirilgan miqdorda Mn va Si ishlatiladi.

Legirlangan po'latlarni suyuqlantirish jarayonini to'g'ri olib borish uchun suyuq temirda elementlarning erish darajasini va ularning suyuqlanma xossalariga ta'sirini bilish zarur. 35-jadvalda po'lat suyuqlantirish jarayonlari temperaturasida ($1400\text{--}1550\text{ }^{\circ}\text{C}$) suyuq temirda turli elementlarning eruvchanligi xarakteristikasi haqidagi ma'lumotlar keltirilgan [24, 26].

Suyuq po'latda eriydigan legirlovchi elementlar uning qotgan holatdagi xossalarigagina ta'sir qilib qolmasdan, balki suyuq suyuqlanmaning xossalarini (termodinamik xarakteristikalarini, likvidus–solidus temperaturasini, quyilish xossalarini va boshq.) ham o'zgartiradi. Legirlovchi elementlarning o'zi esa suyuqlanmaga kirib, o'zining individual xossalarini yo'qotadi.

Turli legirlovchi elementlar ularning konsentratsiyasiga, atom massasiga hamda qotayotganida yoki suyuqlanayotganida suyuq va qattiq fazalar orasida taqsimlanishiga qarab po'latning suyuqlanish temperaturasini ma'lum darajada pasaytiradi. Legirlangan po'latlarni suyuqlantirish vaqtida ayrim hollarda aralashganda ajraladigan ozgina issiqlik effektini (masalan, marganesni temir bilan aralashtirganda)

**Po'lat suyuqlantirish jarayonlari temperaturalarida
elementlarning suyuq temirda eruvchanligi**

To'la	Qisman	Erimaydi	Gazsimon holatda bo'ladi (eruvchanligi noma'lum)
Aluminiy*		Qo'rg'oshin	Natriy
Mis		Kumush	Litiy
Marganes	Molibden**	Vismut	Magniy
Nikel	Volfram**		Kalsiy
Krom*	Bor		Rux
Kremniy*			Kadmiy
Norma*	Uglerod*		Qo'rg'oshin
Titan*	Oltingugurt*		
Beriy*	Fosfor*		
Beilliy*	Kislorod		
Qalay*	Azot*		
Vanadiy	Vodorod		
Sirkoni*	Mishyak*		

* Temir bilan kimyoviy birikma hosil qiladi.

** Ancha yuqori temperaturalardagi to'la aralashuvchanlik.

hisobga olmasa ham bo'ladi, boshqa hollarda (masalan, suyuqlantirilgan temirga kremniy qo'shganda) uni hisobga olish lozim, chunki juda ko'p miqdorda issiqlik ajraladi.

Ba'zi bir legirlovchi elementlar boshqa elementlar yoki aralashmalar bilan o'zaro ta'sirlashadi. Masalan, suyuq suyuqlanmadagi titan, aluminiy va ba'zi boshqa elementlar kislorod, azot, oltingugurt va boshqalar bilan o'zaro ta'sirlashadi. O'zaro ta'sirlashmaydigan elementlariga legirlovchi ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli legirlangan po'latlarni suyuqlantirib olishda suyuqlanmada sodir bo'ladigan fizik-kimyoviy jarayonlarni termodinamik baholash ayniqsa muhimdir. Suyuqlanmaga ko'pchilik legirlovchi qo'shimchalar qotishmalar kiritilishida kiritiladi, buni issiqlik effektini hisobga olishda nazarda tutish lozim. Suyuqlanmaga ko'p miqdorda kremniy yoki ferrosilitsiy kiritilganda suyuqlanma ancha issiqlik yo'qotishiga qaramasdan (atrofdagi muhitga, futerovka orqali va h.k.), uning temperaturasi sezilarli darajada ortishini hisobga olish lozim. Legirlovchi qo'shimchalarning yo'qotilishi suyuqlantirish sharoitlariga bog'liq. Po'lat vakuumda suyuqlantirilganda elementlar oksidlanmaydi, lekin natijadan oson bug'lanadigan elementlar miqdori (marganes, qo'rg'oshin va rux kabi elementlar) kamayishi mumkin. Himoya inert gazi

muhitida qayta suyuqlantirganda po'latda legirlovchi elementlarning asosiy qismi saqlanib qoladi, lekin ularning qandaydir miqdori bug'lanish natijasida baribir yo'qoladi.

Rangli qotishmalarni legirlash. Aluminiy qotishmalarida asosiy legirlovchi elementlar sifatida Mg, Cu, Si va boshqalar, magniy qotishmalarida Sn, Al, Zn, Ni va boshqalar, mis qotishmalarida Zn, Sn, Sb, Al, Ti, Si, Be va boshqalar ishlatiladi. Rangli qotishmalarni legirlash suyuqlantirishda asosiy operatsiyalardan biri hisoblanadi va tarkibi maxsus tanlangan ligaturalar yordamida yoki tayyor ligaturalardan foydalanib bajariladi. Quymakorlikda rangli qotishmalarda sof komponentlar bilan kamdan kam legirlanadi; ko'pincha, ligaturalar yoki legirlovchi elementlar quyma qotishmalarni tayyorlash jarayonida kiritiladi. Bu qotishmalarning tarkibida asosiy komponentlar ham, legirlovchi komponentlar ham bundan oldin bo'lgan.

6.3. Modifikatsiyalash

Umumiy xarakteristikasi. Modifikatsiyalash deb, qotishmaning kristallanishi va strukturasi maxsus qo'shimchalar — modifikatorlar kiritib ta'sir etilishiga aytiladi. Modifikatsiyalash ortiqcha fazalarni dispers yoki koagulyatsiyalangan ajratmali mayda donador struktura (intermetallidlar, karbidlar, grafit va h.k.) olish maqsadida amalga oshiriladi. Modifikatsiyalovchi effektning namoyon bo'lishiga qarshilik ko'rsatadigan qo'shimchalar yoki aralashmalar *demodifikatorlar* deb ataladi.

Modifikatsiyalovchi qo'shimchalar ularning kristalik kurtaklarning hosil bo'lish jarayoniga fizik-kimyoviy ta'sir etish tabiatiga ko'ra I va II tur modifikatorlarga bo'linadi. I tur modifikatorlar jumlasiga suyuqlanmada kristallizatsiyalanish markazlari shakllanadigan va yuqori dispers qattiq zarrachalar hosil qiladigan moddalar kiradi. II tur modifikatorlar jumlasiga esa kristalik kurtak qirralarida tanlab adsorbsiyalanadigan hamda fazalararo sirt taranglikni va kristallarning o'sish xarakterini o'zgartiradigan eruvchan moddalar kiradi. Aluminiy qotishmalari uchun I tur modifikatorlar jumlasiga titan yoki vanadiy qo'shimchalari, po'lat uchun — aluminiy va titan qo'shimchalari kiradi.

Yangi qotishmalar uchun modifikatorlar ishlab chiqishda ko'pincha turli elementlarning oldindan ma'lum bo'lgan ta'sir etish qonuniyatlariga amal qilinadi. Masalan, I grupp elementlari (Li, Na, K, Pb, Cs) ning qo'shimchalari aluminiy qotishmalarining strukturasi; noyob-yer elementlariniki po'latning strukturasi; III grupp elementlari (Sc, Y, La) ning qo'shimchalari cho'yan strukturasi ijobiy ta'sir qiladi.

Eng maqsadga muvofiq'i — kompleks modifikatorlardan foydalaniladi. Bunda qo'shimcha yoki bir nechta qo'shimcha (tayyor metallar ko'rinishida) bir yo'la I va II tur modifikatorlar tipi bo'yicha qotishmaga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Kompleks modifikatorlar eng asosiy modifikator sifatida sanoatda keng qo'llaniladi (masalan, kulrang cho'yanlarni modifikatsiyalash uchun qo'llaniladigan Fe—Si—C ta'nosida Al, Ti, Ce va La qo'shib tayyorlangan modifikator).

Modifikatorlarni qotishmalar strukturasiga ta'sir qilish xususiyati modifikatsiyalashning texnologik sharoitlari va kiritiladigan modifikator miqdoriga bog'liq. Modifikatsiyalashda qotishmalar strukturasining o'zgarishi mexanik xossalar kompleksining o'zgarishiga olib keladi. Bunda metallning gazlar bilan ifloslanishi kamayadi va quyma zichligi oshadi. Modifikatsiyalash effektiga turli tashqi ta'sir metodlari bilan ham erishish mumkin: ultratovush yordamida ishlov berib, vibratsiya yordamida, elektr magnit maydonlari bilan ta'sir qilib va shunga o'xshashlar.

Cho'yanlarni modifikatsiyalash. Modifikatsiyalovchi qo'shimchalar sifatida Φ C75 ko'rinishida Si (kulrang cho'yan uchun), Mg, Ce va boshqa. (B χ uchun), Bi, B, Al, Te va boshq. (K χ uchun) dan keng foydalaniladi. Piroeffekt bermaydigan modifikatsiyalovchi qo'shimchalar cho'yan chiqarilayotganda suyuqlantirish pechining tarnoviga yoki kovshga kiritiladi.

Cho'yanga modifikatorlar kiritishning katta miqdordagi usullari ma'lum. Yakkalab va seriyalab ishlab chiqarishda kichik sig'imli kovshga modifikator metall bilan to'ldirish vaqtida dozatordan foydalanmasdan kiritiladi. Katta sig'imni to'ldirish uchun shu operatsiyaning o'zi bajariladi, lekin bunda dozatordan foydalaniladi. Modifikatorni vaganka korpusiga mahkamlangan dozator yordamida kiritish usuli mavjud. Modifikator kovsh to'ldirilayotgan vaqtda vagrankaning kovshiga kiritiladi. Bu usul, asosan, ko'plab va seriyalab ishlab chiqarishda mayda hamda o'rtacha kovshlar uchun qo'llaniladi.

Modifikatorni oraliq kovsh-eritgich orqali kiritish usuli ham ma'lum. Kovshga modifikator dozatordan yoki tebranib siltaydigan qanovdan keladi. Bu usul yakkalab yoki seriyalab ishlab chiqarishda katta sig'imli (1 t dan ortiq) kovshlar uchun qo'llaniladi. Modifikatorni metall yuzasining ostiga ham qalpoq yoki cho'ktirish uchun maxsus quyma yordamida kiritish mumkin. Bu usuldan, asosan, katta sig'imli kovshlarni bitta suyuqlantirib olingan metall bilan to'ldirish mumkin bo'lmagan hollarda foydalaniladi. Yakkalab ishlab chiqarishda yirik quymalar uchun va seriyalab ishlab chiqarishda mayda hamda o'rtacha quymalar uchun modifikator maxsus konstruksiyali litnik jomiga (litnik) yoki litnik sistemasidagi maxsus cho'ntakka kiritiladi. Qolipda modifikatsiyalash (inmold jarayon deb ataluvchi jarayon) tobora keng ko'lamda tarqalmoqda. Cho'yanni kovshda va litnik sistemasida kombinatsiyalangan tarzda modifikatsiyalash ham qo'llaniladi.

Donalarining o'lchami 0,2–1 mm bo'lgan maydalangan ferrosilitsiydan 1350–1410 °C quyish temperaturasida 0,1–0,3% miqdorda sarflash foydalanilganda optimal natijalarga erishiladi. Bunda quymalarni oqirtirish amalda bajarilmaydi, qattiqligi esa 197–218 HB ni tashkil etadi.

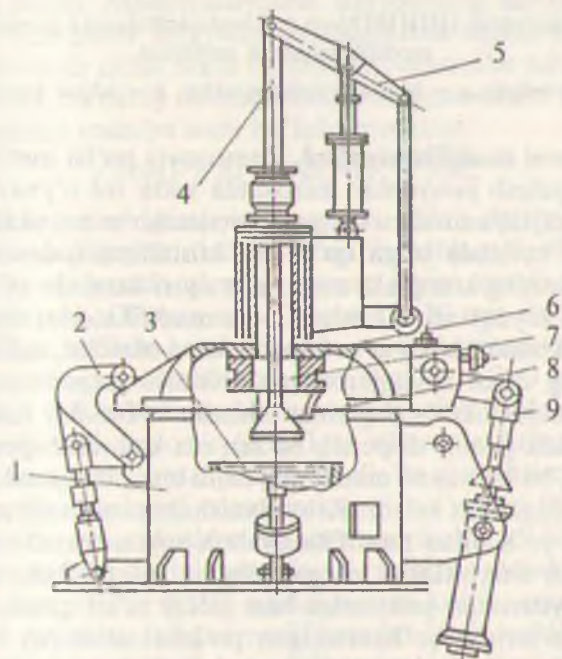
Kimyoviy tarkibi turlicha bo'lgan ikkita suyuq cho'yanni yoki cho'yanni suyuq po'lat bilan birga quyganda modifikatsiyalash o'xshash murakkab jarayonlar sodir bo'ladi, bu esa strukturaning maydalanishiga va mexanik xossalarning yaxshilanishiga yordam beradi. Ba'zan cho'yanga gazlar, uglevodorodlar va chang gaz aralashmalar bilan ishlov berish usuli qo'llaniladi. Bu maqsadda kislorod, azot, argon, karbonat ангидрид gazi va uglevodorodlar ishlatiladi. Gaz oqimga kukunsimon qo'shimchalar ham kiritilishi mumkin. Cho'yanga kislorod kiritib tozalash usulining qo'llanilishi uning kimyoviy tarkibi va xossalariга sezilarli ta'sir qiladi. Cho'yanni boshqa gazlar kiritib tozalashda uning tarkibidagi gaz miqdori o'zgaradi. Gaz miqdori, o'q navbatida, uning xossalariга ta'sir qiladi, chunki grafitizatsiyalanish jarayonining kuchayishi yoki bostirilishi sodir bo'lishi mumkin (kuchayish suyuqlanmadan vodorod va azotni chiqarib yuborishda, bostirish esa kristallizatsiyalanish markazlarining kaogulatsiyalanishida sodir bo'ladi). Suyuq cho'yanni gazlar bilan ishlash grafit qo'shimchalar shakliga va eutektiv dona o'lchamlariга ham ta'sir qiladi. Ba'zi hollarda u dendritlararo grafit hosil bo'lishiga, boshqa hollarda esa kurtaklar sonining ortishiga hamda dendritlararo grafit miqdorining kamayishiga yordam beradi. Argon va azot bilan ishlov berishda eutektiv dona yiriklashadi: vodorod, karbonat ангидрид gazi, kislorod va tabiiy gaz bilan ishlov berganda maydalashadi [17].

Suyuq metallni neytral gaz yordamida barbotaj bilan ishlash turini fransuz firmasi Gazal-protsess ishlab chiqqan. Bu jarayondan cho'yanni kovshda, tarnovda yoki induksion pechda desulfuratsiyalash va uglevodorodlash uchun, shuningdek, cho'yanni mikserda aralashtiriyotganda skrap va ferroqotishmalar qo'shimchalarining erishini yaxshilash maqsadida foydalaniladi.

Tarkibi quyidagicha bo'lgan (%): 2,9–3,2 C; 0,8–1,0 Mn; 1,5–1,6 Si; 0,4–0,6 Cr; 0,2–0,3 Ni; 0,008 S; 0,08 P kam legirlangan cho'yanni 0,8% $\Phi\text{C-75}$ bilan modifikatsiyalab hamda C_3H_8 propan kiritib, birgalikda ishlov berish ancha samaralidir. Propan bilan ishlov berilmagan, 0,8% $\Phi\text{C-75}$ bilan modifikatsiyalangan cho'yanda quyidagi xossalarga erishilgan: qattiqligi HB 212–248; cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi – 33–39 kg/mm²; bukilishdagi mustahkamlik chegarasi – 65–70 kg/mm²; egilish strelasi – 4,0–4,7 mm. Uni propan berib 2–4 min davomida tozalab va keyinchalik 0,8 $\Phi\text{C-75}$ bilan modifikatsiyalaganda mustahkamligi 10–15% ortadi. Bunda perliti dispers sistema hosil bo'ladi va grafit propan bilan tozalanmagan cho'yanga qaraganda ancha tekis taqsimlanadi.

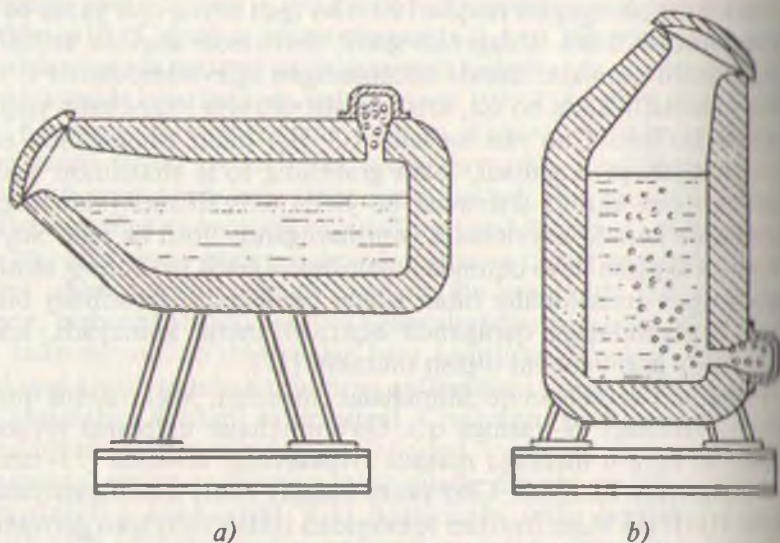
Tarkibida oltingugurt miqdori kam bo'lgan suyuq cho'yanni ba'zi uglevodorodlar bilan ishlaganda grafit sharsimon shaklda kristallizatsiyalanishi mumkin. Bunda ishlatiladigan uglevodorodlarda $C : H$ nisbat qanchalik katta bo'lsa, kristallizatsiyalanish shunchalik yuqori darajada bo'ladi. Cho'yan naftalin ($C_{10}H_8$) bilan ishlanganda eng yaxshi natijalarga erishiladi, lekin grafitning to'la sharsimon shakli suyuq cho'yan karbid sistemasi bo'yicha kristallizatsiyalanadigan sharoitlarda hamda keyinchalik yumshatilganda hosil bo'ladi. Suyuq cho'yanga siqilgan havo oqimida kukunsimon grafit yoki uning asosida tayyorlangan aralashmalar bilan ishlov berilganda ferrosilitsiy bilan ishlov berilgandagiga qaraganda oqarishi ancha kamayadi, lekin qurilmalarda grafit spelini topish mumkin [17].

Piroeffekt beradigan qo'shimchalar (masalan, Mg) maxsus qurilmalarda kiritiladi (9- rasimga q.). Qo'shimchalar qalpoqqa joylashtiriladi, so'ngra u metallga maxsus avtoklavdagi kovshda (73- rasm) yoki yig'gichda kiritiladi. Cho'yanni magniy bilan modifikatsiyalash uchun IHHITMau instituti tomonidan ishlab chiqilgan germetiklashtirilgan kovshlardan foydalaniladi (74- rasm).



73- rasm. Avtoklavdagi suyuq cho'yanga Mg kiritish qurilmasi:

1 — avtoklav, 2 — kamerani yopuvchi mexanizm, 3 — kovsh, 4 — qalpoqchani kovshga uzatuvchi shtok, 5 — uzatish va aralashtirish mexanizmi, 6 — qopqoq, 7 — magniy uchun bo'shliq, 8 — qorgich, 9 — qopqoqni ochuvchi mexanizm.



74- rasm. Cho'yanni ЦНИИТМаш da konstruksiyalangan germetik kovshda modifikatsiyalash qurilmasi.

Kovshning holati: *a* — ishlov berishdan oldin; *b* — ishlov berish vaqtida

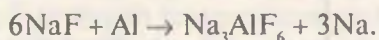
Po'latlarni modifikatsiyalash. Zamonaviy po'lat metallurgiyasida modifikatsiyalash jarayonlari nihoyatda katta rol o'ynaydi. Modifikatsiyalash suyuqlantirishni me'yoriga yetkazish va uni oksidsizlantirish bilan uzviy ravishda birga qo'shib, kristallizatsiyalanish xarakteri hamda po'latning kompleks xossasini yuqori darajada aniqlaydi [45].

Po'latni suyuqlantirib olishda II tur modifikatorlar sifatida metall suyuqlanma bilan o'zaro ta'sirlashadigan va oksidlar, sulfidlar hamda nitridlarning qiyin suyuqlanadigan kristalik suspenziyasini tashkil qiladigan kuchli oksidsizlagichlar ishlatiladi. Bunday modifikatorlar suyuqlanmada yuqori dispersli, ba'zan esa kolloid-dispers sistemani hosil qiladi, bu esa suyuq metallning hajm birligida kurtaklar sonining keskin ortishiga olib keladi. Kristallanishning majburiy markazlarini hosil qilish yo'li bilan modifikatsiyalash suyuq metallning kristallizatsiyalanish sharoitlarini o'zgartiribgina qolmasdan, balki qattiq holatdagi aylanishlar jarayoniga ham jiddiy ta'sir qiladi.

Keng ko'lamda qo'llaniladigan po'latni aluminiiy bilan oxirgi oksidsizlantirish jarayoni uning qoniqarli sifatini ta'minlaydi, lekin optimal jarayon hisoblanmaydi, chunki po'latda ajralib chiqadigan o'tkir burchakli oksisulfid qo'shilmalar zo'riqishni bir joyga to'playdi va mikrodarzlarning hosil bo'lishiga qulaylik yaratib beradi, bu esa metall matritsaning mo'rtlashishiga sabab bo'ladi. Quyilgan po'latda

qotishilmaning eng yaxshi shakli — mikrodarzlarning vujudga kelishini bildiradigan yumaloq globullardir. Bu po'lat sifatining yanada oshirilishiga, aluminiy bilan oksid-sulfid mahsulotlarini globularizatsiyalashga qodir bo'lgan element-modifikatorlarni birgalikda qo'llab, kompleks oksidsizlantirish natijasida erishish mumkin. Bu jihatdan eng istiqbollisi — kislorod, oltingugurt, azot va boshqa elementlarga kimyoviy jihatdan nihoyatda yaqinligi bilan xarakterlanadigan ishqoriy-yer hamda noyob-yer metallaridir. Po'lat quyma-hodidida ishqoriy-yer metallaridan, odatda, silikokalsiy qotishmalari CK10, CK15, CK20, CK25, CK30 (ГОСТ 4762-71) ko'rinishidagi kalsiy ishlatiladi. Bu markadagi raqamlar qotishmadagi kalsiy miqdorining pastki chegarasini ifodalaydi.

Aluminiy qotishmalarini modifikatsiyalash. Evtektikaga qadar va ekstraktiv qotishmalar (AJ12, AJ14, AJ19, AK9 va boshq.) suyuqlanmaga natriy yoki stronsiy kiritib modifikatsiyalanadi. Natriydan natriy shirtilatida foydalaniladi (36-jadval). Qotishma turli temperaturalarda qizdiriladigan kovshda modifikatsiyalanadi. Temperatura modifikator tarkibiga bog'liq bo'ladi. Kiritishdan oldin modifikatorni quritish va maydalash lozim. Modifikatsiyalash jarayonining davom etish vaqti 5 dan 15 minutgacha. Jarayonni jadallashtirish uchun suyuqlanmani aralashtirib turish zarur. Sodir bo'ladigan reaksiyalar natijasida natriy ajralib chiqadi, bu natriy metallga modifikatsiyalovchi ta'sir ko'rsatadi. Bunda quyidagi reaksiya sodir bo'lishi mumkin:



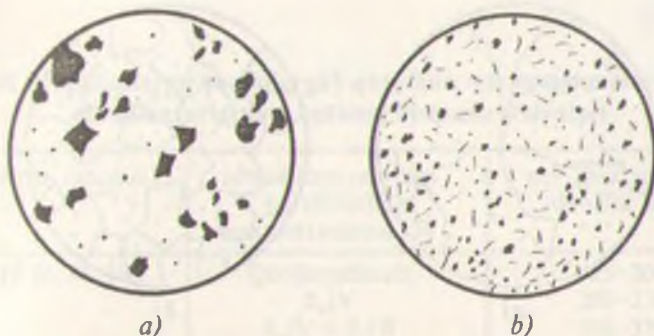
Modifikatsiyalash jarayoni tugagach, shlak natriy fluoridlari va fluoridlari qo'shib quyultiriladi va chiqarib tashlanadi, shundan so'ng namuna olinadi hamda ularning singan joyiga qarab modifikatsiya effekti aniqlanadi. Olingan suyuqlanma 25–30 min davomida qoliplarga quyilgan bo'lishi kerak, chunki modifikatsiyalash effekti vaqt jihatdan cheklangan. Modifikatsiyalovchi effektini 2–3 soat davomida saqlab qolish uchun stronsiy, ittriy va surmadan foydalaniladi.

Tarkibida 13% dan ortiq Si bo'lgan siluminlar kremniyning yirik zarrachalarini ajratib, kristallizatsiyalanadi. Bu zarrachalar qotishmalarining mexanik xossalarini yomonlashtiradi va yuqori darajada qattiq bo'lgani uchun mexanik ishlov berishni qiyinlashtiradi [23]. Kremniyning birlamchi kristallarini maydalash kremniyga nisbatan sirtiy-aktiv bo'lgan fosforni (0,05–0,1%) suyuqlanmaga kiritib, amalga oshiriladi (75-rasm). Foydalaniladigan modifikatorlar 36-jadvalda ko'rsatilgan.

Magniy qotishmalarini modifikatsiyalash o'ta qizdirish yoki qo'shimchalar kiritish bilan amalga oshiriladi. O'ta qizdirish yordamida modifikatsiyalash tozalashdan keyin amalga oshiriladi: po'lat tigelda qotishma 850–925 °C gacha qizdiriladi, 10–15 min saqlab turiladi va tezlikda 680–720 °C gacha sovutiladi, shundan keyin qoliplarga

Aluminiy qotishmalari uchun modifikatorlar tarkibi va modifikatsiyalash rejimlari bo'yicha tavsiyalar

Tarkibi	Modifikatorlar miqdori, massadan % hisobida	Modifikatsiyalovchi elementlarning hisob miqdori, massadan % hisobida	Jarayon temperaturasi, °C	Izoh
Ligatura Al - Ti (2-5% Ti) Ligatura Al - Ti - B (5% Ti, 1% B)	1-3 1-2	0,06-0,15 Ti 0,05-0,1 Ti 0,01-0,02 B	720-750 720-750	Deformatsiyalanadigan qotishmalarning makrodonini maydallash uchun
«Zemolite» (55% K ₂ TiF ₆ + 3% K ₂ SiF ₆ + 27% KBF ₄ + 15% C ₂ Cl ₄) Flus (35% NaCl + 35% KCl + 20% K ₂ TiF ₆ + 10% KBF ₄) Metall natriy Flus (67% NaF + 33% NaCl) Flus (62,5% NaCl + 25% NaF + 12,5% KCl) Flus (50% NaCl + 30% NaF + 10% KCl + 10% Na ₃ AlF ₆) Ligatura Al - Sr (10% Sr) Ligatura Cu - P (9-11% P)	0,2-0,5 0,5-1,0 0,05-0,1 1-2 1-2 0,05-0,1 0,6-0,8 —	0,01-0,02 B 0,05-0,1 Ti 0,01-0,02 B 0,05-0,1 Ti 0,05-0,1 Na 0,05-0,1 Na 0,05-0,1 Na 0,05-0,1 Na 0,06-0,085 Sr 0,05-0,1 P	720-750 720-750 750-780 780-810 730-750 720-750 750-780 —	Erektivga qadar aluminiy-kremniy qotishmalarining erektivlarini modifikatsiyalash uchun
20% qizil fosforning 10% K ₂ ZnF ₆ va 70% KCl bilan aralashmasi 58% Li ₃ PO ₄ ning 34% aluminiy kukuni va 8% qizil fosfor bilan aralashmasi Fosfororganik moddalar (xlorofos, trifenilfosfat)	1,5-2 0,3-0,4 0,4-0,6	0,05-0,1 P 0,05-0,1 P 0,05-0,1 P	750-850 750-850 760-780	Erektiv siluminlar uchun

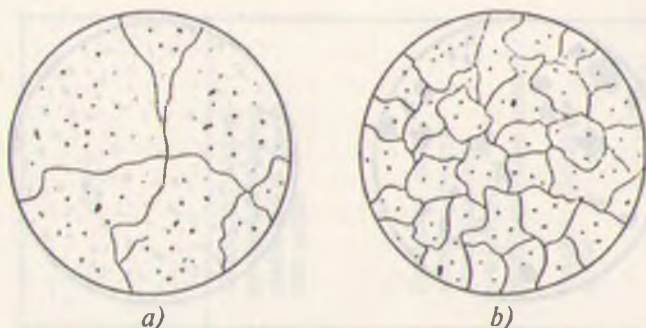


75- rasml. Evtektiv orti siluminining (20% Si)×90) mikrostrukturalari:
a — modifikatsiyalanmagan; *b* — fosfor bilan modifikatsiyalangan.

quyiladi. Ikkinchi usul suyuqlanmaga ishlov beriladigan metall mas-sasidan 0,3–0,6% miqdorda tarkibida uglerod bo'lgan va boshqa maxsus qo'shimchalarni kiritishdan iborat. Modifikatorlar sifatida bo'r, marmar, magnezit, geksaxloretan, karbonat anhidrid gazi va asetilendan foydalaniladi. Qattiq modifikatorlar kukunsimon holatgacha maydalaniladi, quritiladi va suyuqlanmaga yo qalpoqda, yo aluminiy fol-gida, yoki gaz oqimi bilan kiritiladi. Modifikatsiyalashdan oldin qotish-ma 720–780 °C gacha o'ta qizdiriladi. Modifikator kiritilgandan keyin qotishma 5–12 min davomida yaxshilab aralashtiriladi, 15–40 min davomida tindiriladi va quyish temperaturasi-gacha yetkaziladi.

Tarkibida aluminiy bo'lmagan magniy qotishmalari sirkoniy yoki kalsiy bilan (mos ravishda 0,5–0,7% va 0,1–0,2% miqdorda olib) modifikatsiyalanadi. Sirkoniy kiritish uchun magniy-sirkoniy (12% Zr) ligatura va kalsiy storsirkonatidan foydalaniladi. Sirkoniy bilan modifi-katsiyalanlaganda qotishma 850–930 °C gacha, kalsiy bilan modifi-katsiyalanganda 770–780 °C gacha o'ta qizdiriladi. Modifikator kiritil-gandan keyin qotishma 20–30 min ichida obdan aralashtiriladi va sirkoniy bilan modifikatsiyalangandan so'ng 20–30 min hamda kalsiy bilan modifikatsiyalangandan so'ng 10–15 min tindiriladi. MJ15 qotish-mani modifikatsiyalashdan oldingi va undan keyingi tipik strukturalari 76- rasmda keltirilgan [23]. Eng ko'p qo'llaniladigan moddalar bilan modifikatsiyalash rejimlari 37- jadvalda keltirilgan.

Mis qotishmalarini modifikatsiyalash. Tarkibida aluminiy bo'lgan qotishmalar (БрАЖМу, БрАЖ, ЛАЖ, ЛАЖМу va boshqa tipdagi) qiyin eriydigan elementlar Ti, V, Zr, B, W, Mo qo'shib modifi-katsiyalanadi. Lekin qiyin suyuqlanadigan elementlar qo'shimchasining modifikatsiyalovchi ta'siri ko'p jihatdan qotishmada temirning bor-yo'qligi bilan aniqlanadi. Tarkibida temir bo'lmagan qotishmalarda titan, bor va volframning modifikatsiyalovchi ta'siri namoyon bo'l-maydi [23].



76- rasm. Magniyli MJ15 ($\times 90$) qotishmaning mikrostrukturasi:
a – modifikatsiyalanmagan; *b* – geksaxlorethan bilan modifikatsiyalangan.

37- jadval

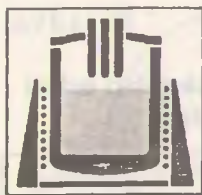
**Modifikatorlar va magniy qotishmalarini
 modifikatsiyalash rejimlari [23]**

Modifi- kator	Modifi- kator miqdori, massadan % hisobida	Bo'lakchalar o'lchami, mm	Modifi- katsiyalash temperatu- rasi, °C	Aralash- tirish vaqti, min	Tindi- rish vaqti, min	I z o h
Mis	0,5–0,6	Kukun	760–780	5–8	15–40	Kiritish oldidan quritish zarur
Marmar	0,5–0,6	Ushoq	760–780	5–8	15–40	
Magnezit	0,3–0,4	10–25	720–730	8–12	15–40	
Geksaxlor- etan	0,3–0,5	Kukun	720–760	8–12	15–40	
Xlorli temir	0,4–0,5	Kukun	720–760	5–8	10–40	Quruq ho- latda qo'l- lanilsin
Sirkoniy	0,5–0,8	–	–	–	–	Tarkibida aluminium bo'lmagan qotishma- lar uchun
Ligatura Mg+12% Zr	10	5–10	850–900	19–20	10–15	
Kaliy florsir- konati	8–10	Kukun	930	20–30	20–30	
Kalsiy	0,08–0,15	–	770–780	–	10–15	

Tarkibida aluminium va temir bo'lmagan qotishmalar (БрС30, Бр06Ц6С3, jez Л68) ko'rsatilgan modifikatorlardan 0,05% iga 0,02% bor qo'shib birgalikda kiritib modifikatsiyalanadi. Ba'zi mis qotishmalari uchun modifikatorlarning optimal konsentratsiyasi 38- jadvalda keltirilgan.

**Metall izlojnitlarga (qoliplarga) quyishda mis qotishmalari uchun
modifikatorlarning optimal konsentratsiyalari**

Qotishma markasi	Modifikatsiyalovchi qo'shimcha konsentratsiyasi, %	1 sm ² shlif yuzasidagi donalar soni
БрА10 (0,3% Fe)	Qo'shimchasiz 0,2V 0,5V + 0,2B	25-30 200-230 350-370
БрА10ЖЗМц1,5	Qo'shimchasiz 0,05-0,1 V 0,02V + 0,02B 0,01W + 0,02B 0,5-0,1B	40-50 350 450 500 420
Бр06Ц6С3	Qo'shimchasiz 0,02B + 0,04Ti 0,05B + 0,05V 0,10Zr + 0,05B 0,10Zr	25-30 550-600 450-470 450-500 250-270
Л68	Qo'shimchasiz 0,02V + 0,02B 0,05Ti + 0,05B	10-15 350-400 270-300



VII BOB

YUQORI SIFATLI QUYMA QOTISHMALAR OLISH

7.1. Plastinkasimon grafitli yuqori sifatli cho'yan olish

Yuqori sifatli kulrang cho'yan olish uchun yaxshilab tayyorlangan, kimyoviy tarkibi bo'yicha navlarga ajratilgan va toza shixta materiallaridan foydalaniladi, bu esa vagrankada suyuqlantirishda ayniqsa muhimdir. Mayda va oksidlangan shixta yuqori sifatli cho'yan uchun asos bo'la olmaydi, cho'yan yoki po'lat temir-tersaklarining haddan tashqari yirik bo'laklarini ham ishlatib bo'lmaydi, chunki ular suyuqlanish zonasida suyuqlanmasdan furmagacha yetib boradi va vagranka jarayonining borishini buzadi.

Elektr pechlardagi suyuqlantirishda cho'yanning talab etilgan temperaturasiga erishish va uni kimyoviy tarkibi bo'yicha (shu jumladan, xossalarni yaxshilaydigan va stabillashtiradigan turli qo'shimchalar kiritish) me'yoriga yetkazish imkoniyati kengayadi.

Sifati talab darajasida bo'lgan cho'yan olish uchun dastlabki shixta materiallarini, fluslar, karburizatorlar, kimyoviy tarkibi, temperaturasi, oqartirish kattaligi, qattiqligini nazorat qilish ham katta ahamiyatga ega.

Dastlabki shixta materiallarining sifati Γ OCTlarga muvofiq namunalar olib hamda namunalarni kimyoviy analiz qilib nazorat qilinadi. Ularning xarakteristikalari Γ OCTning tegishli shixta materiallariga bo'lgan talablarini qoniqtirishi kerak (V bobga q.).

Tayyor cho'yanning kimyoviy tarkibini nazorat qilish yo spektral ekspress-analiz yordamida, yo maxsus asboblardan, masalan, uglerodni ekspress-analiz qilish uchun mo'ljallangan AH-29 bilan amalga oshiriladi. Kremniyni TЕДC kattaligi bo'yicha aniqlash mumkin. Eng samaralisi kvantometrdan foydalanishdir.

Uglerod ekvivalentini cho'yanning sovish egri chizig'i bo'yicha termografik metod bilan aniqlash mumkin. Buning uchun suyuq cho'yan namuna olish uchun mo'ljallangan maxsus qolipga quyiladi. Qolipda sovish egri chizig'ini qayd qiladigan termopara o'rnatilgan. Likvidus temperaturasining kattaligi va qotish temperaturasining intervali bo'yicha uglerod ekvivalenti aniqlanadi:

$$C_e = 12,8 - 0,0075t_L, \quad (7.1)$$

$$C_e = 4,28 - 0,0072\Delta t_{int}. \quad (7.2)$$

Bu formulalar universal emas. Ular faqat modifikatsiyalanmagan cho'yanlarning uglerod ekvivalentlarini aniqlash uchun yaroqlidir.

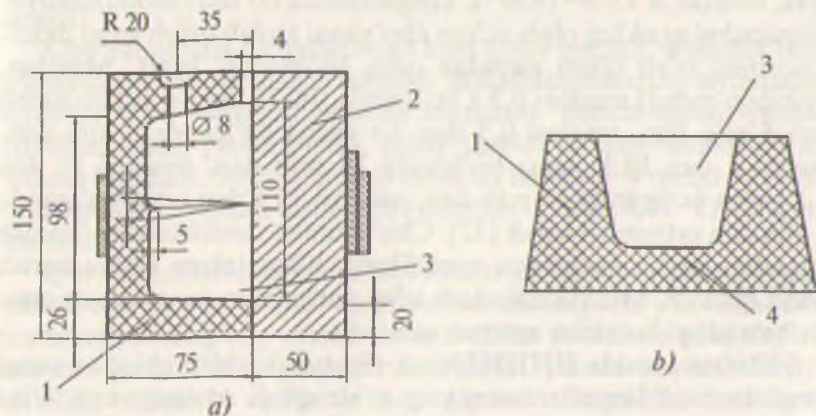
Suyuqlantirishda kutiladigan mexanik xossalarning nazoratini namuna metallning oqarish kattaligi va qattiqligi bo'yicha amalga oshirish mumkin. 77- rasmda oqarish kattaligi va qattiqligini aniqlash uchun mo'ljallangan namunalar, 39- jadvalda esa kulrang cho'yanning eng ko'p tarqalgan markalari uchun oqartirish chuqurligi va qattiqligi haqidagi ma'lumotlar keltirilgan. Suyuq cho'yanning temperaturasi botiriladigan optik pirometrlar va termoparalar yordamida nazorat qilinadi.

39- jadval

Namunalardagi oqarish kattaligi va qattiqligi bo'yicha ba'zi kulrang cho'yan (CЧ) markalarining xarakteristikalari

ГОСТ 1412-79 bo'yicha cho'yan markasi	Oqarish chuqurligi, mm		Qattiqligi, HB
	modifikatsiya- lashga qadar	modifikatsiya- langandan keyin	
CЧ 20	5-10	—	217-235
CЧ 25	10-15	2-6	235-248
CЧ 30	15-25	2-8	248-277

Qotishma olishning hal etuvchi bosqichida suyuq cho'yanni pechdan tashqarida ishlash, ya'ni cho'yanni qo'shimcha kiritiladigan moddalar (modifikatorlar va boshqa qo'shimchalar) bilan ishlash yoki tashqi ta'sir metodi bilan ishlash juda ham muhim.



77- rasm. Namuna shakllari:

a — oqarishni tekshirish ponasi; *b* — qattiqlikni tekshirish ponasi;
1 — sterjen, 2 — metall plastina, 3 — namuna, 4 — qattiqlikni o'lchash joyi.

Cho'yanni modifikatorlar va boshqa qo'shimchalar bilan ishlatish o'zining soddaligi va yuqori darajada samaradorligi tufayli quymakorlikda keng ko'lamda tarqalgan. Hozirgi vaqtda juda ko'p turli modifikatorlar ishlab chiqilgan. Eng ko'p tarqalgani ferrosilitsiydir. Uning kiritilishi mayda donador strukturali cho'yan tayyorlashga imkon beradi, oqarishini kamaytiradi va mexanik xossalarini yaxshilaydi. Aluminiy va ferrosilitsiy yoki aluminiy va grafit aralashmalari bilan ishlaganda oqarish eng samarali olinadi. Tarkibida RZM (nodir yop metallari) bor modifikatorlar ham oqarishni samarali oladi (ma'lum sarflash chegarasigacha). 0,2% dan ortiq kiritilganda oqarish ortadi. Ba'zi bir elementlarning hatto juda oz miqdorda kiritilishi cho'yan strukturasining va xossasining shakllanishiga jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Grafitdan boshqa barcha modifikatorlar uning mustahkamligini oshiradi. Silikobariyning ishlatilishi ayniqsa samaralidir.

Odatdagi modifikatorlar tarnovga, metall oqimiga yoki kovshga kiritiladi. Modifikator sarfi uning tarkibiga, shuningdek, cho'yanning tarkibi va markasiga, shixta materiallarining tabiatiga, suyuqlantirish sharoitlariga, kiritish texnologiyasiga, quyma konstruksiyasiga bog'liq bo'ladi hamda, masalan, Φ C75 da metall massasidan 0,1%–1,5% gacha chegarada o'zgaradi. Odatda, Φ C75 markaning 0,1% i oqarishni 1 mm ga kamaytiradi, deb hisoblanadi. Oqarish kattaligining talab etilgan pasayishiga asoslanib kiritiladigan modifikator miqdori aniqlanadi. Modifikator kiritilgandan keyin metall mexanik tarzda, vibratsion, barbotaj yoki boshqa metodlar bilan aralashtirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi. Modifikatsiyalashda cho'yan markasi qanchalik yuqori bo'lsa, uni shunchalik yuqori temperaturagacha o'ta qizdirish kerak, odatda, u 1370–1430 °C chegaralarida bo'ladi. Modifikatsiyasizlantirishning oldini olish uchun cho'yanni saqlab turish vaqti modifikatorning ta'sir qilish vaqtidan ortiq bo'lmasligi kerak. Masalan, kovshdagi metall massasi 0,5 t bo'lganda Φ C75 uchun saqlab turish vaqti 5 min dan, massasi 0,5 dan 2 t gacha bo'lganda 8 min dan, massasi 2 dan 10 t gacha bo'lganda 10 min dan, massasi 10 dan 25 t gacha bo'lganda 15 min dan, massasi 25 t dan ortiq bo'lganda 20 min dan ortmasligi kerak [32]. Cho'yanning modifikatsiyasizlanish alomatlari paydo bo'lganda modifikator bilan takror ishlov berish tavsiya qilinadi. Modifikatsiyalash sifati ponasimon namunaning oqarish balandligi bo'yicha nazorat qilinadi.

Silikobor asosida ЦНИИТМАш (Rossiya) ishlab chiqqan yangi kompleks modifikatorlar uzoq vaqt ta'sir qilish xossasiga ega. Ular cho'yanning evtektivligiga qaramasdan, jarayonning yuqori darajada barqaror bo'lishini ta'minlaydi va modifikatsiyalash effektining davom etish vaqtini 2–3 marta oshiradi [8].

Ba'zan suyuq qo'shimchalar bilan modifikatsiyalash usuli qo'llaniladi. Tarkiblari turlicha bo'lgan ikkita suyuq cho'yanni yoki cho'yanni suyuq po'lat bilan aralashtirganda kimyoviy tarkibning o'rta qiymaticha rostlanishi emas, balki ancha murakkab, modifikatsiyalashga o'xshash jarayonlarning sodir bo'lishi kuzatilgan. Bu jarayonlar strukturing maydalanishiga va mexanik xossalarini yaxshilashga yordam beradi.

Cho'yanni gazlar va chang-gaz aralashmalari bilan ishlash uchun kislorod, azot, argon, karbonat angidrid gazi va uglevodorodlar ishlatiladi. Gaz oqimiga changsimon qo'shimchalar (modifikatorlar va shunga o'xshashlar) kiritilishi mumkin. Cho'yanni gaz kiritib tozalash uchun kisloroddan foydalanilsa, u cho'yanning kimyoviy tarkibi va xossalariga sezilarli darajada ta'sir qiladi. Cho'yan boshqa gazlar kiritib tozalansa, cho'yan tarkibidagi gaz miqdori o'zgaradi, bu ham uning xossalariga ta'sir qiladi. Bunda grafitlanish jarayonining aktivlanishi yoki bostirilishi sodir bo'lishi mumkin (suyuqlanmadan vodorod va azot chiqarib yuborilganda — kuchayish, kristallanish markazlari koagulyatsiyalanganida bostirish sodir bo'ladi). Suyuq cho'yanga gazlar bilan ishlov berish grafit qo'shilmalarining shakliga va eitektiv donalar o'lchamlariga ta'sir qiladi. Donalar argon va azot bilan ishlov berilganda yiriklashadi hamda vodorod, karbonat angidrid gazi, kislorod va tabiiy gaz bilan ishlov berilganda maydalashadi.

Desulfuratsiya pechdan tashqarida bajarilsa, cho'yanga 5–10% plavik shpati, 20–30% elektrokorund, 60–70% ohak aralashmasidan hosil qilinadigan sintetik shlaklar bilan ishlov berish mumkin. Bunday ishlov berish oltingugurt miqdorini dastlabki miqdordan 90% ga kamaytirishga imkon beradi. Sintetik shlak maxsus shlak suyuqlantiriladigan pechda tayyorlanadi, so'ngra u kovshga quyiladi, unga suyuq cho'yan ham quyiladi, cho'yan shlak bilan aralashib desulfuratsiyalanadi.

Cho'yanga fizik metodlar bilan ham ishlov beriladi. Mexanik tarzda aralashtirish va vibratsiya parrakli aralashtirgichlarda, aylanadigan kovshlarda va vibroqurilmalarda bajariladi. Bunda metall yuzasiga tarkibida ohak, plavik shpati, kalsiy karbidi bo'lgan tozalovchi aralashma kiritiladi. Suyuq cho'yan shunday tarzda 2–4 minut davomida ishlanganda kovshdagi oltingugurt miqdori 0,1 dan 0,01–0,02% gacha kamayadi.

Quymakorlikda cho'yanni modifikatorlar bilan pechdan tashqarida ishlash eng ko'p tarqalgan. Yuqori sifatli kulrang cho'yan olish sanoat texnologiyasining eng yaxshi varianti elektr pechlarda yoki dupleks-jarayon yordamida suyuqlantirib olishdir. Bunda kerakli kimyoviy tarkibli, birlamchi agregatda suyuqlantirib olingan cho'yan kutish pechiga quyiladi, undan oqarganligini tekshirishga namuna olinadi. Agar oqarish modifikatsiyalashgacha talab etilganidan ortiq bo'lsa, unda pechga Φ C75 va grafit aralashmasi kiritiladi.

Modifikatsiyalash bo'yicha eng yaxshi natijalarga ΦC75 (0,1–0,6%), silikokalsiy (0,1–0,2%) va donador grafit (metall massasidan 0,1–0,25%) aralashmasi kiritilganda erishiladi. Modifikatsiyalash cho'yanda grafitning vermikular shaklni olishga imkon beradi. Bunday holda suyuqlantirish uchun yoy va induksion pechlardan, ba'zi hollarda esa dupleks-jarayon (vagranka–induksion pech)dan foydalaniladi.

Dastlabki cho'yan sifatida evtektiv va unga yaqin bo'lgan tarkibli cho'yandan (3,4–3,6% S; 2,0–2,8% Si; 0,3–0,6% Mn; $\leq 0,2\%$ P; $\leq 0,02\%$ S) juda keng ko'lamda foydalaniladi. Modifikatsiyalash uchun cho'yan desulfuratsiya qilinsa, maqsadga muvofiq bo'ladi. Desulfuratorlar sifatida ohak, soda, texnik kalsiy karbidi yoki ular asosida tayyorlangan aralashma ishlatiladi.

Cho'yanni tarkibida elementlar – sferoidizatorlar (Mg, Y, Ce), shuningdek, Al va Ti kiradigan ligaturalar; Ni – Mg – Ce, Ce – Y, Ce – Mg – RZElar; JKMK va boshqa ligaturalar bilan modifikatsiyalash grafitning vermikular shaklni olish asosi hisoblanadi.

Grafitning eng barqaror vermikular shakli suyuqlanmani tarkibida RZE bo'lgan (masalan, tarkibida 25–30% nodir-yer elementi bo'lgan ЦЦЕМШ va СИИТМИШ) ligaturalar bilan modifikatsiyalab olish mumkin. Bu jarayon ЦНИИТМАш instituti tomonidan ishlab chiqilgan va qator zavodlarda joriy qilingan [8].

Ishlab chiqarish sharoitlariga qarab, ligaturani 1350–1400 °C da bevosita pechga, shuningdek, 1430–1480 °C da quyadigan kovsh tubiga yoki metall oqimiga kiritish mumkin (cho'yanda RZE ning qoldiq miqdorini 0,1–0,15% chegaralarda olish hisobidan). Qo'shimcha ligatura massasi undagi RZE miqdori bilan aniqlanadi va dastlabki suyuqlanma tarkibidagi oltingugurt miqdoriga bog'liq bo'ladi. Tarkibida 0,015–0,3% oltingugurt bo'lgan cho'yan uchun qo'shiladigan ligatura miqdori suyuq metall massasidan 0,7–0,8% ni tashkil qiladi. Vagranka suyuqlantiriladigan cho'yan uchun (oltingugurt miqdori 0,08–0,1%) qo'shiladigan ligatura miqdori 2,0–2,5% gacha ortadi. Bunda vagranka cho'yanini oldindan desulfuratsiyalash maqsadga muvofiq bo'ladi. Ligatura bilan ishlangandan keyin quymalarda ledeburit yoki strukturaviy-erkin sementit hosil bo'lishining oldini oladigan grafitizatsiyalovchi qo'shimchalar bilan (ΦC75 va h.k.) qo'shimchalar ravishda modifikatsiyalash talab qilinadi.

7.2. Sharsimon grafitli yuqori darajada mustahkam (BЧ) cho'yan olish

Sharsimon grafitli yuqori darajada mustahkam cho'yan olish texnologiyasi ikkita asosiy bosqichni o'z ichiga oladi: suyuqlantirish va cho'yanga grafitni sferoidizatsiyalaydigan qo'shimchalar bilan ishlov

berish. Talab etilgan mikrostrukturaga yoxud bevosita quyilgan holatda, yoxud termik ishlov berib erishiladi.

Shixta tarkibi cho'yaning talab etilgan kimyoviy tarkibini olishni ta'minlashi kerak. Vagrankada suyuqlantirilganda shixtada quyma cho'yanlarning orttirilgan miqdoridan foydalaniladi.

Yuqori darajada mustahkam cho'yan olishda cho'yan elektr pechlarida suyuqlantirilsa va ayniqsa, dupleks-jarayonlar qo'llanilsa, juda maqsadga muvofiq bo'ladi. VAZda BЧ olish uchun cho'yan dupleks-jarayonda yoy pechi—induksion pech vositasida suyuqlantirib olinadi [40]. Shixta tarkibiga qaytarilgan metall, po'lat chiqindilari, grafit, ferrosilitiy, ferromarganes kiradi. Cho'yan induksion pechga qayta quyilayotganda quyidagi kimyoviy tarkibga ega bo'ladi (%): 3,6–3,8 C; 1,7–1,8 Si; 0,3–0,4 Mn; $\leq 0,012$ S; $\leq 0,06$ P; $\leq 0,05$ Cr; 0,4–0,65 Ni; 0,01–0,03 Cu. Kulrang cho'yanga nisbatan unda uglerod 0,4% ko'p, marganes 0,2–0,3% kam va oltingugurt miqdori esa juda ham kam bo'ladi.

Suyuqlantirish jarayoni berilgan temperaturali cho'yan olishni ta'minlashi kerak. VAZda pechdan chiqarilayotgan cho'yaning temperaturasi 75-3 marka uchun 1530 °C ni; 56-5 marka uchun 1480 °C ni (botiriladigan termopara bo'yicha), quyish boshidagi temperatura pirometr bo'yicha tegishli 1400 va 1370 °C ni tashkil qiladi.

Cho'yanda sharsimon shakldagi grafit olish uchun suyuqlanmani tarkibida Mg, Ce, Y va boshqa RZE bo'lgan turli modifikatorlar bilan ishlov berish usuli qo'llaniladi, lekin Mg element deyarli barcha qo'llaniladigan modifikatorlarda ishtirok etadi.

Yuqori darajadagi puxta cho'yanda grafitni sferoidizatsiyalash uchun Ni – Cu – Mg, Ni – Cu – Si – Mg, Ni – Si – Ca – Mg ligaturalar va shuningdek, tarkibiga Mg, Ca, Si va RZE lar kiradigan kompleks JKMK, KM modifikatorlar ishlatiladi.

Yuqori darajada mustahkam cho'yan olish uchun seriyli modifikatorlar ham ishlatiladi. Ular jumlasiga ferroseriy (40–55% Ce, 18–25% La, 10–12% Na, 5–7% Pr), mishmetall (52% Ce, 24% La, 18% Na, 5% Pr), MЦ40, MЦ65, MЦ75 markali (raqamlar tarkibidagi Ce ning eng kam miqdorini ifodalaydi) seriyli mishmetall, shuningdek, tarkibida shu elementlarning o'zi va 4,5–7,0% Mg bo'lgan MИМ-5 modifikatorlar kiradi. «Сиитмиш» va «Сцемиш» tipidagi kremniy-seriyli ligaturalar ham ishlatiladi. Lekin ligaturalar yordamida cho'yanda grafitning barqaror sharsimon shaklini faqat yupqa devorli quyma uchun yoki kokilga quyishda olish mumkin.

ЦНИИТМаш ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida quyidagi tarkibdagi kompleks modifikatorlar ishlab chiqilgan (%): Ц1 (6–15 RZE, 2–4 Mg, 4–12 Ba, 10–18 Al, 17–29 Si, qolgani temir) va Ц2 (11–18 RZE, 1,5–3,5 Mg; 0,5–5,0 Al; 0,2–1,8 Zr, 12–27 Fe, qolgani Si). Bu modifikatorlar sharsimon grafitli cho'yaning barqaror

olinishini va devorlarining qalinligi 150 mm gacha bo'lgan quymalarda metall xossalarining qaytadan tiklanishini ta'minlaydi. Yuqori darajada mustahkam po'lat olish uchun bu modifikatorlar sarfi metall massasidan 1,2–2,0% ni tashkil qiladi. Modifikator 0,6–0,8% kiritilganda vermikular grafitli cho'yan hosil bo'ladi [8].

Sferoidizatsiyalovchi modifikatorlarga qarama-qarshi o'laroq, ba'zi elementlar demodifikator bo'ladi, shu boisdan ularning cho'yandagi miqdori quyidagidan ortiq bo'lmasligi kerak (%): 0,009 Pb; 0,001 Bi; 0,026 Sb; 0,08 As; 0,04 Ti; 0,13 Sn; 0,3 Al. Demodifikatorning ta'siri remodifikatorlar, masalan, Ce ni qo'shib qisman yoki to'la bartaraf qilinadi.

Cho'yanga magniy kiritilganda uning jadal bug'lanishi sodir bo'ladi. Magniy bug'lari yonib oq tutun ajratib chiqaradi. Reaksiya juda tez o'tadi va shiddatli xarakterga ega. Piroeffektini kamaytirish uchun tarkibida ko'pi bilan 12–15% Mg bo'lgan ligatura yoki tarkibida Ni va Cu lar bo'lgan zichligi katta aralashmalar ham, tarkibida Si va Ca lar bo'lgan ancha yengil aralashmalar ham qo'llaniladi.

Oqarmagan quymalar olish uchun sferoidizatsiyalaydigan modifikator kiritilgandan keyin ikkilamchi grafitlaydigan modifikatsiyalash o'tkaziladi, natijada kichrayish oqibatida hosil bo'ladigan nuqsonlar hamda ichki zo'riqishlar kamayadi. Bunda modifikator sifatida $\Phi C73$ ferrosilitsiy ishlatiladi.

Ligaturalar bilan kovshda modifikatsiyalash eng sodda usul hisoblanadi. Masalan, VAZda Ni – Mg – Ce ligatura bevosita quyadigan kovshga kiritiladi. Ligatura bilan birgalikda ferrosilitsiy va legirlovchi qo'shimchalar kiritiladi. Lekin Ni – Mg – Ce ligatura qimmatbaho bo'lganligidan, sof magniy bilan modifikatsiyalash keng tarqalgan.

Cho'yanni modifikatsiyalashda oltingugurtsizlantirish va gazsizlantirish jarayonlari sodir bo'ladi, shuning uchun modifikatorni dozalashtirish uning bu jarayonlarga, asosan, oltingugurt bilan birikishga sarflanishi bilan aniqlanadi. Zarur bo'lgan magniy miqdorini quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin [37]:

$$Mg = [(0,04 - 0,1) + 0,76(S_d - S_q)] \cdot A^{-1}, \quad (7.3)$$

bu yerda: S_d va S_q – dastlabki va qoldiq oltingugurt miqdori; 0,04–0,1% – cho'yandagi qoldiq Mg (0,04 – quyma ko'rinishidagi yuqori sifatli cho'yanlar uchun; 0,05 – irsiy xususiyatlari yomon cho'yanlar uchun va 0,1 gacha – qalin devorli quymalar uchun); A – magniyni o'zlashtirish koeffitsiyenti (modifikatsiyalash usuli va cho'yan temperaturasiga bog'liq; 1400 °C da Ni – Mg ligatura kiritilganda $A = 0,6–0,7$; 1500 °C da $A = 0,4–0,5$).

Qoldiq magniy miqdori yetarli bo'lmaganda aralash yoki vermikular grafit, ortiqcha bo'lganda esa qisman yoki to'la oqarish hosil bo'ladi. Ochiq tipdagi kovshga yoki to'plagichga qalpoqcha yordamida

bol magniy ko'rinishidagi modifikator kiritilganda magniy sarfi cho'yan temperaturasi qancha yuqori bo'lsa, magniy sarfi shuncha kam bo'ladi. Ligatura tarkibiga magniy metall massasidan 2–2,5% miqdorda kiritiladi. Agar magniy va ligaturalar maxsus avtoklavlar yoki kovshlarda bosim ostida kiritilsa, ularning sarfi kamayadi (73, 74- rasmlarga q.). Bunda magniyning qaynash temperaturasi ortadi, bug'ning sekin hosil bo'lishi ta'minlanadi va uni mumkin qadar ko'p o'zlashtirish uchun sharoitlar yaratiladi. Avtoklavlarda yoki germetizatsiyalangan kovshda modifikatsiyalaganda magniy sarfi ishlov berilayotgan metall massasidan 0,2–0,35% gacha kamayadi.

7.3. Bolg'alanuvchan (KЧ) cho'yan olish

Bolg'alanuvchan cho'yan tayyorlash texnologiyasi ikkita bosqichga bo'linadi: oq cho'yandan quymalar olish va grafitlaydigan yumshatish. Bolg'alanuvchan cho'yan olish uchun shixta tarkibi shunday tarzda hisoblanadiki, suyuq cho'yanda 2,3–3,0% C va 0,9–1,6 Si bo'lsin. C va Si ning aniq miqdori talab etiladigan xossalari, ya'ni bolg'alanuvchan cho'yan markasi va sovitish sharoitlarini hisobga olgan holda quymalar devorlarining qalinligiga qarab aniqlanadi.

Bolg'alanuvchan cho'yan suyuqlantirishning birinchi bosqichi dupleks-jarayon vagranka—elektr yoy pechi vositasida olib boriladi. Bunda vagrankada tarkibida quyidagi elementlar bo'lgan cho'yan suyuqlantirib olinadi (%): 2,6–2,85 C; 0,8–1,0 Si; 0,2–0,25 Mn; 0,12–0,17 P va 0,12 gacha S. So'ngra bu cho'yan kislotali elektr yoy pechiga quyiladi va 1450–1500 °C gacha o'ta qizdiriladi. Shu yerning o'zida cho'yan tarkibini to'g'rilash mumkin, masalan, po'lat bo'laklar qo'shib uglerod miqdorini kamaytirish yoki ferroqotishmalar qo'shib Si va Mn miqdorlarini oshirish mumkin.

Bolg'alanuvchan cho'yan olish uchun dupleks-jarayonning ancha takomillashtirilgan varianti — yoy pechini induksion pech bilan birlashtirishdir. Bu holda kutish pechidagi cho'yanning kimyoviy tarkibi kam o'zgaradi va xossalari ancha barqarorligicha qoladi. Yoy pechi—induksion pechdan iborat dupleks-jarayon VAZda qo'llaniladi. Shixtada asosiy tashkil etuvchilar sifatida qaytarilgan metall va po'lat chiqindilaridan foydalaniladi. Kutish pechiga quyidagi kimyoviy tarkibga ega bo'lgan 1550–1570 °C temperaturali metall quyiladi (%): 2,8–2,9 C; 1,1–1,2 Si; 0,3–0,35 Mn; $\leq 0,06$ S va P; $\leq 0,05$ Sr; $\leq 0,15$ Ni va Cu. Induksion pechga qayta quyilgandan keyin suyuqlanma yuzasidan shlak chiqarib yuboriladi va og'irligi 8–12 kg bo'lgan elektrod bo'lagi kiritiladi (kulrang va juda mustahkam cho'yan olish uchun ham shunday qilinadi), u yuqori temperaturada metall bilan kontaktlashib, Si va Mn larning qattiq uglerod bilan geterogen

qaytarilishi hisobiga ularning kuyindisini kamaytiradi va elektrod siniglaridan uglerodning erishi hisobiga uning kuyindisini kompensatsiya laydi. Cho'yan kutish pechidan chiqarilayotganda 1520 ± 10 °C temperaturaga ega bo'lishi kerak. Kovshga qo'shimchali paketlar kiritiladi. Garchi bu jarayon ko'proq mikrolegirlash jarayoniga taalluqli bo'lsa-da, bu qo'shimchalar modifikatorlar deb ataladi. VAZda chiqarilayotgan suyuq cho'yanga BHO markali vismutdan 0,01% va ФР-II markali ferrobordan 0,0058% beriladi, bu esa yumshatish siklining davomiyligini qisqartirishga yordam beradi.

Siniq joyi oq, qalin devorli quymalar olishga va yumshatish vaqtini sezilarli qisqartirishga imkon beruvchi eng yaxshi qo'shimchalar quyidagi qo'shimmalar hisoblanadi: 0,02–0,0004% Bi; 0,01–0,02% Al va 0,002–0,004% B, shuningdek, Te – Cu, Te – S, Te – H, Te – Pb, Te – Bi, Te – B – Al, Te – Bi – Cu – Al ligaturalar, elementlarning dozirovkalanishi Te va Bi uchun 0,0001–0,005% hamda Al uchun 0,01–0,03%.

Bolg'alanuvchan cho'yan suyuqlantirishning ikkinchi bosqichi – grafitlovchi yumshatish – maxsus pechlarda amalga oshiriladi va 30–40 soat davom etadi. Ferritli bolg'alanuvchan cho'yan olish uchun quymalarni o'ziga xos yumshatish rejimi quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi: 930–1050 °C gacha qizdirish, grafitlashning birinchi bosqichi to'la tugallanmaguncha shu temperaturada saqlab turish, 760 °C gacha oraliq sovitish (ya'ni kritik temperaturalar intervalidan biroz yuqori), ko'pi bilan 5 °C/soat tezlik bilan 700 °C gacha nazorat qilinuvchi sovitish (ya'ni butun kritik temperaturalar orqali yoki perlitni parchalanishi uchun shu temperaturaning o'zida tegishli saqlab turish), 550–600 °C gacha sovitish (sekin, so'ngra esa «oq siniq» hosil bo'lishining oldini olish uchun tez).

7.4. Legirlangan cho'yan olish

Legirlangan cho'yan suyuqlantirishning asosiy xususiyati – qo'llanilayotgan suyuqlantirish metodlari sharoitlarida oksidlanishga turlicha moyil bo'lgan legirlovchi elementlarni kiritishdan iborat.

Kam legirlangan cho'yanlarni suyuqlantirish vagrankalarda va elektr pechlarda amalga oshiriladi. Legirlovchi elementlarni ikkita usulda kiritish mumkin: a) tabiatda legirlangan cho'yanlarni shixtalab va b) ferroqotishmalar qo'shib. 40-jadvalda legirlovchi elementlarni kiritish bo'yicha asosiy tavsiyalar keltirilgan.

Tarkibida Cr va Ni bo'lgan, kam legirlangan konstruksion cho'yanlar olishda ЛХН1–ЛХН10 markali (1% gacha Ni va 2,3–3,2% Cr) quyma ko'rinishidagi tabiatda legirlangan cho'yanlardan foydalaniladi. Kam legirlangan cho'yanlarga titan va mis БТМЛ tipidagi tabiatda legirlangan cho'yanlar bilan kiritiladi. Masalan,

dvigatellarning gilzalari uchun kam legirlangan cho'yanni dupleks-
jarayon vagranka—elektr pechi vositasida suyuqlantirib olishda vag-
ranka shixtasida legirlovchi elementlarning dastlabki miqdoriga qarab
7 dan 10% gacha ЛХН va БТМЛ dan foydalaniladi. Suyuq cho'yan
vagrakadan elektr pechga qayta quyiladi, bu pechda u o'ta qizdiriladi
va, agar zarur bo'lsa, kimyoviy tarkibi korrrektirovka qilinadi.
Pechdan chiqarib, kovshga quyish vaqtida cho'yan ferrosilitsiy bilan
modifikatsiyalanadi. Ko'p legirlangan cho'yanlarni suyuqlantirish
o'ziga xos xususiyatlarga ega, lekin barcha hollarda uni elektr pech-
larda suyuqlantirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

40- j a d v a l

**Legirlangan cho'yanlarni suyuqlantirishda legirlovchi
elementlarni kiritish bo'yicha tavsiyalar**

Legir- lovchi element	Legir- lanish darajasi	Legirlovchi qo'shimchalar	Kiritish usuli	Suyuqlan- tirish usuli	O'zlash- tirish koef-ti
1	2	3	4	5	6
Cr	Past	Tabiatda legirlangan cho'yan	Shixtaga	Vagranka, elektr pechi	0,8–0,9
	O'rtacha va yuqori	Ferroxrom	—//— Suyuqlan- tirish oxi- rida pechga	Vagranka Elektr pechi	0,8–0,85 0,9–0,95
Ni	Past	Tabiatda legirlangan cho'yan LХN	Shixtaga	Vagranka, elektr pechi	0,9–0,95
	O'rtacha va yuqori	Ferro- nikel liga- turalar, barcha markadagi metall nikel	—//— —//—	Vagranka Elektr pechi, vagranka	0,88–0,92 0,92–0,96
Cu	Past	Tabiatda legirlangan cho'yan	Shixtaga	Vagranka, elektr pechi	0,9–0,95
	O'rtacha va yuqori	Barcha markadagi metall mis	—//— —//—	Elektr pechi, vagranka	0,9–0,95

1	2	3	4	5	6
Ti	Past	Tabiatda legirlangan cho'yan	Shixtaga	Vagranka, elektr pechi	0,6–0,7
	Past va o'rtacha	Ferrotitan	Suyuqlantirish oxirida pechga yoki kovshga	Elektr pechi	0,45–0,50
Mo	Past va o'rtacha	Ferromolibden	—//—	Elektr pechi	0,92–0,93
Al	Past	Metall aluminiy	Kovshga	Elektr pechi, vagranka	0,7–0,75
	Yuqori	—//—	Suyuqlantirish oxirida pechga yoki kovshga	Elektr pechi	0,7–0,75
W	Past	Ferrovolfam	Kovshga	Vagranka, elektr pechi	0,92–0,96
	O'rtacha	Ferrovolfam	Suyuqlantirish oxirida elektr pechga	Elektr pechi	0,92–0,96
V	Past	Ferrovanadiy	Kovshga	Elektr pechi, vagranka	0,88–0,92
	O'rtacha	Ferrovanadiy	Suyuqlantirish oxirida pechga	Elektr pechi	0,88–0,92

7.5. Quymalar uchun yuqori sifatli po'lat olish texnologiyasi

Quymadagi po'latning sifati uni olish texnologiyasiga sezilarli darajada bog'liq bo'ladi. Texnologiya metallmas qo'shilmalarning miqdori, tarkibi, shakli va taqsimlanishini aniqlaydi. Po'latning sifatiga uning tarkibidagi oltingugurt, fosfor, kislorod, azot va vodorod katta ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun tayyorlash texnologiyasi zararli aralash-

malar miqdorining juda kam bo'lishini, metallmas qo'shilmalarning eng kam zararli shaklini va talab etilgan strukturani ta'minlashi kerak.

Yuqori sifatli po'lat olish jarayoni uchta bosqichdan iborat: suyuqlantirish, pechdan tashqarida ishlov berish va termik ishlash. Quymadagi po'latning sifati shixta sifatiga bog'liq bo'ladi. Kislotali jarayonda shixta tarkibidagi zararli aralashmalar miqdorining juda oz bo'lishini ta'minlash ayniqsa muhimdir, chunki u pechdan oltingugurt va fosforini chiqarib yuborishga imkon bermaydi.

Suyuqlantirish jarayonida po'latning sifatiga oksidlash davri (qaynash jadalligi va uning davom etishi, shlakning tarkibi) va qaytarish davri (uning davom etishi, shlak tarkibi, oksidsizlantirgichlar hamda modifikatorlarning tarkibi va miqdori) rejimlari ta'sir qiladi.

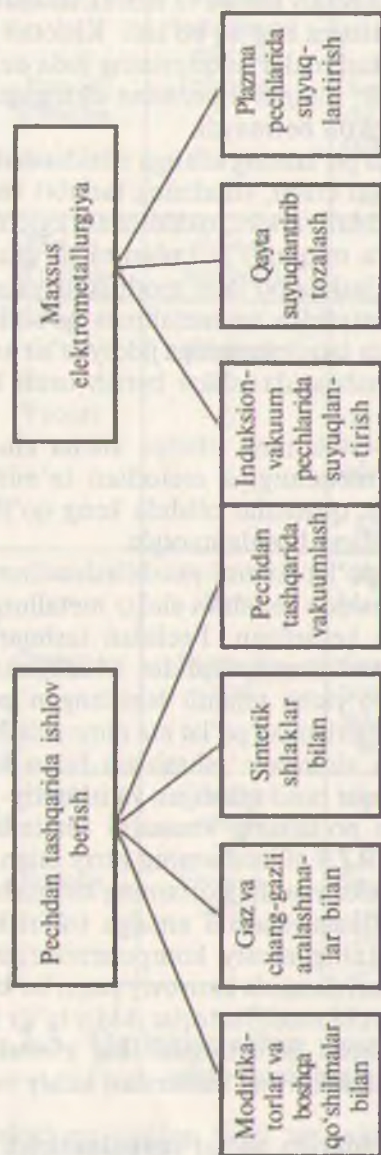
Po'latning sifatini yaxshilashda po'latni modifikatsiyalash, zararli aralashmalar miqdorini kamaytirish va metallmas qo'shilmalarning miqdori, tarkibi, shakli hamda taqsimlanishiga jiddiy ta'sir ko'rsatishga imkon beruvchi pechdan tashqarida ishlov berish usuli katta ahamiyatga ega.

Shunga o'xshash, lekin po'latning sifatiga ancha chuqur ta'sir ko'rsatishni maxsus elektr metallurgiya metodlari ta'minlaydi. Bu metodlar yuqori sifatli po'lat quymalar olishda keng qo'llaniladi va po'lat quymakorligida foydalana boshlanmoqda.

78- rasmda quyiladigan po'lat sifatini yaxshilash uchun qo'llaniladigan pechdan tashqarida ishlov berish va elektr metallurgiya asosiy usullarining klassifikatsiyasi keltirilgan. Pechdan tashqarida ishlov berishning eng oddiy turi modifikatsiyalashdir. Modifikatsiyalangan uglerodli po'lat xossalari bo'yicha tejamli legirlangan po'latlarga, modifikatsiyalangan tejamli legirlangan po'lat esa qimmatbaho va nodir qo'shimchalar (Ni, Mo va shunga o'xshashlar) bilan legirlangan po'latlarga yaqinlashadi. Ishqor hosil qiladigan va ishqoriy-yer metallar bilan modifikatsiyalash po'latning xossasini sezilarli darajada yaxshilashga imkon beradi. RZE silitsidlarning ittriy bilan ishlatishi, ayniqsa, samaralidir. Kompleks modifikatorlarning kiritilishi oksidsizlantirish, tozalash va modifikatsiyalashni amalga oshirishga imkon beradi, chunki RZE po'latning asosiy komponentlariga nisbatan oltingugurt va kislorodga yuqori darajada kimyoviy yaqin bo'ladi. Po'latning sifatiga nitrid hosil qiluvchi modifikatorlar jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Ko'p modifikatorlar metallmas qo'shilmalarning globulizatsiyalanishiga yordam beradi. Bu jihatdan eng samaralasi kalsiy va RZE dir.

7.6. Plazma pechlarida po'lat suyuqlantirish

Shakldor quyma uchun po'latning eng ko'p miqdori elektr yoy pechlarida suyuqlantirib olinadi. Lekin ular juda ko'p tutun ajratadi va shovqin hosil qiladi. Plazma pechlarida bu kamchiliklar bo'lmaydi.



78- rasm. Po'latning sifatini yaxshilash usullarining klassifikatsiyasi.

Ular ishchi bo'shliqning konstruksiyasi bo'yicha yoy pechlariga o'xshashi, lekin elektrodlar o'rniga ularning gumbazida plazmatron o'rnatilgan. Bu pechlarning odatdagi yoy pechlariga nisbatan afzalliklaridan biri — grafit elektrodning bo'lmazligidir, bu esa metallni uglerodlanishdan to'la mustasno qiladi va kam uglerodli po'lat suyuqlantirib olishga imkon beradi. Plazma yoyi plazmatron elektrodi bilan suyuqlantirilgan metall vannasi oralig'ida yonadi. Vanna pech o'zgarmas tok bilan ta'minlanganda anod vazifasini o'taydi, uch fazali tok bilan ta'minlanganda esa sxemaning nol nuqtasi bo'ladi [4]. Kombinatsiyalangan tarzda qizdirish pechlari ham mavjud: plazma-induksion va yoqilg'i-plazma pechlari.

Plazma pechlarining asosiy xususiyati — pech bo'shlig'ini yaxshi germetiklash va binobarin, suyuqlantirishni nazorat qilinadigan atmosferada o'tkazish imkonini berishidir. Neytral atmosferada suyuqlantirish mumkinligi legirlovchi qo'shimchalarni amalda to'la o'zlashtirib, yuqori legirlangan po'latlar chiqindisidan foydalanishga imkon beradi. Sanoatda suyuqlantirish jarayonida 10 tonnali pechda legirlovchi elementlarning, masalan, quyidagicha o'zlashtirilishiga erishiladi (%): 97–99 Mn, 96–98 Cr, 98–100 Ni, 98–100 Mo, 60–80 Ti. Plazma pechlarining shunday afzalliklaridan yana biri — atrofdagi muhitning kam ifloslanishi va mehnat gigiyenasining oshishidir.

Lekin plazma pechlarida argon ishlatilishi va elektr energiya-ning ko'p sarflanishi natijasida ularda suyuqlantirish narxi yoy pechlariga qaraganda yuqori bo'ladi. Shu sababli, plazma pechlaridan yuqori legirlangan po'latlar va qotishmalarni suyuqlantirishda foydalanilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunda kuyindining kamayishi va po'lat sifatining yaxshilanishi hisobiga legirlovchi elementlarning kamayishi hal qiluvchi ahamiyatga ega [4].

Shixta plazma pechlariga po'lat suyuqlantiriladigan pechlardagiga o'xshash yuklanadi, ya'ni ust tomondan (buning uchun pechlar buri-ladigan gumbazlar yoki yumalatib chiqariladigan vanna bilan jihoz-lanadi). Kichik sig'imli (6 t gacha) pechlarda pech tubida o'rnatiladigan elektrodning bo'lishi elektrod bilan qattiq shixta orasida puxta elektr kontakti ta'minlanishi zaruriyatini yaratadi. Gumbaz yopiladi va pechga plazmatronlar shunday tarzda kiritiladiki, bunda koplo uchi va shixta orasida millimetrning yuzdan bir necha ulushlari qadar oraliq o'rnatilsin. Pechga kuchlanish beriladi va elektrod bilan plazmatronlarning soplolari orasida start yoyi yonadi. So'ngra plazma-tron yoy alangasi shixtaga urmaguncha shixta tomon siljiriladi. Ishchi yoy yongandan keyin plazmatronlar ish holatiga qaytariladi va pech ishlab turgan vaqtda qo'zg'almaydigan qilib qoldiriladi. Suyuqlantirish vaqtida pech operativ tarmoqdan uzilganida, yoyni yondirish uchun plazmatron qaytadan metall yaqiniga siljiriladi.

Po'latni suyuqlantirishda plazma pechida sodir bo'ladigan metallurgik jarayonlar yoy pechlarida sodir bo'ladigan jarayonlarga o'xshash bo'ladi, ya'ni jarayon aralashmalarni oksidlantirmasdan sodir bo'ladi, suyuqlantirish jadal olib boriladi, bu esa legirlovchi elementlarni yaxshi saqlab qolishga imkon beradi. Plazma pechi atmosferasining tarkibida juda ko'p miqdorda argon bo'ladi, shuning uchun kislorod, azot va vodorod suyuqlanmadan gaz fazasiga o'tishi mumkin, ya'ni ayni holda gaz fazasi tozalagich hisoblanadi.

7.7. Elektr shlak yordamida po'latni qayta suyuqlantirish (EShQS)

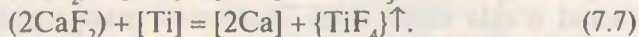
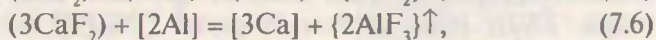
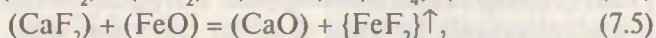
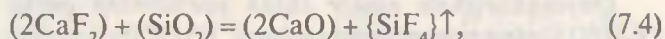
Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish VDP, ELP va PDP bilan bir qatorda, yuqori sifatli po'lat olishning zamonaviy metodi hisoblanadi. *Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish* (EShQS) shundan iboratki, sarflanadigan elektrod ko'rinishidagi qayta suyuqlantiriladigan po'lat elektr o'tkazuvchi suyuq shlak vannasiga solinadi. Bu shlak suv bilan sovitiladigan kristallizatorida unda shlak aralashmasini suyuqlantirib yoki maxsus shlak suyuqlantirish pechida tayyorlangan suyuq shlak quyib hosil qilinadi. Elektrod va shlakdan o'tkaziladigan o'zgaruvchan yoki o'zgarmas elektr toki shlakni 1600–1800 °C temperaturada suyuqlantirilgan holatda saqlab turadi, buning hisobiga sarflanadigan elektrod suyuqlanadi va elektrod uchidan oqib tushadigan metall tomchilari kimyoviy aktiv shlak qatlami orqali o'tadi hamda metallmas qo'shilmalar va zararli aralashmalardan tozalanadi. Shlak vannasidan pastda to'planadigan suyuq metall vannasi asta-sekin qotadi va kristallizatorida quyma ko'rinishida shakllanadi.

Jarayon uzluksiz amalga oshiriladi. Suyuqlantirilgan elektrod metallining muntazam kelib tushishini ta'minlagan holda quyma (yombilar)ni yo'naltirilgan holda qotirish quymada kirishish g'ovaklari bo'lmasligini ta'minlaydi va bir jinsli zich struktura hosil qiladi. Shlak suyuq metallni atmosfera ta'siridan sezilarli darajada saqlaydi. Qayta suyuqlantirish jarayonida quymaning yon sirtida qalinligi 1–3 mm bo'lgan shlak qobig'i (garnisaj) hosil bo'ladi. Qobiq kristallizatoridan tabiiy issiqlik va elektr izolatsiyasini hamda quyma sirtining silliq, toza bo'lishini ta'minlaydi.

Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishning po'lat tozalashning yuqori samaradorligini aniqlaydigan asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat: yuqori temperatura, juda rivojlangan kontaktlashish yuzasi, tarkibida SiO_2 , FeO , MnO miqdori kam bo'lgan yuqori asosli shlak va quymaning yo'naltirilgan kristallanishi.

Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishda fazalarning o'zaro ta'siri ham qator xususiyatlarga ega. Ular shulardan iboratki, shlak tarkibida kislorodni atmosferadan metallga ko'chira oladigan o'zga-

uchan valentli oksidlar deyarli bo'lmaydi. Bundan tashqari, shlaklar tarkibida CaF_2 bo'ladi, ular esa elementlarning quyidagi reaksiyalar bo'yicha gaz fazasiga o'tishiga yordam beradi:



Tarkibida CaF_2 bo'lgan shlaklar, masalan, AHΦ-6, AHΦ-7, AHΦ-8 lar oson suyuqlanadi (suyuqlanish temperaturasi 1200–1350 °C), uncha yuqori bo'lmagan qovushoqlikka va yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi, lekin ulardan foydalanilganda elementlarning bir qismi (7.4)–(7.7) reaksiyalar bo'yicha gaz fazasiga o'tadi hamda zararli floridlar ajralib chiqadi va bundan tashqari, kislorodning atmosferadan shlak orqali o'tishi yengillashadi. Bu kamchiliklar tarkibida flor bo'lmagan fluslar, masalan, AH-209, AH-292 da bo'lmaydi.

Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishda oltingugurtni chiqarib yuborish sulfidlarning bevosita o'tishi $[\text{FeS}] \rightarrow (\text{FeS})$ ga ham, (1.34) va (1.35) reaksiyalarga ham bog'liq. Bu reaksiyalar yuqori temperaturalar, shlakni yuqori darajada asosiligi va reaksiyaga kiradigan yuzaning rivojlanganligi tufayli samarali o'tadi.

O'zgarmas tokdan foydalanilganda, oltingugurt quyidagi reaksiya bo'yicha elektr kimyoviy usulda chiqarib yuborilishi sodir bo'lishi mumkin:



Metallmas qo'shilmalarni chiqarib yuborish ham elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishning (EShQS) ko'rsatilgan xususiyatlariga asoslanadi va sezilarli darajada sirtiy hodisalar hamda texnologik jarayonning o'zining parametrlariga bog'liq bo'ladi.

Metallmas qo'shilmalarni chiqarib yuborishning kinetik tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\ln \frac{K_{\text{m.q.}}^{\text{dast}} - K_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{min}}}{K_{\text{m.q.}}^{\text{oxir}} - K_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{min}}} = \frac{\beta_{\text{ef}}}{v_0}, \quad (7.9)$$

bu yerda: $K_{\text{m.q.}}^{\text{dast}}$ va $K_{\text{m.q.}}^{\text{oxir}}$ – metallmas qo'shilmalarning dastlabki va oxirgi konsentratsiyasi, %; $K_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{min}}$ – Al_2O_3 ning eng kam konsentratsiyasi, %;

$$K_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{min}} = \frac{2}{3}(0,0029 + 9 \cdot 10^{-4} \cdot a_c^2 + 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot a_{\text{Si}}^{3/2});$$

v_0 – quymaning suyuqlanish tezligi, m/s; β_{ef} – effektiv massa ko'chirish koeffitsiyenti.

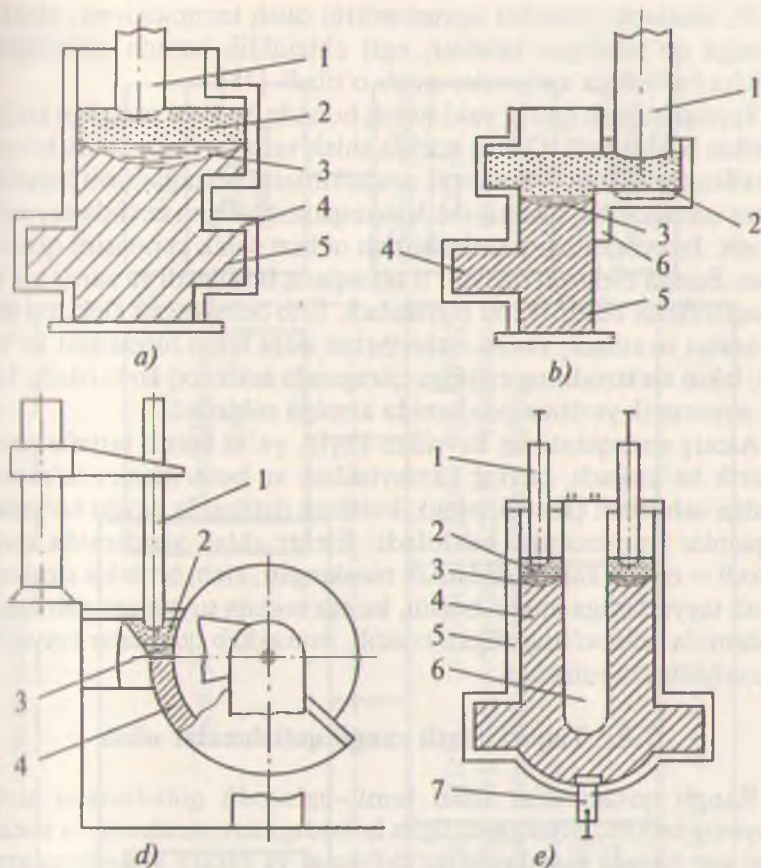
Metallmas qo'shilmalarni effektiv chiqarib yuborish uchun kichik radiusli qo'shilmalar bo'lishi, shuningdek, shlakning sirt tarangligi yuqori va ular shlakni yaxshi ho'llashi zarur.

Quymakorlikda elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish (ESHQS)ning sanoat texnologiyasi. ESHQdan suv bilan sovitiladigan kristallizatorlarda bevosita shakldor quymalar olish uchun foydalaniladi. *Elektr shlak yordamida quyish* (ESHQ) deb ataladigan bu metod o'zida elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish (yuqori sifatli metall olish) va quyish (murakkab shakldagi buyumlar olish) afzalliklarini muvaffaqiyatli mujassamlantiradi. Elektr shlak yordamida quyishda odatdagi quyishdan farqli o'laroq, quyish qolipi bilan birlashgan agregatda suyuq metallning uzluksiz tayyorlanishi hamda sarflanishi ta'minlanadi.

Suyuq metallning quyish qolipi bilan o'zaro ta'sirlashmasligi, shlak vannasi esa suyuqlantirish vaqtida uni himoyalagich bo'lib xizmat qilishi — elektr shlak yordamida quyishning katta afzalligi hisoblanadi. Elektr shlak yordamida quyishda jarayonning ikkita asosiy sxemasi qo'llaniladi. Birinchi sxema bo'yicha (79- *a* rasm), po'lat quymani, quymada elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishda bo'lganidek (joylashishi bo'yicha metall elektrod quyilgan buyum bilan o'qdoq bo'lganda), bevosita quyish qolipida suyuqlantiriladi va kristallizatsiyalanadi. Ikkinchi sxema bo'yicha (79- *b* rasm), quyma suyuq metallni suyuqlantirish sig'imidan (idishidan) suv bilan sovitiladigan qolipga uzluksiz qayta quyish bilan olinadi. Bunda suyuqlantirish sig'imi qo'zg'almas, quyish qolipining metall bilan to'lishiga qarab, unga nisbatan siljiydi. Qayta quyish natijasida suyuq metallning tozalanish darajasini oshirishga, chunonchi, uning gazdan tozalanishini jadallashtirishga, jumladan, vodorodni chiqarib yuborishga ham erishiladi. Metallni qayta quyish murakkab va turli-tuman shakldagi quymalar olish bo'yicha elektr shlak yordamida quyish (ESHQ) imkoniyatini sezilarli darajada kengaytiradi. Bundan tashqari, bimetall, umuman olganda esa ko'p qatlamli quymalar olish imkoniyati paydo bo'ladi [48].

Elektr shlak yordamida quyishda quyma pribil (qo'shilish) qismisiz bo'ladi, chunki kristallanish sharoitlari kirishish kovaklari va o'q bo'yicha g'ovaklikning hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaydi. Suyuqlantirish agregatining quyish qolipi bilan birlashtirilishi litnik sistemasiga metall sarflanishiga yo'l qo'ymaydi. Ichki bo'shliqlar hosil qilish uchun quymalarda, odatda quyish qolipi sterjeni rolini o'ynaydigan qo'zg'almas dronlardan foydalaniladi. Elektr shlak yordamida quyish jarayonlari yuqori bosim ostida ishlaydigan detallarni quyish uchun keng qo'llaniladi (79- *d* rasm).

Elektr shlak yordamida quyish texnologiyasi quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi: sarflanadigan elektrodلarni shay qilish, pechni tayyorlab qo'yish, flusni tayyorlash, start va stabillash, qayta suyuq-



79- rasm. EShQS jarayonining sxemasi:

a – bevosita kristallizatorlarda: 1 – sarflanuvchi elektrod, 2 – shlak vannasi, 3 – metall vannasi, 4 – qo‘zg‘almas kristallizator, 5 – quyma; *b* – metallni qayta quyish bilan: 1 – sarflanuvchi elektrod, 2 – shlak vannasi, 3 – metall vannasi, 4 – qo‘zg‘almas kristallizator, 5 – quyma, 6 – harakatlanuvchi suyuqlantirish sig‘imi; *d* – sferik tubning ESHQ sxemasi: 1 – sarflanuvchi elektrod, 2 – shlak vannasi, 3 – metall vannasi, 4 – quyma; *e* – qulflash armaturasi korpusining ESHQ sxemasi: 1 – sarflanuvchi elektrod, 2 – shlak vannasi, 3 – metall vannasi, 4 – quyma, 5 – kristallizator; 6 – dron, 7 – pilik.

lantirish, quymaning yuqori qismini shakllantirish (xot-topping [48]), kristallizatorlarda sovitish va quymani chiqarib olish. Bu – quyma pechdan «chiqarib olinadigan» yagona jarayondir.

Sarflanadigan elektrodlarni tayyorlash uchun metall odatdagi po‘lat suyuqlantiriladigan pechlarda suyuqlantirib olinadi. Elektrodlar tayyorlashning eng ilg‘or usullaridan biri – uzluksiz quyib chiqishdir. Sarflanadigan elektrodlarga qo‘yiladigan texnik shartlarda kimyoviy

tarkib, dastlabki metallni suyuqlantirib olish texnologiyasi, elektrod yuzasiga qo'yiladigan talablar, egri chiziqlilik hamda qalinligining turlicha bo'lishiga qo'yimlar aytib o'tiladi [48].

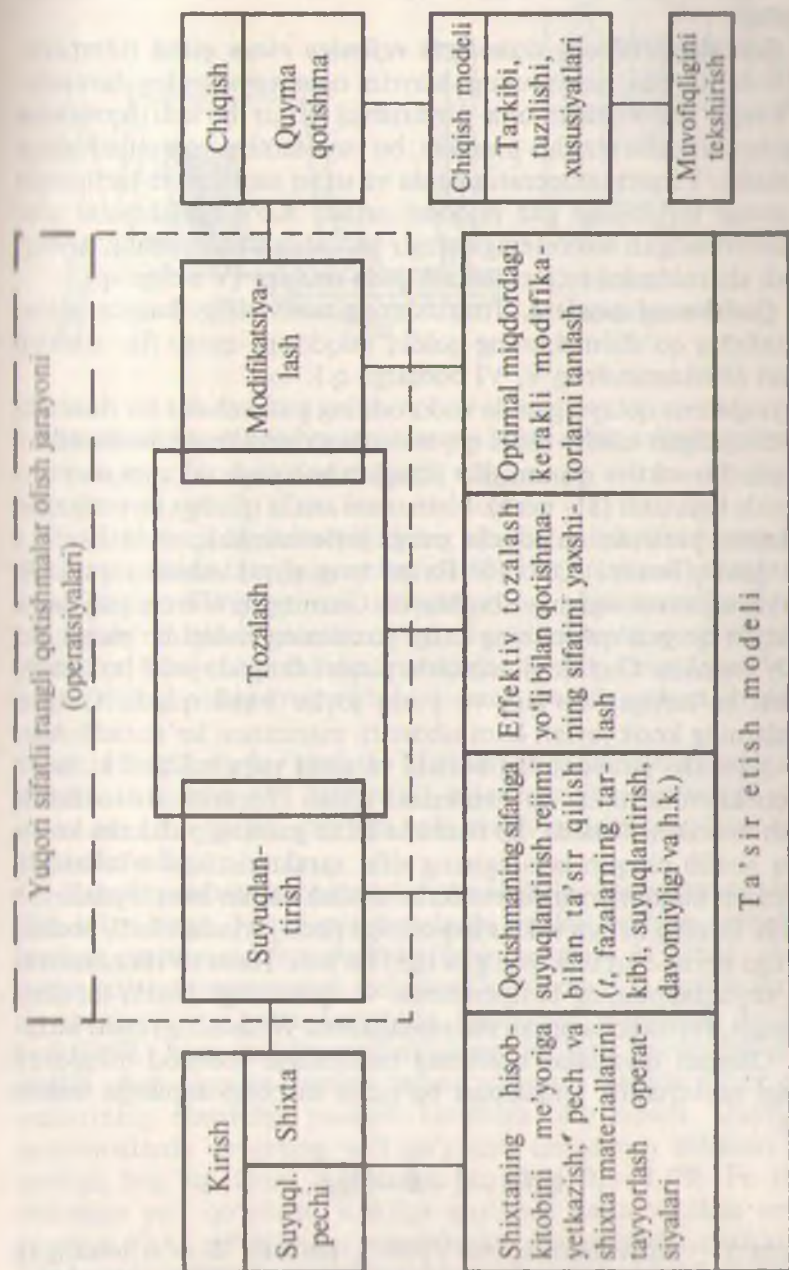
Suyuqlantirish qattiq yoki suyuq holatda bo'lishi mumkin bo'lgan startdan boshlanadi. Qattiq startda shlak vannasi hosil qilish bevosita kristallizatorida start ekzotermik aralashmasini suyuqlantirib bajariladi. Suyuq startda shlak maxsus shlak suyuqlantiriladigan pechda suyuqlantiriladi. Jarayonni barqarorlashtirish uchun shlak vannasini qizdirish zarur. Bunda elektrod qiziydi, u suyuqlana boshlaydi va zarur bo'lgan suyuqlantirish elektr rejimi o'rnatiladi. Erib borayotgan elektrod shlak vannasiga uzatiladi, vanna sathi metall sathi bilan birgalikda ko'tariladi, lekin elektrodning erishiga qaraganda sekinroq ko'tariladi. Uzatish avtomatik yuritma yordamida amalga oshiriladi.

Asosiy suyuqlantirish davridan keyin, ya'ni butun quyma suyuqlantirib bo'lingach, quvvat kamaytiriladi va bosh qismni ta'minlash amalga oshiriladi (xot-topping); kirishish natijasida paydo bo'ladigan nuqsonlar minimumga keltiriladi. Elektr shlak yordamida quyish metodi – zararli aralashmalardan tozalangan, zich, bir tekis strukturali metall tayyorlashga imkon beradi, bu esa boshqa suyuqlantirish usullari yordamida olib bo'lmaydigan xossali, murakkab quymalar tayyorlash imkoniyatini ta'minlaydi.

7.8. Yuqori sifatli rangli qotishmalar olish

Rangli qotishmalar sifati temir-uglerodli qotishmalar singari kimyoviy tarkibi, suyuqlantirilgan holatdagi temperaturasi va tozaligi, ya'ni gaz hamda metallmas qo'shilmalar va zararli aralashmalarning bo'lmasligi bilan aniqlanadi. 80- rasmda quyiladigan yuqori sifatli rangli qotishmalar olish sistemasini analiz qilish sxemasi keltirilgan. Jarayonning markaziy operatsiyasi – tozalashdir. Olinadigan qotishmaning sifati bu operatsiyaga sezilarli darajada bog'liq bo'ladi. Lekin u faqat tozalash bilan aniqlanmaydi. Qotishma sifatiga shixta tarkibi ham, suyuqlantirish jarayonining barcha texnologik parametrlarga rioya qilinishi ham ta'sir qiladi. Yuqori sifatli qotishmalar olish texnologik jarayonning har bir elementini sinchiklab bajarish natijasida ta'minlanadi. Ulardan asosiylari quyidagilardir:

1. Suyuqlantirish pechi va shixtani tayyorlash. Pech shlakdan, metall qoldig'i va hokazolardan tozalanadi. Shixtani nam tigelga yuklashga yo'l qo'yilmaydi. Shixta begona qo'shilmalardan tozalangan, quritilgan bo'lishi kerak, noma'lum tarkibli temir-tersakdan foydalanishga, shuningdek, shixta tarkibida moy, axlat va shunga o'xshashlarning bo'lishiga yo'l qo'yilmaydi. Yuqori sifatli rangli qotishmalarni olish uchun shixtani talab etilgan tarkibdagi quyma materiallar va



80- rasm. Yuqori sifatli rangli qotishmalar olishning sistemali analizi sxemasi.

qaytgan metallardan tashkil etish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki temir-tersak va chiqindilar muqarrar qotishma sifatini yomonlashishiga olib keladi.

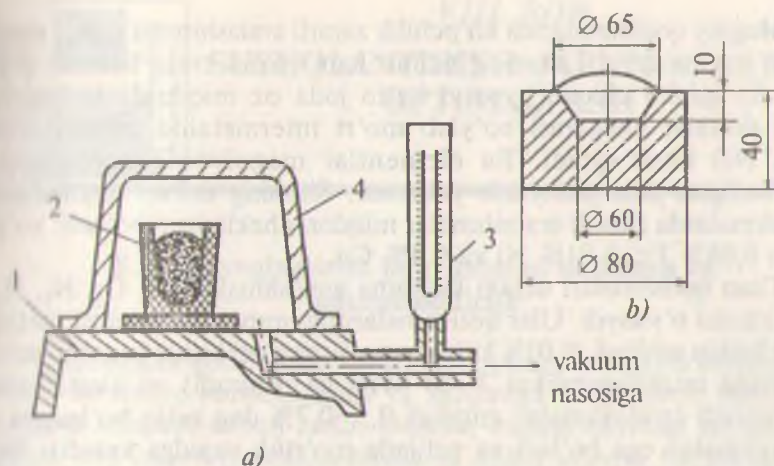
2. Suyuqlantirishning texnologik rejimiga rioya qilish (temperatura, fazalar tarkibi, jarayonning va ayrim operatsiyalarning davomiyligi). Rangli qotishmalar o'ta qizdirishga sezgir bo'ladi (qotishma «keragidan ortiqcha qizishi» mumkin, bu esa sifatning yomonlashishiga olib keladi). Yuqori temperaturalarda va uzoq vaqt saqlab turilganda qotishmalar tarkibidagi gaz miqdori ortadi. Ko'p qotishmalar ular suyuqlantiriladigan atmosferaga sezgir bo'ladilar. Shu sababli suyuqlantirish sharoitlarini to'g'ri tanlash juda muhim (V bobga q.).

3. Qotishmani tozalash. Tozalashning samaraliligi haqida gazlar va metallar qo'shilmalarning qoldiq miqdoriga qarab fikr yuritish mumkin (mukammalroq V, VI boblarga q.).

Suyuqlanma qotayotganida vodorodning pufakchalar ko'rinishida ajralib chiqadigan «aktiv» qismi quymalarda g'ovaklikning rivojlanishini aniqlaydi. Bu «aktiv» qismni sifat jihatdan baholash vakuum namuna yordamida bajariladi (81- rasm). Namunani analiz qilishga tayyorlangan suyuqlanma porsiyasi qalpoqcha ostiga joylashtiriladi, unda 30–60 s ichida qoldiq bosimi $0,67 \cdot 10^2$ Pa ga teng siyraklashish yaratiladi: bunda suyuqlanma «qaynay» boshlaydi. Gazning ajralib chiqish darajasi haqida qotgan quymaning ustki yuzasining holati bo'yicha fikr yuritish mumkin. Gaz ajralib chiqishi yuqori darajada jadal bo'lganda yuza sal ko'tarilgan bo'ladi va yoriq joylar hosil qiladi. Qotgan quymalarning kesik joylari ham ishonarli manzarani ko'rsatadi. Agar faqat «qaynash» jarayonining borishi va ustki yuza holatini kuzatish bilan cheklanilsa, unda bu namunani ishlab chiqarish sharoitlarida qo'llash mumkin. Odatda, bu namuna bilan gazning pufakcha ko'rinishida ajralib chiqish jadalligining sifat xarakteristikasi o'lchanadi, lekin undan miqdoriy xarakteristikalarni olish uchun ham foydalanish mumkin. Buning uchun vakuum qozoniga pech joylashtiriladi, pechda esa ichiga suyuq namuna quyilgan tigel bo'ladi. Havo so'rib olinayotganda suyuqlanmaning temperaturasi va qozondagi bosim uzluksiz o'lchanadi, tuynukcha orqali esa suyuqlanma yuzasining holati kuzatiladi. Olingan qiymatlar qotishma tarkibidagi vodorod miqdorini quyidagi eruvchanlik tenglamasi bo'yicha hisoblab topishga imkon beradi:

$$\lg S = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \lg p,$$

bu yerda: S – eruvchanlik, $\text{sm}^3/100$ g metall; T – o'lchangan temperatura, K; p – qozondagi o'lchangan qoldiq bosim, Pa; A va B – konstantalar.



81- rasm. Rangli qotishmalarni nazorat qilish uchun vakuum-namuna:

1 — plita, 2 — suyuq metalli tigil, 3 — manometr, 4 — shisha qopqoq.

Ajralib chiqadigan vodorodning absolut miqdorini bayon etilgan metod yordamida berilgan qotishma uchun eruvchanlik tenglamasiga kiradigan A va B o'zgarmas kattaliklarning qiymati ma'lum bo'lgan holdagina aniqlash mumkin. Agar kattaliklarning qiymati ma'lum bo'lmasa, birinchi pufakcha metodidan ajralib chiqadigan vodorod miqdorining nisbiy o'zgarishini kuzatib borish uchun foydalanish mumkin.

4. Modifikatorlar tanlash. Modifikatsiyalash qotishmalar sifatini yaxshilash uchun (VI bobga q.) bajariladi. Yuqori sifatli istalgan qotishma (xoh po'lat, cho'yan yoki rangli qotishma bo'lsin) modifikatsiyalanadi.

Rangli qotishmalarda aralashmalar alohida ahamiyatga ega bo'ladi. Shu bilan birga, bir xil qotishmalarda foydali bo'lgan aralashmalar boshqa qotishmalarda zararli bo'lishi mumkin. Masalan, aluminiy qotishmalarida temir zararli aralashma hisoblanadi; u amalda aluminiyda erimaydi va hatto tarkibida juda kam miqdorda bo'lganda ($<0,005\%$) ham ignasimon shaklga ega bo'lgan intermetallid $FeAl_3$ ajralib chiqishiga va shuning uchun aluminiy hamda uning qotishmalarining elastikligi pasayib ketishiga olib keladi. Quyiladigan qotishmalarda temirning yo'l qo'yilgan chegaraviy miqdori quyish usuliga bog'liq. Qum qoliplarga quyishda $0,5-1,0\%$ Fe ishtirok etilishiga yo'l qo'yiladi. Kokilga quyishda katta tezlikda sovitilish hisobiga $FeAl_3$ qo'shilmalar maydalanadi, shu sababdan qotishma tarkibidagi temirning ruxsat etilgan chegaraviy miqdorini $0,8-1,4\%$ gacha oshirish mumkin.

Magniy qotishmalarida ko'pchilik zararli aralashmalar qattiq magniyda ozgina eriydi, shuning uchun ham yoxud erkin holatda (Fe, Na, K) ajralib chiqadi, yoxud hatto juda oz miqdorda bo'lganda ham donalar chegarasi bo'ylab mo'rt intermetallid qo'shilmalar (Cu, Ni) hosil qiladi. Bu elementlar magniyni korroziyaga turg'unligini juda pasaytirib yuboradi. Shuning uchun quyiladigan qotishmalarda zararli aralashmalar miqdori cheklangan bo'ladi: ko'pi bilan 0,08% Fe, 0,01% Ni va 0,1% Cu.

Titan qotishmalari uchun kirishma aralashmalari (C, O₂, N₂, H₂) alohida rol o'ynaydi. Ular qotishmalarning mustahkamligi va qattiqligini keskin oshiradi (0,01% kirishma aralashmalari kichik konsentratsiya zonasida mustahkamlikni 7–20 MPa ga oshiradi) va elastikligini pasaytiradi (aralashmalar miqdori 0,5–0,7% dan ortiq bo'lganda u nol qiymatga ega bo'ladi va natijada mo'rtlik vujudga keladi). Shu boisdan kirishma aralashmalarining miqdori qat'iy cheklanadi: O₂ < 0,1–0,15%; C < 0,5–0,1%; N < 0,04–0,15%. Eng xavflisi vodorod aralashmalaridir, chunki ular α -qotishmalarda plastinka sirpanadigan tekisliklarda gidrid fazasi hosil qiladi. Vodorod mo'rtligi vujudga kelishining oldini olish uchun vodorod miqdori ~0,01% gacha cheklanadi.

Oxirgi 10–15 yillarda tiksoquyma va reoquyma jarayonlari rivojlanib ketdi [36]. Ushbu usulda aluminiy qotishmalaridan 2000- yilda 1% quymalar olindi. SSP (Semi-Solid Processing) va SSM (Semi-Solar Merol) jarayonlarida qotishmalarga qattiq, suyuq holatida maxsus ishlov beriladi. Tiksoquyma jarayonida qotishma qotgandan so'ng qisman bo'shashtiriladi va ishlov beriladi. Reoquyma usulida qotishmaga qisman qotgan holatda ishlov beriladi. Tiksoquyma va reoquyma texnologik jarayonlari barqarorligi va mahsulotining mexanik xususiyatlari yuqoriligi bilan ajralib turadi.



VIII BOB

SUYUQLANTIRISH JARAYONLARINI OPTIMALLASH

8.1. Suyuqlantirish jarayonlarini hisoblash va optimallashtirish

Quyiladigan qotishmalar xossalari optimallashtirish quyidagi tayyorlangan detalning konstruksiyasi va vazifasiga to'liq javob beradigan tarkibni aniqlash uchun zarur. Odatda, masala quyidagi tarzda qo'yiladi: eng yuqori mustahkamlikda va nisbiy uzayish hamda qattqlikning berilgan kattaliklarida komponentlar miqdorini aniqlash talab qilinadi. Xossalarni optimallashtirish jarayonini qotishmalardan birining misolida ko'rib chiqamiz. Masalan, AK5M2 qotishma uchun komponentlar miqdori quyidagi chegaralar bilan cheklangan:

$$\left. \begin{aligned} 4 \leq \text{Si} \leq 6 \\ 2,5 \leq \text{Cu} \leq 3,5 \\ 0,2 \leq \text{Mg} \leq 0,8 \\ 0,2 \leq \text{Mn} \leq 0,8 \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

Mustahkamlik σ (MPa), nisbiy uzayish δ (%) va qattqlik HB quyidagi funksiyalar bilan tavsiflanadi:

$$\sigma = 1,66X_1 - 0,4X_2 - 5X_3 - 2,333X_4 + 13,567, \quad (8.2)$$

$$\delta = 0,695X_1 - 0,6X_2 - 3,6067X_3 - 1,233X_4 + 2,245, \quad (8.3)$$

$$\text{HB} = 0,25X_1 + 5,75X_2 + 1,667X_3 + 1,667X_4 + 59,6587, \quad (8.4)$$

bu yerda X_1, X_2, X_3, X_4 — qotishmadagi kremniy, mis, magniy va marganes konsentratsiyasi.

Cheklashlar (8.1) ni qoniqtiradigan optimal kimyoviy tarkibni topish talab etiladi, bunda $\delta \geq 1,5$, $\text{HB} \geq 70$ shart bajarilganda mustahkamlik eng katta qiymatga ega bo'ladi.

Masala chiziqli programmalash metodi bilan yechiladi. Qotishmaning quyidagi kimyoviy tarkibi olingan (%): Si — 6; Cu — 1,5; Mg — 0,2; Mn — 0,2 ($\delta = 21,46$ kgs/mm² da).

Agar (8.2)–(8.4) tenglamalar chiziqli bo'lmasa, u holda masala murakkablashadi. Ushbu holda masalani [29] da keltirilgan gradiyent metodi yordamida yechish mumkin.

Shixtani hisoblash va optimallashtirish. Optimallashtirish masalasini yechish uchun shixtani hisoblashda kimyoviy tarkib bo'yicha cheklashlarni, shixtaning tarkibi va narxini hamda suyuqlantirish pechlarida undan foydalanishning ruxsat etilgan chegaralarini bilish zarur [33]. Turli suyuqlantirish agregatlarida po'lat suyuqlantirishning o'ziga xos xususiyatlari, shuningdek, suyuqlantirish shartlari diapazoni shixtani optimallashtirishda, cho'yan uchun qilinganidek, elementlar kuyishining o'rtacha hisobidan kelib chiqishga imkon bermaydi. Shuning uchun shixtani hisoblash va optimallashtirishning birinchi bosqichida shixta tarkibidagi elementlarning keltirilgan miqdorini konkret suyuqlantirish sharoitlari hamda bu sharoitlar uchun metall shixta va ferroqotishmalar uchun alohida-alohida kuyindilar kattaligi ko'rinishida keltirilgan tajriba ma'lumotlari asosida aniqlanadi:

$$K_{i(j)}^{\text{kel}} = K_{i(j)} \frac{100 - U_i}{100}, \quad (8.5)$$

bu yerda $K_{i(j)}$ — shixtaning j - komponenti tarkibidagi i - element miqdori.

Bundan tashqari, C, S va P uchun suyuqlantirish agregati turi va jarayonga qarab (kislotali yoki asosli, aralashmalarning oksidlanishi yoki oksidlanmasligi), barcha shixta materiallari uchun umumiy bo'lgan ma'lum qonuniyatlar mavjud. Ularga asoslanib shixta tarkibidagi talab etilgan elementlar miqdori hisoblab topiladi. Elementlarning kuyishi 38- jadvalda keltirilgan.

Oksidlab suyuqlantirishda uglerod uchun, odatda, quyidagi bog'lanishlar qabul qilinadi:

$$K_{C(s)} = K_{C(s)}^p + 0,3 \text{ — asosli jarayon uchun,}$$

$$K_{C(s)} = K_{C(s)}^p + 0,2 \text{ — kislotali jarayon uchun,}$$

bu yerda $K_{C(s)}^p$ — suyuq po'latdagi uglerodning oxirgi miqdori.

Oksidsizlantirmasdan suyuqlantirishda, aksincha, shixtadagi uglerod miqdori tayyor po'latdagiga qaraganda kam bo'lishi kerak:

$$K_{C(s)} = K_{C(s)}^p - 0,15. \quad (8.6)$$

Asosli pechlarda po'lat suyuqlantirilganda oltingugurt va fosfor dastlabki miqdordan 50–70% kuyadi. Kislotali pechlarda ularning miqdori o'zgarmaydi.

41- jadvalda keltirilgan ma'lumotlardan va S, C va P bo'yicha keltirilgan tavsiyalardan foydalanib, kimyoviy tarkibi bo'yicha cheklash tenglamasini tuzish mumkin:

$$K_{i(s)}^n \leq \sum_{j=1}^n K_{i(j)}^{\text{kel}} \cdot x_j \leq K_{i(s)}^*, \quad (8.7)$$

$$K_{S(s)} \leq \sum_{j=1}^n K_{S(j)} \cdot x_j \leq \frac{100 - U_S}{100}, \quad (8.8)$$

$$K_{P(s)} \leq \sum_{j=1}^n K_{P(j)} \cdot x_j \leq \frac{100 - U_P}{100}. \quad (8.9)$$

(8.7)–(8.9) tenglamalar sistemasi texnologik cheklash tenglamalari bilan to'ldiriladi va ular shixtaning eng kam narxi aniqlanadigan tenglama bilan birgalikda yechiladi:

$$Z_{\min} = \sum_{j=1}^n C_j \cdot x_j \rightarrow \min, \quad (8.10)$$

bu yerda: C_j — shixtaning preyskurant bo'yicha j - komponentining narxi, so'm; x — shixtadagi komponentlar miqdori, %.

41-jadval

Po'lat elektr pechlarda suyuqlantirilganda metall shixta va ferroqotishmalarda elementlarning kuyishi (dastlabki miqdordan % hisobida)

Elementlar	Yoy pechi		Induksion pech	
	metall shixtadan	ferro-qotishmadan	metall shixtadan	ferro-qotishmadan
Uglerod	25	10–20	10	10–20
Kremniy	40* 100	10	20	5
Marganes	20 70	5–10**	20	10
Xrom	15* 20	5	15	5
Nikel	5	3	3	1
Vanadiy	15*–50*** 50–80	10	15	5
Volfram	10	5	5	5
Molibden	5	3	3	1
Mis	5	3	3	1
Titan	90* 100	50	50	10
Kobalt	5	3	5	3

Izoh:

* suratda — aralashmalarni oksidlamasdan suyuqlantirish uchun; maxrajda — oksidlab (kislotali jarayonda suyuqlantirishning konkret sharoitlariga bog'liq holda Si qirmochi kuzatiladi);
** — Mn > 5% uchun;
*** — V < 1% uchun.

Shundan keyin chiziqli programmalash metodi yordamida po'lat uchun shixtaning optimal tarkibi topiladi. Xuddi shunday tarzda cho'yan uchun shixtaning optimal tarkibi va suyuqlantirish jarayoni-ning parametrlarini aniqlash mumkin [19].

8.2. Quyma qotishmalarni suyuqlantirishning turli usullarini baholash

Xalq xo'jaligida yangi texnika, ixtirolar va ratsionalizatorlik takliflaridan foydalanishning iqtisodiy samaradorligini aniqlash metodikasiga muvofiq yillik iqtisodiy samarani hisoblash keltirilgan xarajatlarni taqqoslashga asoslanadi:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (8.11)$$

bu yerda: Z — mahsulot birligiga to'g'ri keladigan keltirilgan xarajatlar; C — mahsulot birligining tannarxi; K — solishtirma kapital mablag'lar; $E_n = 15$ — kapital mablag'lar samaradorligining normativ koeffitsiyenti.

Yillik iqtisodiy samaradorlik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$E = (Z_1 - Z_2) \cdot A_2, \quad (8.12)$$

bu yerda: E — yillik iqtisodiy samaradorlik, so'm; Z_1 va Z_2 — ikkala variant bo'yicha mahsulot birligiga to'g'ri keladigan keltirilgan xarajatlar, so'm; A_2 — yangi variant bo'yicha yillik mahsulot ishlab chiqarish hajmi, t.

Asbob-uskunalar va texnologiyaning turli variantlarini baholashda quyma zagotovkalar ishlab chiqarish spetsifikasini hisobga olish lozim. Quymakorlikning o'ziga xos xususiyatlaridan biri — turli-tuman materiallar va yoqilg'i turlaridan foydalanishdir. Quymalar tannarxida metallga qilinadigan xarajatlar 50–60% ga yetadi. Shu sababli, ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirishda metallning tejalishini ta'minlaydigan chora-tadbirlarni ishlab chiqish katta ahamiyatga ega.

Shakli, o'lchamlari va vazni bo'yicha tayyor detallarga yaqin quymalar chiqarilishi metallardan foydalanish koeffitsiyentining ortishini ta'minlaydi va ularga mexanik ishlov berishning mehnat hajmini hamda tannarxini yuqori darajada aniqlaydi. Shuning uchun quymakorlikni takomillashtirish bo'yicha ko'rilgan chora-tadbirlarning iqtisodiy samaradorligini baholashda metall xossalari o'zgarishi, shuningdek, detallarga mexanik ishlov berish bosqichida vujudga keladigan o'zgarishlarni hisobga olish zarur. Shu boisdan yangi texnika va texnologiyaning iqtisodiy jihatdan samaradorligini aniqlashda, birinchi navbatda, tayyor mahsulot ishlab chiqarishga ketadigan xarajatlarni xarakterlovchi ko'rsatkichlarni (metalldan foydalanish koeffitsiyenti, detal tayyorlashda mehnat sarfi, uning tannarxi) aniqlash lozim. Samaradorlikning barcha sohalarga xos bo'lgan umumbaholash

holatlari bilan bir qatorda, har qaysi soha o'ziga xos xususiyatlarga ega. Ularni hisobga olish yangi texnikani obyektiv baholash uchun muhim hisoblanadi.

Suyuq metall ishlab chiqarish o'ziga xos xususiyatlarga ega. Zamonaviy cho'yan quyish sexlarining arsenalida suyuqlantirish agregatlarining juda ko'p turlari — sovuq havo beriladigan eng sodda vagrankalardan tortib, to elektr pechlarining turli-tuman materiallardan va turli texnologik yoqilg'i hamda elektr energiyadan foydalalanadigan turlari bor. Lekin suyuqlantirish agregatlaridan istalganining asosiy vazifasi — metallni mumkin qadar kam xarajat qilib, unga qo'yiladigan talablarni qat'iy muvosiqlashtirib suyuqlantirib olishni ta'minlashdir. Turli cho'yan suyuqlantirish agregatlarining samaradorligini texnik-iqtisodiy jihatdan to'g'ri analiz qilishning hal etuvchi sharti — ko'rib o'tilayotgan variantlarning barcha ko'rsatkichlarini taqqoslashdan iborat.

Bir nechta cho'yan suyuqlantirish usullari bo'yicha tuzilgan qiyosiy samaradorlikni hisoblash: qaysi variant xarajatlarning eng kam bo'lishini ta'minlashini; qo'shimcha va umumiy kapital mablag'lar qanday muddatda o'zini qoplashini; kapital mablag'larning u yoki bu variantlariga sarf qilingan bir so'miga olinadigan foyda qanchalik katta ekanini yoki tannarxi qancha kamayganini va h.k. ni aniqlashga imkon beradi.

Kapital mablag'larning umumiy yig'indisi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$K = K_0 + K_{q.m.}, \quad (8.13)$$

bu yerda: K_0 — suyuqlantirish uskunalariga sarflangan kapital mablag'lar, so'm; $K_{q.m.}$ — qurilish-montaj ishlariga sarflangan kapital mablag'lar, so'm.

Variantlar bo'yicha suyuq metallning bir yillik miqdorini ishlab chiqarish uchun zarur bo'lgan texnologik asbob-uskunalariga sarflangan kapital mablag'lar quyidagi formula bo'yicha hisoblab topiladi:

$$K_0 = \sum_{i=1}^n S_i \cdot P_i \cdot \mu_i, \quad (8.14)$$

bu yerda: n — metall suyuqlantirish texnologik jarayoni operatsiyalarining soni; S_i — suyuqlantirish agregatining narxi; P_i — suyuqlantirish asbob-uskunalarining birlik miqdori; μ_i — suyuqlantirish asbob-uskunalarining band bo'lish koeffitsiyenti.

Yangi asbob-uskunaning narxi transportirovka qilish uchun sarflangan barcha qo'shimcha xarajatlarni hisobga olgan holda preyskurant bo'yicha aniqlanadi. Agar asbob-uskunalar boshqa korxonada buyurtma bo'yicha tayyorlangan bo'lsa, unda uning narxi meta-normativ yoki tayyorlovchining hisobot kalkulyatsiyasi bo'yicha qabul qilinadi.

Vagrancalar va suyuqlantirish pechlarining miqdori quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$n = \frac{Q}{q \cdot F \cdot K_3}, \quad (8.15)$$

bu yerda: Q – suyuq metall chiqarishning yillik programmasi, t; q – suyuqlantirish agregatining unumdorligi, t/soat; F – asbob-uskunalar ishlash vaqtining yillik fondi, soat/yil; K_3 – vaqt ichida asbob-uskuna birligiga nagruzka berish koeffitsiyenti.

Agar suyuqlantirish asbob-uskunasidan keyinchalik foydalanish maqsadga muvofiq bo'lmasa yoki foydalanish mumkin bo'lmasa, uni temir-tersak narxida baholanib, undan utilizatsiya qilish uchun qilingan sarf-xarajatlar chiqarib tashlanadi.

Loyihalananayotgan suyuqlantirish bo'limining binolari va inshootlariga sarflanadigan kapital mablag'lar loyiha smetasi ma'lumotlari bo'yicha qabul qilinadi. Agar smetada ko'rsatilgan narx butunlay po'lat suyuqlantirish sexiga taalluqli bo'lsa, unda suyuqlantirish bo'limiga narxning u egallagan ishlab chiqarish va yordamchi maydon kattaligiga proporsional bo'lgan qismini kiritish mumkin. Kapital mablag'larni ancha batafsil hisoblash quyidagi formula bo'yicha bajariladi:

$$K_{q.m.} = S_{b.n.} \cdot Z_d, \quad (8.16)$$

bu yerda: $S_{b.n.}$ – 1 m³ bino (sex)ning normativ narxi, so'm; Z_d – binoning suyuqlantirish asbob-uskunasi ishg'ol etadigan hajmi, m³.

1 m³ binoning normada ko'rsatilgan narxi ma'lumotnomalarda keltirilgan materiallar asosida qabul qilinadi yoki sexning balans narxini uning hajmiga bo'lishdan kelib chiqqan bo'linma sifatida hisoblab topiladi.

Turli suyuqlantirish agregatlarida cho'yan suyuqlantirishning qiyosiy tannarxi. 1 t yaroqli quymaning tannarxi ikkita qayta ishlash bo'yicha qilingan sarf-xarajatlar yig'indisidan tarkib topadi va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$C = C_I + C_{II}, \quad (8.17)$$

bu yerda: C_I – birinchi qayta ishlash bo'yicha 1 t yaroqli cho'yaning tannarxi; C_{II} – ikkinchi qayta ishlash bo'yicha 1 t yaroqli cho'yaning tannarxi.

Turli suyuqlantirish metodlarini solishtirib ko'rishda suyuq cho'yan tannarxini taqqoslashning o'zi yetarli bo'ladi, chunki xarajatlarning barcha o'zgaradigan bosqichlari birinchi qayta ishlash tannarxiga kiradi, ikkinchi qayta ishlash xarajatlari esa tegilmaydi.

1 t suyuq metallning (birinchi qayta ishlash) tannarxi quyidagi formula bo'yicha so'm/t larda aniqlanadi:

$$C_1 = C_c = C_{sh} + C_{yo} + C_{suyuq}, \quad (8.18)$$

bu yerda: C_{sh} – 1 t suyuq metall hisobidan shixta materiallariga qilinadigan xarajatlar, so'm/t; C_{yo} – yoqilg'i xarajatlari, so'm/t; C_{suyuq} – 1 t suyuq metall hisobidan suyuqlantirish operatsiyasi xarajatlari, so'm/t.

Suyuqlantirish operatsiyasiga bog'liq bo'lgan xarajatlar quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_{suyuq} = C_{mp} + C_{ip}, \quad (8.19)$$

bu yerda: C_{mp} – 1 t suyuq metallga ketadigan qo'shimcha materiallar (shixtadan tashqari) narxi, so'm/t; C_{ip} – suyuqlantirish jarayoni-ning texnologik tannarxi, so'm/t.

1 t suyuq metall hisobidan suyuqlantirish texnologik tannarxi quyidagi xarajatlarni o'z ichiga oladi (so'm/t):

$$C_{ip} = C_{zp} + C_{ap} + C_{rp} + C_{ep} + C_{vp} + C_{kp} + C_{pp}, \quad (8.20)$$

bu yerda: C_{zp} – metall suyuqlantiruvchining ish haqi (qo'shib yoziladigan summa bilan); C_{ap} – suyuqlantiruvchi asbob-uskunalar narxidan ushlab qolingan amortizatsion mablag'; C_{rp} – asbob-uskunalarni remont qilish xarajatlari; C_{ep} – kuch energiyasi xarajatlari; C_{vp} – yordamchi materiallar xarajatlari; C_{kp} – xonalarga qarab turish xarajatlari; C_{pp} – boshqa sex xarajatlari.

Tannarxni kalkulyatsiyalashda mavjud sistemadagi brak ikkinchi qayta ishlash xarajatlarida hisobga olinadi va suyuq metallning tannarxida aks ettirilmaydi. Haqiqatda, ishlab chiqarish sharoitlarida metallurgiya braki bo'ladi, u suyuq metallning tannarxiga kiritilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi, bu esa suyuq metallga amalda qilingan xarajatlarni va u yoki boshqa suyuqlantirish agregatining tejamliligini to'g'riroq baholashga imkon beradi. Buni hisobga olsak, (8.18) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$C_s = \frac{(C_{sh} + C_{yo} + C_{suyuq})}{100 - U - \delta} \cdot 100, \quad (8.21)$$

bu yerda: U – kuyindi bo'lishi sababli bo'ladigan yo'qotishlar, %; δ – metallurgiya braki bo'lishi sababli bo'ladigan yo'qotishlar, %.

Shunday qilib, suyuqlantirish agregatining tejamlilik va texnologik xarakteristikasiga ta'sir qiladigan qo'shimcha omillarni hisobga olib, suyuq cho'yaning texnologik tannarxini solishtirib ko'rish quyidagi

Kulrang cho'yan (C_Y) suyuqlantirish uchun shixtaning tavsiya etiladigan tarkibi

Cho'yan markasi	Suyuqlantirish agregati	Komponentlar sarfi, massadan %					Izoh
		domna cho'yani	chetdan keltirilgan temir-tersak	qirindi		korxona-dan qaytgan metall	
		qayta ishlanadigan	po'lat	cho'yan	po'lat		
C _Y 10	Sovuq havo beriladigan vagranka	30-50	5 gacha	0-10	10-30	20-30	Vagrankalardan elektr pechi bilan dupleksda foydalanilganda shixta tarkibidagi qayta ishlanadigan cho'yan miqdorini 20% gacha oshirish mumkin
C _Y 20	—//—	25-40	5 gacha	10-20	10-25	15-30	
C _Y 25 va C _Y 30	—//—	23-35	5 gacha	15-35	10-20	10-25	
C _Y 10 va C _Y 18	Issiq havo beriladigan vagranka	20-40	5-10	4-10	10-20	20-40	
C _Y 20	—//—	20-30	5-10	10-20	10-25	10-25	
C _Y 25 va C _Y 35	—//—	15-25	—	20-60	5-25	5-20	
C _Y 10	Elektr pechi (yoyli, induktsion, tigelli)	—	10-25	20-40	25-35	25-35	Karbyurizatorlar va ferrosotishmalar hisob bo'yicha 100% dan yuqori
C _Y 25 va C _Y 30	—//—	—	10-25	30-35	15-30	20-30	
C _Y 35	—//—	—	5-10	70-80	—	10-20	
C _Y 40 va C _Y 45	—//—	—	—	95-100	—	10-20	

tarf-xarajat bosqichlari bo'yicha bajarilishi kerak: shixta materiallari, texnologik yoqilg'i (energiya), yordamchi materiallar (shixtadan tashqari), asosiy ish haqi, qo'shimcha ish haqi, sosstrax chegirmasi, amortizatsion chegirmalar, asbob-uskunalarga qarash va ta'mirlash. Xonalarga qarab turish, kuch elektr energiyasi xarajatlari va boshqa sex chiqimlari juda oz o'zgaradi, shuning uchun ularni hisobga olmasa bo'ladi.

Cho'yanning sifati dastlabki shixta materiallari tarkibiga sezilarli darajada bog'liq bo'ladi. Shixta quyma buyumlarning FOCT talab qiladigan mexanik xossalarini va arzon bo'lishini ta'minlashi kerak. Kulrang, oq va juda mustahkam cho'yanlarni suyuqlantirib olish uchun tavsiya etiladigan shixta tarkiblari 42, 43, 44, 45- jadvallarda keltirilgan. Ular stanok sanoati korxonalari uchun ishlab chiqilgan.

Shixta materiallari. Shixta materiallariga qilinadigan xarajatlar quyidagi formuladan topiladi:

$$C_{sh} = \sum_{i=1}^{\omega} S_{m_i} \cdot N_m, \quad (8.22)$$

bu yerda: ω — shixtada ishlatiladigan materiallar turlarining miqdori; S_{m_i} — shixta materiali i - turi birligining preyskurantda ko'rsatilgan narxi, so'm; N_m — tegishli materialni sarflash normasi, kg.

Shixtaga qilinadigan xarajatlarni aniqlash uchun bizning hisoblari-mizda shixta materiallarining narxi 01-08 va 01-01 preyskurantlar bo'yicha olingan.

43- jadv al

Oq (bolg'alanuvchan) cho'yan suyuqlantirish uchun tavsiya etiladigan shixta tarkibi

Shixta tarkibi	Komponentlar sarfi, massadan %				Qaytarilgan xususiy cho'yan, shu jumladan qirindi
	domna cho'yani		temir-tersaklar		
	quyila-digan	qayta ishlana-digan	cho'yan	po'lat (shu jumladan, qirindi)	
I	10-15	10-15	5-15	25-40 (6-10)	35-50 (5-10)
II	—	20-25	0-10	25-40 (6-10)	40-50 (4-8)
III	—	10-20	—	40-50 (0)	40-50 (5 gacha)

Eslatma. 1. Quymalarning grafitizatsiyalanish jarayoni normal o'tishi uchun yumshayotganda shixtadagi xrom miqdori 0,06-0,07% dan oshmasligi zarur.

2. Elektr pechlarda suyuqlantirilganda po'lat va cho'yan qirindilari sochma holda, vagrankalarda briket ko'rinishida ishlatilishi mumkin.

Sharsimon grafitli yuqori darajada mustahkam cho'yan (B4) olish uchun tavsiya etiladigan shixta tarkibi (o'rta hisobda)

Cho'yan markasi	Suyuqlantirish agregati	Komponentlar sarfi, massadan %							Izoh
		domna cho'yani		chetdan keltirilgan temir-tersak		qirindi		korxonadan qaytgan metall	
		quyiladigan	qayta ishlanadigan	cho'yan	po'lat	cho'yan	po'lat		
B4 45-5 dan B4 50-2 gacha	Sovuq havo beriladigan vagranka	20-60	10-50	20-30	5-10	0	0	Yagona va kam seriyali ishlab chiqarishda og'ir va qalin devorli quymalar uchun ishlatilsin	
		20-50	10-50	20-30	5-10	5-10	0		Perlit klassi cho'yanni ko'plab ishlab chiqarishda ko'proq ishlatilsin
B4 38-17 dan B4 70-2 gacha	Issiq havo beriladigan asosli vagranka	20-30	10-20	20-30	15 gacha	5-10	5 gacha	Perlit va ferrit klassi cho'yan quymalarini ko'plab uzluksiz ishlab chiqarishda ishlatilsin	
		10-40	10-40	50 gacha	5-10*	15 gacha	0		Ferrit klassi cho'yanni suyuqlantirishda tozalangan quyma cho'yanlar ishlatilsin
B4 80-2	Kislotali yoy pechi	10-40	10-40	50 gacha	5-10*	15 gacha	5 gacha	Tozalangan quyma cho'yanlar ishlatilsin	
		0-15	0-15	50 gacha	60 gacha	50 gacha	5 gacha		Ferrit klassi cho'yanni suyuqlantirishda ko'proq konvertordan olingan tunukasimon po'lat va elektrotehnika po'lati chiqindilari ishlatilsin

Izoh.* Shixta materiallari tarkibida titan, aluminiiy, qo'rg'oshin, surma, mishyak, vismut, qalay va boshqa qo'shimchalar cheklangan miqdorda bo'lishi lozim.

Izoh. * Shixta materiallari tarkibida titan, aluminiiy, qo'rg'oshin, surma, mis, shlyak, vismut, qalay va boshqa qo'shimchalar cheklangan miqdorda bo'lishi lozim.

**Vermikular grafitli yuqori darajada mustahkam cho'yan olish
uchun tavsiya etiladigan (o'rta hisobda) shixta tarkibi**

Suyuqlantirish agregati	Komponentlar sarfi, massadan %			I z o h
	Qayta ishlana- digan domna cho'yani	Xususiy ishlab chiqarish qaytargan	Ferro- qotishmalar	
Futrovkasi kislotali elektr yoy pechi	97	—	Shixta hisobiga muvofig 3% pechga va kovshga	Tozalangan cho'yandan foydala- nilsin
Futrovkasi asosli elektr yoy pechi	45—55	45—55	Shixta hisobi bo'yicha 100% dan yuqori	Desul- fatsiya qilinsin
	73—75	22—25	Shixta hisobiga muvofig 3% pechga va kovshga	—//—
	97	—	—//—	Tozalangan cho'yan foy- dalanilsin
Sanoat chastotali induksion pech	98	—	Shixta hisobiga muvofig 2% kovshga va pechga	—//—

E s l a t m a . 1. Shixta materiallari tarkibida mikroqo'shilmalar (xrom, titan, aluminium, qo'rg'oshin, surma va boshq.) cheklangan miqdorda bo'lishi kerak.

2. Shixta tarkibi asosiy elementlar miqdori quyidagicha bo'lgan dastlabki cho'yanni suyuqlantirib olishni ta'minlashi kerak (%): 3,5—3,8 C; 1,5—1,85 Si; 0,5—1,0 Mn; 0,1 gacha P va 0,01 gacha S.

Yoqilg'i. 1 t suyuq metall hisobida ma'lum tur yoqilg'i narxi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_{yo} = S_{yo} \cdot N_{yo}, \quad (8.23)$$

bu yerda: C_{yo} — yoqilg'i birligining ulgurji narxi, so'm/t yoki so'm/m³;
 N_{yo} — 1 t metall uchun berilgan yoqilg'idan sarflash normasi, kg/t yoki m³/t.

Cho'yan ikkinchi marta suyuqlantirilganda texnologik yoqilg'i sifa-
tida koks yoki gazdan, metall elektr pechda suyuqlantirilganda elektr
energiyadan foydalaniladi. Texnologik yoqilg'i xarajatlarini hisoblashda
koks va tabiiy gaz narxi 01—06, 04—03 preyskurantlar bo'yicha qabul

qilinadi. Elektr pechlarda suyuqlantirilganda elektr energiya xarajatlari tariflar bo'yicha aniqlanadi va o'rnatilgan quvvat uchun to'lanadigan asosiy haq har bir kilovatt-soat uchun to'lanadigan qo'shimcha haqqa qo'shiladi.

Sarflanishi suyuqlantirish agregatlarining tipiga qarab o'zgaradigan yordamchi materiallar jumlasiga fluslar, modifikatorlar, futerovka materiallari kiradi. Yordamchi materiallarga narx 01-07; 01-01 preyskurant bo'yicha olinadi.

Ish haqi. Asosiy va yordamchi ishchilarning ish haqi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_z = C_{zo} + C_{zv}, \quad (8.24)$$

bu yerda: C_{zo} — asosiy ishchilarning ish haqi (ustamalar bilan), so'm; C_{zv} — yordamchi ishchilarning ish haqi, so'm.

Asosiy ishchilarning ish haqi (ustamalar bilan) quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$C_z = Z_o \cdot t \cdot \alpha \cdot K_{iz}, \quad (8.25)$$

bu yerda: Z_o — asosiy ishchilarning tarif bo'yicha belgilangan bir soatdagi o'rtacha maoshi, so'm/odam · soat; K_{iz} — qo'shimcha ish haqini va sosstrax fondidagi qo'shib yozilgan summani hisobga oladigan koeffitsiyent; t — berilgan jarayon bo'yicha 1 t suyuq metall tayyorlashdagi o'rtacha ish hajmi, kishi/soat; α — ishlab chiqarish normalarini oshirib bajargani uchun tarifga qo'shimcha haqni hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Yordamchi ishchilarning ish haqi bevosita yoki bilvosita tartibda hisoblab topiladi.

Asbob-uskunalarni amortizatsiya qilish. Amortizatsion chegirmalar quyidagi formula bo'yicha hisoblab topiladi:

$$C_a = \frac{K \cdot N_a}{100}, \quad (8.26)$$

bu yerda: K — asbob-uskunalarga sarflangan kapital mablag'lar; so'm; N_a — amortizatsion chegirmalar normasi, %.

Suyuqlantirish asbob-uskunalarini ta'mirlash. Asbob-uskunalarini ishlatishga yaroqli holatda saqlash uchun planli-ehtiyot ta'mirlash o'tkaziladi. Ta'mirlashga sarflanadigan xarajatlar miqdori asbob-uskunalarini ta'mirlashning qanchalik murakkabligiga bog'liq.

Ta'mirlash xarajatlarini quyidagi formuladan hisoblab topish mumkin:

$$C_p = \frac{W_p \cdot B_p}{T_p}, \quad (8.27)$$

bu yerda: W_p — bitta ta'mirlash siklida barcha ta'mirlash turlariga qilinadigan o'rtacha xarajat, so'm; B_p — ta'mirlashning murakkablik gruppasi; T_p — asbob-uskunalarining ta'mirlanishi orasidagi siklning o'rtacha davomiyligi, soat.

8.3. Aluminiy qotishmalari tayyorlash oqilona texnologiyasini tanlashning asosiy prinsiplari

Aluminiy va uning qotishmalarining xossalarini, shuningdek, ularni qizdirishda va suyuqlantirishda sodir bo'ladigan issiqlik-fizika hamda fizik-kimyoviy jarayonlarni ko'rib chiqish shuni ko'rsatadiki, bu qotishmalarni olish uchun amalda bo'lgan barcha suyuqlantirish usullari yaroqlidir. Oson bug'lanuvchi komponentlarning sezilarli yo'qolishi kuzatiladigan vakuumda suyuqlantirish jarayonigina bundan mustasno.

Aluminiy qotishmalarini olish usuli unumdorlikning juda yuqori bo'lishini, suyuqlanma kerakli kimyoviy tarkibga, temperaturaga va sifatga ega bo'lishini ta'minlashi kerak. Qotishma mumkin qadar qisqa muddat ichida tayyorlanishi kerak. Shu boisdan tubli pechlarda energiya manbai bilan shixta (suyuqlanma) orasida konveksiya yordamida uzatiladigan issiqlik ulushini oshirish hisobiga issiqlik almashinuvini jadallashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu bilan bir qatorda, pech vannasidagi issiqlik va massa almashtirish jarayonlarini suyuqlanma aralashtirish uchun har xil vositalardan foydalanish hisobiga jadallashtirish mumkin. Bunda temperaturani o'zgarmas saqlash va uning aniq rostlanishini ta'minlash (ayniqsa, tarqatish pechlarida) muhim shartlardan hisoblanadi.

Qotishma tayyorlash jarayonida oksidlanish hisobiga metallning eng kam yo'qotilishiga harakat qilinsa yaxshi bo'ladi. Shu sababli, shixtani va ayniqsa, oson oksidlanadigan qo'shimchalarni suyuqlanmaga botirib suyuqlantirish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki bunda tomchilab suyuqlanish sodir bo'lmaydi. Tarqatish pechlarida suyuqlanmani saqlab turishda uning gaz bilan to'yinishiga yo'l qo'ymaslik lozim. Tarkibidagi qattiq va gazsimon metallmas qo'shimchalar miqdori bo'yicha suyuqlanmaning talab etilgan sifat darajasi suyuqlantirish agregatida ham va undan tashqarida ham effektiv tozalash vositalaridan foydalanib ta'minlanadi. Kimyoviy jihatdan suyuqlanma bilan o'zaro ta'sirlashmaydigan, o'tga chidamli materiallar qo'llangani ma'qul. Fluslar, gazlar va tozalovchi moddalar atrofda muhitni iflos qilmasligi kerak. Qotishmalar tayyorlash uchun foydalaniladigan texnologiya va asbob-uskunalar shixtaning oson yuklanishini, pechni tozalashning, vannadagi suyuqlanmani aralashtirishning, shlak olinishining qulay bo'lishini ta'minlashi kerak va h.k. Alohida operatsiyalarni mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish yaxshi ta'sir ko'rsatadi.

Aluminiy qotishmalarini tayyorlash usuli chiqarilayotgan mahsulot tannarxining past bo'lishini va asbob-uskunalarni ekspluatatsiya qilish xarajatlarini uncha yuqori bo'lmasligini, shuningdek yoqilg'i va energiyani juda kam yo'qotilishini ta'minlashi kerak. Shu sababli suyuqlantirish qurilmalarining FIKini mumkin qadar yuqori qiymatga erishishiga intilish zarur. Deformatsiyalanadigan aluminiy qotishmalarini tayyorlash uchun turli tipdagi pechlarning kelajakda qo'llanilishini ko'rib o'tilayotganda elektr pechlardan eng takomillashtirilgani — kanalli-induksion pechning quyish sexlarining kelajakdagi asosiy suyuqlantirish agregati deb hisoblashga imkon bermaydigan kamchiliklarga ega ekanligini nazarda tutish lozim. Bu kamchiliklar jumlasiga shixtani pechga yuklashdan oldin uni tanlab olish va quritish, shuningdek, kanallarni vaqti-vaqti bilan tozalash kiradi.

Qattiq shixtani suyuq vannaga yuklashning o'ziga xos xususiyatlari bilan bog'langan birinchi kamchilik, yirik seriyalab ishlab chiqarishda jiddiy muammoga aylanadi, chunki oldindan quritish sistemasining tashkil etilishi tutun chiqarib yuborish sistemasiga ega qizdirish qurilmalarini joylashtirish uchun qo'shimcha maydon talab qiladi, bu esa tayyor mahsulot tannarxini sezilarli oshiradi. Ikkinchi kamchilik, avtomatlashtirish darajasi past hamda ko'p mehnat sarflanadigan, olib qo'yiladigan induktorlarni ta'mirlash va futerovka qilish bo'yicha maxsus sexlar yaratish zarurligiga olib keladi.

Aluminiy qotishmalarini uzluksiz suyuqlantirish jarayonlarining yuqori darajada jadal o'tishi va suyuqlantirish agregatlarining maydoni hamda hajmidan ancha to'la foydalanishga erishilishidan, quyish sexlarida jarayonni yuqori darajada avtomatlashtirish, mehnat unumdorligini keskin oshirish va mehnat sharoitlarini yengillashtirish mumkinligidan iborat potensial afzalliklari shunchalik kattaki, shixtali pechlarni deformatsiyalanadigan aluminiy qotishmalarini tayyorlash uchun suyuqlantirish pechlarining eng istiqbolli turi deb hisoblashga imkon beradi.

Yaqin kelajakda yangidan kiritiladigan quvvatlarning katta qismini uzluksiz suyuqlantirish mumkin bo'lgan shixta tipidagi pechlar bilan jihozlash nazarda tutilgan. Uzluksiz suyuqlantirishga to'la o'tish esa aluminiy qotishmalari metallurgiyasining rivojlanishida sifat jihatdan yangi bosqich bo'lib qoladi.

46- jadvaldan alanga yordamida qizdiriladigan shixta tipidagi va metall eng kam kuygan holda shixtani oksidsizlantirmasdan suyuqlantirishni ta'minlaydigan himoya atmosferasida suyuqlantiriladigan pechlardan foydalanish istiqbolliligi ko'rinib turibdi. Aluminiy qotishmalarini tayyorlashda yo'qotishlarni keskin qisqartirish zaruriyati hozirgi vaqtning o'zidayoq bunga o'xshagan pechlarni yaratish maqsadga muvofiq deb hisoblashga imkon beradi [1].

**Deformatsiyalanadigan aluminiiy qotishmalari tayyorlash
uchun mo'ljallangan pechlar asosiy tiplarining
texnik xarakteristikasi**

Pech tipi	Sig'imi, t	Unumdorlik, t/soat	FIK, %	Kuyindi, %
Alangali qaytaruvchi	30-40	2-4	30	1,5
Gumbazi olinadigan yumaloq	15-25	2-4	25	1,5
Shaxta tipidagi	40-60	4-12	60	1,0
Elektr qarshilikli	7-10	0,5-0,8	70 (28)	1,2
Kanalli-induksion	6-25	1,3-3,0	60-75 (24-30)	0,8
Plazmali	40-60	4-12	60 (24)	0,3

E s l a t m a. Qavs ichidagi qiymatlar elektr stansiyaning FIKini hisobga olib ko'rsatilgan.

ADABIYOTLAR

1. Андреев А.Д., Гогин В.Б., Марков Г.С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. М., 1980.
2. Баландин Г.Ф., Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. М., 1971.
3. Барнацкий И.И. Теория металлургических процессов. Киев-Донецк, «Вища школа», 1978, стр. 288.
4. Бортинчук Н.И., Крутянский М.М. Плазменно-дуговые плавильные печи. М., «Энергоиздат», 1981, стр. 120.
5. Вашенко К.И., Шумихин В.С. Плавка и внепечная обработка чугуна. Киев, «Вища школа», 1992, стр. 246.
6. Взаимодействие расплавленного металла с газом и шлаком. /С.И.Поппель, Ю.П.Никитин, Л.А.Бармин, В.Н.Бороненков, В.В.Павлов, А.И.Сотников, В.В.Хлынов, В.П.Немченко/. Свердловск, УПИ, 1975, стр. 184.
7. Воздвиженский В.М., Грачев В.А., Спасский В.В. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении. Москва, «Машиностроение», 1984, стр. 432.
8. Высококачественные чугуны для отливок. (В.С.Шумихин, В.П.Кутузов, Ю.Г.Бобро и др.) Под ред. Н.Н.Александрова. Москва, «Машиностроение», 1982, стр. 222.
9. Григорян В.А., Белянчиков Л.Н., Стомахин А.Я. Теоретические основы электросталеплавильных процессов. Москва, «Металлургия», 1979, стр. 256.
10. Долотов Г.П., Коудаков Е.А. Печи и сушила литейного производства. Москва, «Машиностроение», 1984, стр. 192.
11. Дибров И.А., Комиссаров В.А. Современная технология и оборудование для плавки и внепечной обработки чугуна. Москва, «Машиностроение», 1979, стр. 72.
12. Жуковинский А.А., Шварцман Л.А. Физическая химия. Москва, «Металлургия», 1976, стр. 573.
13. Индукционные печи для плавки чугуна/Б.П.Платонов, А.Д.Акименко, С.М.Богуцкая и др. Москва, «Машиностроение», 1976, стр. 176.
14. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукамел А.С. Теплопередача. Москва, «Энергоиздат», 1981, стр. 416.

15. Куликов В.А. Раскисление металлов. Москва, «Металлургия», 1975, стр. 504.
16. Кожуров В.А. Термодинамика металлургических шлаков. Москва, «Металлургия», 1955, стр. 164.
17. Кобелев Е.И., Дибров И.А., Комиссаров В.А. Повышение качества серого чугуна в производстве отливок. Обзор №9—72—31, Москва, НИИМАШ, 1972, стр. 51.
18. Косников Г.А. Основы литейного производства. Издательство СПбГТУ, 2001, стр. 210.
19. Косников Г.А. Расчет основных параметров процесса плавки чугуна. Ленинград, ЛПИ, 1981, стр. 68.
20. Колобнев И.Ф., Крымов В.В., Мельников А.В. Справочник литейщика. Цветное литье из легких сплавов. Изд. 2-ое, Москва, «Машиностроение», 1974, стр. 416.
21. Кузнецов Б.Л. Плавка чугуна в дуговых электропечах. Москва, ИПК МИНАВТОПРОМа, 1983, стр. 70.
22. Китаев Б.Н. Теплообмен в доменной печи. Москва, «Металлургия», 1966, стр. 279.
23. Кудрюмов А.В., Пикун М.В., Чурсин В.М. Литейное производство цветных металлов. Москва, «Металлургия», 1982, стр. 352.
24. Леви Л.Н., Мариенбах Л.М. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов. Москва, «Машиностроение», 1970, стр. 496.
25. Линчевский Б.В. Вакуумная индукционная плавка. Москва, «Металлургия», 1975, стр. 240.
26. Сегодня и завтра литейного производства, тезисы докладов. 26—28 июня, 2001, Санкт-Петербург, стр. 184.
27. Мариенбах Л.М. Печи в литейном производстве. Москва, «Машиностроение», 1964, стр. 355.
28. Мариенбах Л.М. Металлургические основы ваграночного процесса. Москва, Машгиз, 1969, стр. 328.
29. Морозов А.И. Современное производство стали в электропечах. Москва, «Металлургия», 1983, стр. 184.
30. Мchedlishvili В.А. Термодинамика и кинетика раскисления стали. Москва, «Металлургия», 1978, стр. 288.
31. Патон Б.Е., Тихановский А.Л. Классификация и основы математического описания металлургических процессов переплавы. Киев, «Наукова думка», 1974, стр. 150—162.
32. Пелых С.Г., Семесенко М.П. Оптимизация литейных процессов. Киев, «Вища школа», 1977, стр. 192.

33. Производство чугунных и стальных отливок. Раздел: Исследование литейных процессов с использованием АВ и ЦВМ. (А.М. Михайлов, В.П. Соловьев, Э.Б. Тен, И.Н. Ильин.) Москва, 1977, стр. 134.
34. Пчелин Б.И. Изготовление автомобильных отливок из цветных сплавов в массовом производстве. «Литейное производство», №11, 1981, стр. 30–33.
35. Rasulov S.A. Quymakorlikda metallarni suyuqlantirish usullari. Toshkent, 1998, 190 b.
36. Семенов Б.Н., Мельников Н.А. Принципы и техпроцессы получения точных заготовок из сплавов, находящихся в твердожидком состоянии. «Металлургия машиностроения», №1, 2001.
37. Справочник по чугунному. Под. ред. Н.Г. Гиршовича. Москва–Ленинград, «Машиностроение», 1978, стр. 758.
38. Сухарчук Ю.С., Юдкин А.К. Плавка чугуна в вагранках. Москва, «Машиностроение», 1981, стр. 143.
39. Технология плавки и внепечной обработки серого, ковкого и высокопрочного чугунов. РТМ2, МТ20–2–82, Москва, 1982, стр. 144.
40. Триндюк Л.М., Казаков М.Ф., Гавриленко Б.В. Дуплекс-процесс выплавки чугунов. ЭИ Опыт ВАЗа, Тольятти, 1975, №19, стр. 9–20.
41. Хабаш Ф. Основы прикладной металлургии. Москва, «Металлургия», 1975, том I, стр. 232.
42. Шаров М.В. Литейные свойства металлов и сплавов. Москва, «Наука», 1967, стр. 135–138.
43. Шульте Ю.А. Электрометаллургия стального литья. Москва, «Металлургия», 1970, стр. 224.
44. Шульте Ю.А. Прогресс электрометаллургии сталилитейного производства. «Литейное производство», №11, 1980, стр. 1–3.
45. Шульте Ю.А. Производство отливок из стали. Киев–Донецк. «Виша школа», 1983, стр. 184.
46. Шумихин В.С., Лузан П.П., Жельнио М.В. Синтетический чугун. Киев, «Наукова думка», 1971, стр. 159.
47. Эллиот Д.Ф., Глейзер М., Ромакришна В. Термохимия сталеплавильных процессов. Москва, «Металлургия», 1969, стр. 252.
48. Электрошлаковые печи. Под. ред. Б.Е. Патона и Б.Н. Медовара. Киев, «Наукова думка», 1976, стр. 415.

MUNDARIJA

Kirish	3

I BOB. QUYMAKORLIK METALLURGIYASINING ASOSIY PRINSIPLARI VA METODLARI

1.1. Quymakorlik metallurgiyasining umumiy xarakteristikasi	4
1.2. Suyuqlantirishning asosiy prinsiplari va usullari	6
1.3. Shixtani suyuqlantirishning material va issiqlik balansini tuzish hamda hisoblashning asosiy prinsiplari	11
1.4. Cho'yan suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi	16
1.5. Po'lat suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi	19
1.6. Rangli qotishmalarni suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi	24
1.7. Quyma qotishmalarga suyuq holatda ishlov berishning asosiy prinsiplari va usullari	26

II BOB. METALLURGIK JARAYONLARNING FIZIK-KIMYOVIY ASOSLARI

2.1. Moddalar tuzilishi, xossalari va o'zaro ta'sirlashishining umumiy xarakteristikasi	32
2.2. Kimyoviy termodinamika asoslari	45
2.3. Metallurgik fazalarning tuzilishi	61
2.4. Eritmalar. Komponentlarning eritmalaridagi termodinamik funksiyalari	69
2.5. Fazalar o'zaro ta'sir jarayonlarining mexanizmi	77
2.6. Metallurgik jarayonlar kinetikasi	82

III BOB. PECHLI JARAYONLARNING NAZARIY ASOSLARI

3.1. Pechlarda issiqlikni generatsiyalash	86
3.2. Pechlarda gazlar harakati	101
3.3. Pechlarda issiqlik uzatilishi	106
3.4. Pechning issiqlik balansi	117

IV BOB. QUYISH SEXLARINING SUYUQLANTIRISH PECHLARI

4.1. Cho'yan suyuqlantiriladigan pechlar	122
4.2. Po'lat suyuqlantiriladigan pechlar	142
4.3. Rangli qotishma suyuqlantiriladigan pechlar	148

V BOB. QUYMA QOTISHMALARNI SUYUQLANTIRISH

5.1. Shixta materiallari	163
5.2. Cho'yanni suyuqlantirib olish jarayonining fizik-kimyoviy xarakteristikasi	172
5.3. Vagrankalarda cho'yan suyuqlantirish	189
5.4. Cho'yanni yoy elektr pechlarida suyuqlantirish	200
5.5. Induksion elektr pechlarida cho'yan suyuqlantirish	203
5.6. Cho'yan suyuqlantirish polijarayonlari	207
5.7. Po'lat suyuqlantirish jarayonining fizik-kimyoviy xarakteristikasi	210
5.8. Marten pechlarida po'lat suyuqlantirish	215
5.9. Konvertorda po'lat olish	219
5.10. Elektr pechlarda po'lat suyuqlantirish	221
5.11. Aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish	227
5.12. Magniy qotishmalarini suyuqlantirish	234
5.13. Rux qotishmalarini suyuqlantirish	238
5.14. Mis qotishmalarini suyuqlantirish	239
5.15. Nikel qotishmalarini suyuqlantirish	246
5.16. Titan qotishmalarini suyuqlantirish	249
5.17. Qiyin criydigan metallar asosida tayyorlanadigan qotishmalarni suyuqlantirish	251

VI BOB. QUYMA QOTISHMALARGA SUYUQ HOLATDA ISHLOV BERISH

6.1. Tozalash	253
6.2. Legirlash	264
6.3. Modifikatsiyalash	266

VII BOB. YUQORI SIFATLI QUYMA QOTISHMALAR OLISH

7.1. Plastinkasimon grafitli yuqori sifatli cho'yan olish	276
7.2. Sharsimon grafitli yuqori darajada mustahkam (BЧ) cho'yan olish	280
7.3. Bolg'alanuvchan (KЧ) cho'yan olish	283
7.4. Legirlangan cho'yan olish	284
7.5. Quymalar uchun yuqori sifatli po'lat olish texnologiyasi	286
7.6. Plazma pechlarida po'lat suyuqlantirish	287
7.7. Elektr shlak yordamida po'latni qayta suyuqlantirish (ESHQS)	290
7.8. Yuqori sifatli rangli qotishmalar olish	294

VIII BOB. SUYUQLANTIRISH JARAYONLARINI OPTIMALLASH

8.1. Suyuqlantirish jarayonlarini hisoblash va optimallashtirish	299
8.2. Quyma qotishmalarni suyuqlantirishning turli usullarini baholash	302
8.3. Aluminiy qotishmalari tayyorlash oqilona texnologiyasini tanlashning asosiy prinsiplari	311

Adabiyotlar	314

Saidabbos Asametdinovich Rasulov
Vladimir Aleksandrovich Grachev

QUYMAKORLIK METALLURGIYASI

*Texnika oliy o'quv yurtlarining bakalavriat va magistratura
talabalari uchun darslik*

Toshkent «O'qituvchi» 2004

Bo'lim mudiri *M. Po'latov*
Muharrirlar: *M. Shermatova, M. Po'latov*
Rasmlar muharriri *Sh. Qahhorov*
Tex. muharrir *S. Tursunova*
Kompyuterda sahifalovchi *Sh. Rahimqoriyev*
Musahhihlar: *A. Ibrohimov, Z. Sodiqova*

IB № 8268

Original-maketdan bosishga ruxsat etildi 7.05.2004. Bichimi 60×90¹/₁₆ Kegli 10,5, 12 shponli. Tayms gam. Ofset bosma usulida bosildi. Bosma t. 20,0. Nashr. t. 19,5. 1 000 nusxada bosildi. Buyurtma № -117

«O'qituvchi» nashriyoti. Toshkent, 129. Navoiy ko'chasi, 30.
Shartnoma № 09–128–03.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining G'afur G'ulom nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. Toshkent, 128, U.Yusupov ko'chasi, 86. 2004.

34.61
R25

Rasulov S.A., Grachev V.A.

**Quymakorlik metallurgiyasi: Oliy o'quv yurtlari bakalavr
va magistratura talabalari uchun darslik. — T.: «O'qituvchi»,
2004. — 320 b.**

Sarlavhada: O'zR Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi.

BBK 34.61ya73

