

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

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 «Konstrukcion 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

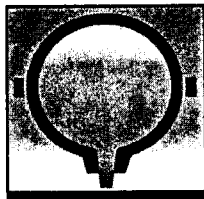
Quymakorlik mashinasozlikning asosiy tayyorlov bazasi hisoblanadi. Quymakorlik – zarur mexanik va ekspluatatsion xususiyatlarga ega bo'lgan muayyan shaklli zagotovkalar olishning eng universal usulidir. Mashina va asboblardagi detallarning ko'p qismi quymakorlikning farqi shundaki, quymakorlikda metall 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 fan bo'lib, unda quymakorlik detallarni suyuqlantirish pechlari 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 qotishmalarning kimyoviy tarkibini, strukturasini, 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 manbayi 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.

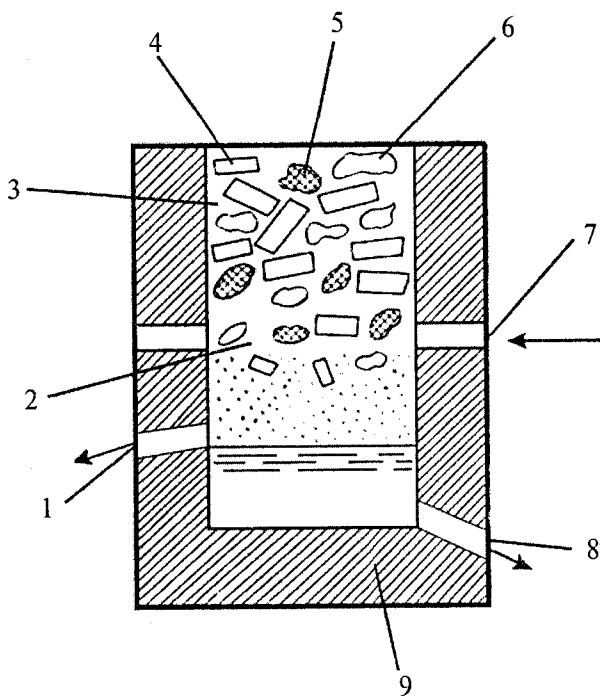
Suyuqlantirish agregatiga qattiq materiallar solinadi, u yerdan esa suyuq metall yoki qotishma va suyuqlantirishdagi qo'shimcha mahsulot hisoblangan shlak (tashqol) olinadi (1- rasm). Qattiq materiallar aralashmasi shixta deb ataladi. Uning tarkibi tayyor metall yoki qotishmaning talab etilgan xossalriga 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 boisdan «metall» atamasi ko'pincha quyma qotishmani bildiradi (suyuq metall, ikkilamchi metallar va h.k.).



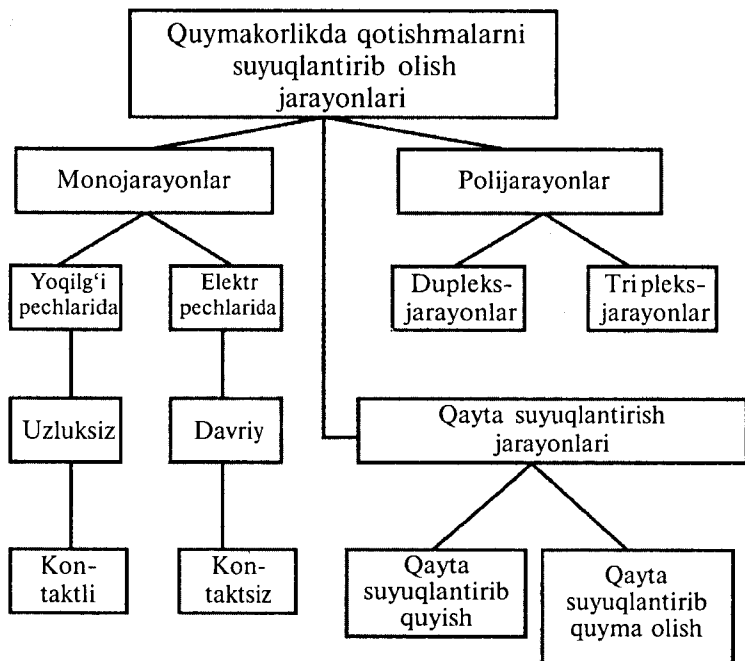
1- rasm. Metallarni suyuqlantirish pechining umumiy tuzilishi:

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.

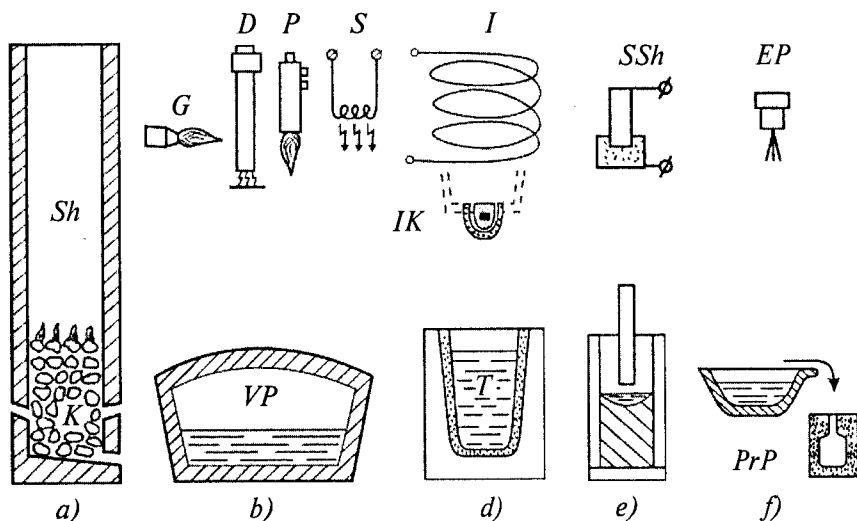
shakllanadi (uzluksiz jarayon), yo maxsus sharoitlarda, masalan, vakuumda qoliplarga quyish natijasida shakllanadi.

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 qatlaminig qarshiligi, EP — elektron pushka.

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

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

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; $T \cup IK = IKP$ – kanalli induksion pechlar; $T \cup S = PST$ – tigelli qarshilik elektr pechlari.

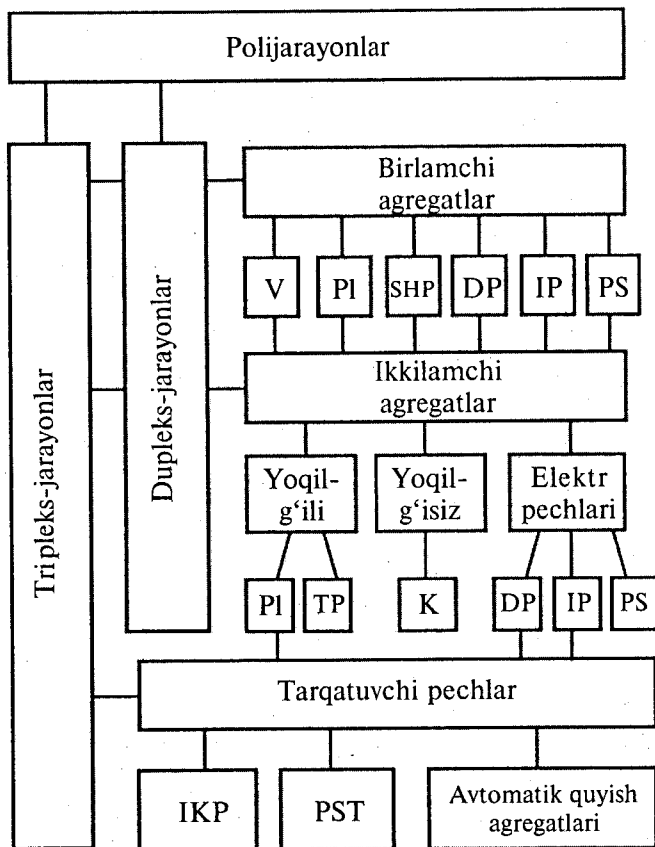
Issiqlik hosil qiluvchi ikkita manbani bitta shakldagi ishchi bo‘shliq yoki ikki shakldagi ishchi bo‘shliq bilan birlashtirilganda kombinatsiyalashgan suyuqlantirish pechlari hosil bo‘ladi. Masalan, $T \cup I \cup P = IPP$ – induksion-plazmali pech; $SH \cup V \cup G = SHP$ – shaxta-alangali pech va 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, qotishmalarning 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.

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

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:

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

Shixta tarkibini hisoblash

Shixta tarkibi suyuqlantirib olinadigan qotishmaning talab etiladigan kimyoviy tarkibi va mavjud shixta materiallariga asoslanib 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 ρ 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 asoslanib, 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:

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

bu yerda: $K_{i(\text{sh})}$ — 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:

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

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	$X_{j(sh)}$	$a_j = \frac{K_j(n)X_n}{100}$
Jami shixtada	100	—	$\sum_i^n a_i = K_{i(sh)} \pm U_i$
Kuyishi (qirmoch), %	—	—	
Jami suyuq qotishmada	—	—	$K_{i(s)} = K_{i(sh)} \cdot \frac{100 \pm U_i}{100}$

* — quyima 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:

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

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

$$Z_{\min} = \sum_i^n X_j C_j, \quad (1.4)$$

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 tuzishi va ularni yechish qiyin emas.

Issqlik 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:

$$Q_i = C_i t_i M_i, \quad (1.9)$$

bu yerda: C_i , t_i , 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:

$$M'_m + M_u + M'_g + M_f + M'_{ft} = M''_m + M_{sh} + M''_g + M''_{ft}, \quad (1.10)$$

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'_{ft} ba M''_{ft} – futerovkaning suyuqlantirishga qadar va suyuqlantirishdan keyingi massasi; M_{sh} – hosil bo'lgan shlak massasi.

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

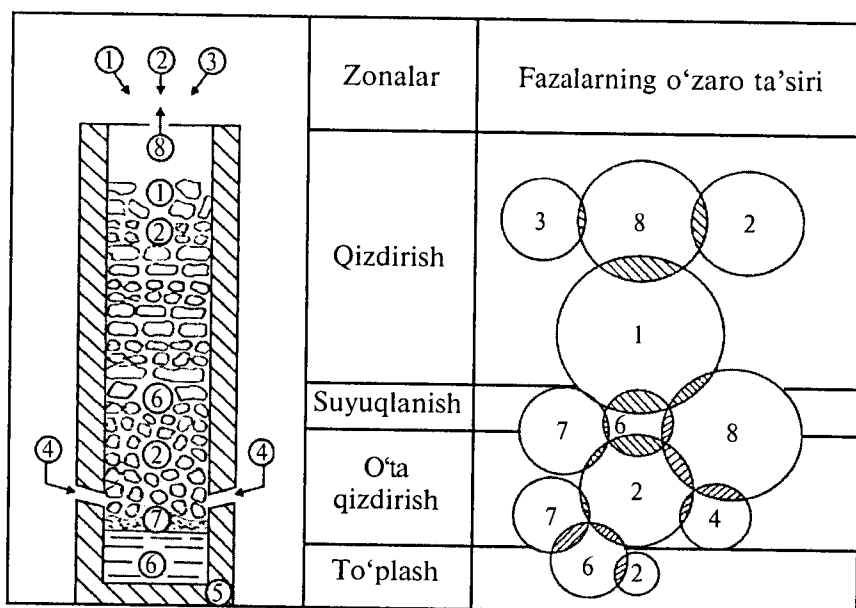
bu yerda $Q'_m, Q_u, Q'_g, Q_f, Q''_m, Q_{sh}, Q''_g, Q''_{ft}$ – tegishli massa oqimlarining entalpiyasi; Q_{man} – manbadan keladigan issiqlik; $Q_{yo'q}$ – atrofda muhitda yo'qoladigan issiqlik; $Q_{o'z}$ – suyuqlantirishda turli fazalar va komponentlarning o'zaro ta'siri natijasida ajraladigan yoki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

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

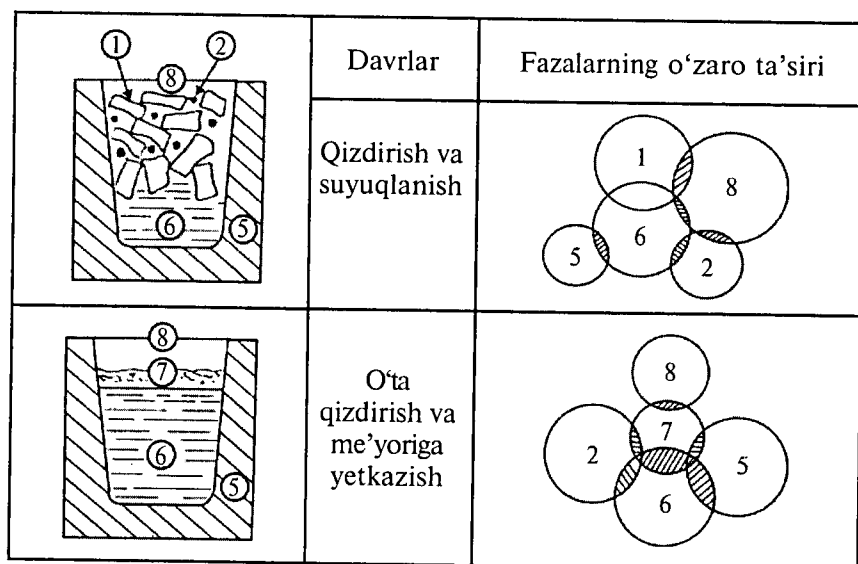
$$\eta = \frac{Q'_m - Q''_m}{Q_{man}} \cdot 100\%.$$

1.4. Cho'yan suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi

Vagrankalarda istalgan suyuqlantirish jarayoniga xos bo'lgan operatsiya tegishli zonalarda 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)

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

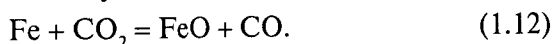
1 – qattiq metall; 2 – koks yoki karbyurizator; 3 – flyuslar; 4 – beriladigan gaz; 5 – pech futerovkasi; 6 – suyuq metall; 7 – suyuq shlak; 8 – pechning gaz fazasi.

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.

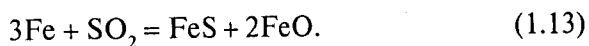
Suyuqlantirish jarayonida fazalarning bir-biriga ta'sir etishi natijasida cho'yanning kimyoviy tarkibi shakllanadi. Kimyoviy tarkibning shakllanishiga fazalar o'zaro ta'sirining quyidagi turlari ta'sir ko'rsatadi: qattiq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi (I Ox bilan belgilaymiz); suyuq metallning 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 tegishli k_i^{vIOx} , $k_i^{vII Ox}$ 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.

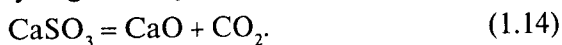
Birinchi zonada (birinchi davrda, 5- b rasmga q.) qattiq shixta materiallari gaz fazasi bilan reaksiyaga kirishadi. Bunda atmosfera temirga ta'sir etib, uni oksidlaydi:



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



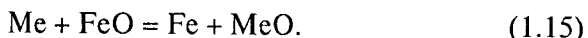
Bu zonada ohaktosh quyidagi reaksiya bo'yicha parchalanadi:



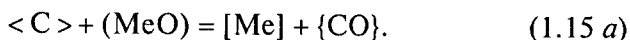
Bunda yoqilg'i namligini va uchuvchan moddalarini yo'qotadi.

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

uglerodsizlanish jarayonlari birinchi zonaga qaraganda ancha jadal sodir 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 erib, koksdan ajralish hamda elementlarning quyidagi tipdagi reaksiya bo'yicha qaytarilish jarayonlari boshlanadi:



Bu 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, C larni oksidlaydi (1.15 reaksiya). Metall tomchilari koks bilan kontaktlashganda (1.15 a) tipdagi reaksiyalar bo'yicha elementlar intensiv 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.

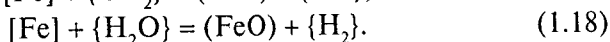
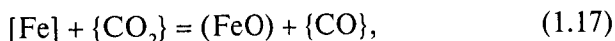
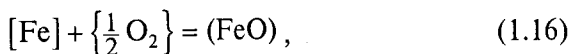
Barcha fizik-kimyoviy jarayonlar natijasida Si va Mn ularning shixtadagi dastlabki miqdoriga qaraganda tegishlicha 15–25% va 25–30% kamayadi. Natijada uglerod va oltingugurt miqdori ortadi. Temir miqdori ham biroz kamayadi. Uning oksidlari, Si va Mn oksidlari, yoqilg'i kuli hamda futerovkaning erigan sirti vagranka shlakini tashkil etadi.

1.5. Po'lat suyuqlantirishning umumiy xarakteristikasi

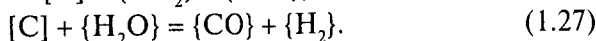
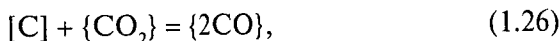
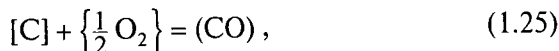
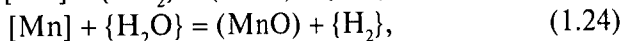
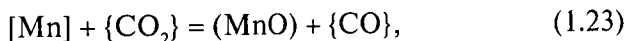
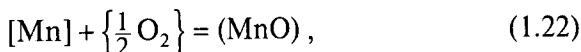
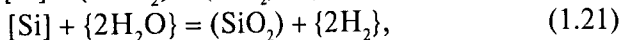
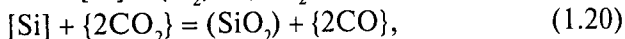
Quymakorlikda tarkibida zararli aralashmalar juda kam bo'lgan po'lat olish muhimdir. Ayniqsa, kislorod, oltingugurt va fosfor miqdorini kamaytirish zarur bo'ladi, chunki bu elementlar po'latda oksid, sulfid va oksisulfid qo'shilmalar hosil qiladi. Zararli aralashmalar miqdori qancha oz bo'lsa, po'lat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

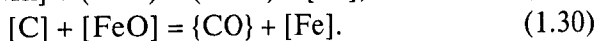
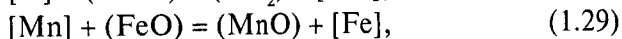
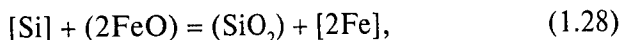
Po'lat tarkibining shakllanishi suyuqlantirayotganda fazalarning o'zaro ta'siri natijasida sodir bo'ladi (6- rasm). Har qaysi davrni alohida-alohida ko'rib chiqamiz. Po'latni suyuqlantirish uchun shixta tarkibida ko'p miqdorda po'lat temir-tersaklari bo'ladi. Mamlakatimizda 1 t yaroqli po'lat quymalariga 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:

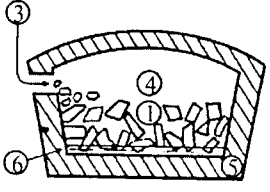
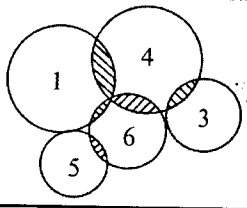
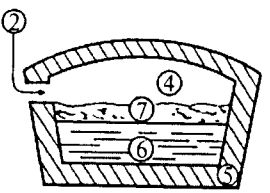
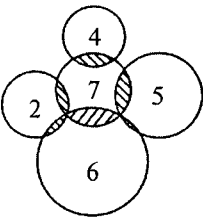


Gaz fazasi metall bilan o'zaro ta'sirlashganda boshqa elementlar ham oksidlanadi:



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

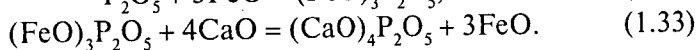
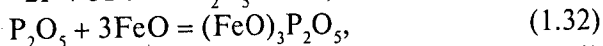
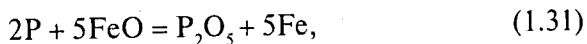
- 1 – qattiq metall; 2 – qaytargichlar (oksidsizlagichlar); 3 – flyuslar;
4 – gaz fazasi; 5 – pech futerovkasi; 6 – suyuq metall; 7 – shlak;
8 – pechning gaz fazasi.

Yuqoridagi reaksiyalar faqat asosiy elementlar uchun keltirilgan. Istalgan 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.

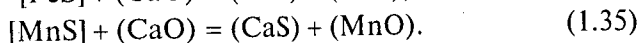
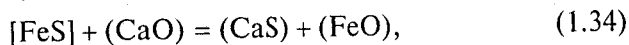
Umumiy fizik-kimyoviy qonuniyatlarga muvofiq, oksidlovchi shlak ostida (1.28) va (1.29) reaksiyalar bo'yicha Si va Mn lar ancha aktiv kuyadi, so'ngra (1.30) reaksiya bo'yicha vannaning CO

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:



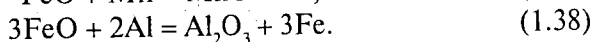
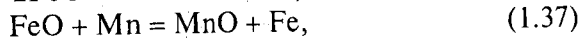
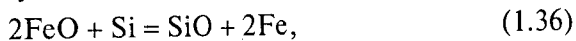
Fosfordan muvaffaqiyatli tozalash uchun yuqori temperatura talab qilinmaydi.

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 tarkibidagi 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 ajralish 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 oq shlak bilan ishlaganda oltingugurt miqdori dastlabki miqdorga qaraganda 70% kamayadi. Buning uchun maxsus shlak suyuqlantiriladigan pechga ega bo‘lish kifoya [39].

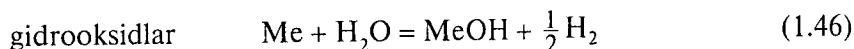
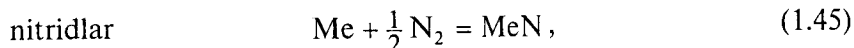
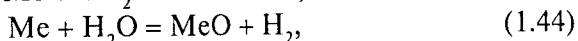
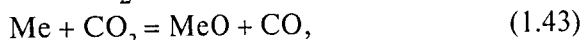
Pechdan tashqarida ishlov berish oksidsizlantirishdan tashqari modifikatsiyalashni ham o‘z ichiga olishi mumkin. Y.A.Shulte va boshqa tadqiqotchilar qimmatbaho va tanqis elementlar (masalan, Ni, Mo, W) bilan legirlangan po‘lat quymalarning katta qismini ishqoriy-yer va noyob-yer elementlari bilan kompleks 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 pech vannasi yoki tigelga hisoblangan tarkibli shixta yuklanadi, energiya manbai 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.

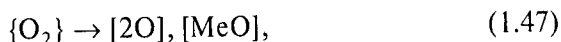
Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olishda yuklash va suyuqlantirib olish rejimining ketma-ketligiga rioya qilish ayniqsa muhim, chunki qotishmalarning ko'pchilik komponentlari oksidlanish hamda gazlarni yutishga (gazlarning erishi, gazlar bilan birikma hosil qilish) yuqori darajada moyil bo'ladi.

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



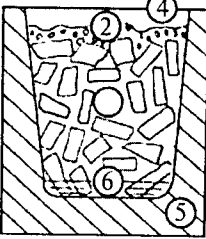
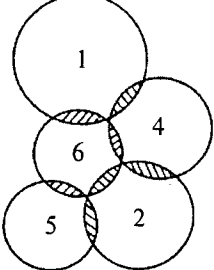
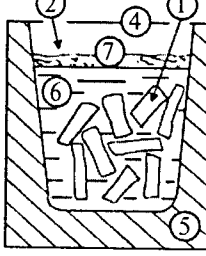
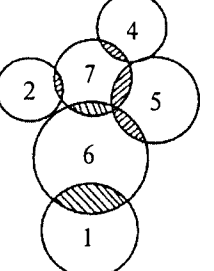
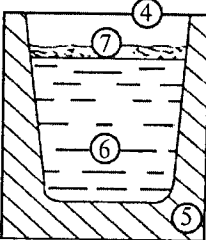
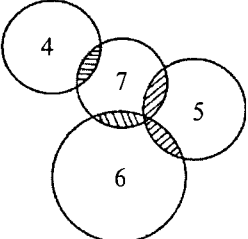
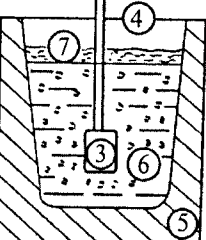
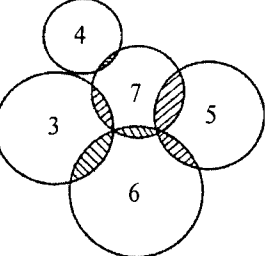
va boshqa birikmalarni hosil qilishi mumkin.

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 va suyuqlanti- rish	
 b)		
 d)	O'ta qizdirish va me'yoriga yetkazish	
 e)		

7- 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.

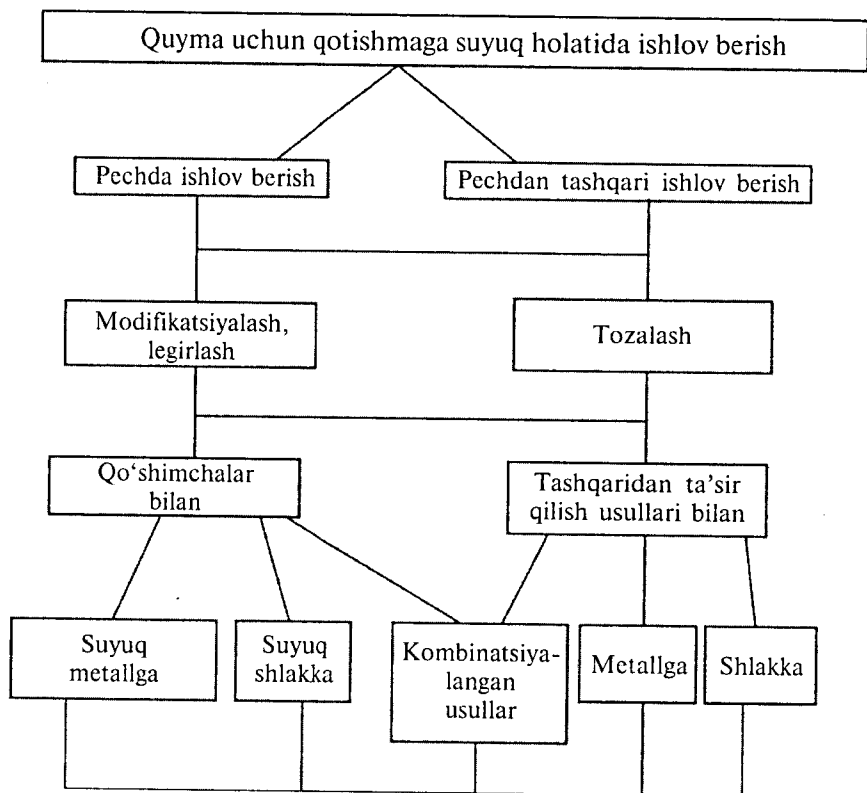
Metallning pechdan chiqarilishi to'rtta usulda amalga oshiriladi: letka orqali, pechni qiyalatib, magnitogidrodinamik nasoslar vositasida va cho'michlab olish. Cho'michlab olish ishlarini maxsus robot-manipulatorlar bajaradi. Ular metallni ish pechidan cho'michlab olib, uni qolipga quyadi. Katta bo'lmagan 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-



8- rasm. Quyima qotishmalarni suyuq holatda ishlov berish jarayonlarining klassifikatsiyasi.

lar) 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) bor quyish qolipi (F) bo'lishi mumkin; ish kamerasida modifikator joylashtiriladi (9- rasmga 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.

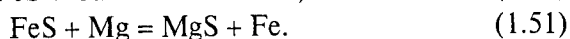
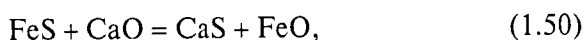
Pechdan tashqarida ishov berish 9- rasmda ko'rsatilgan elementlarni birlashtirib amalga oshiriladi. Masalan, modifikatsiyalashning quyidagi metodlari mavjud: $L \cup VJ$ — novda ligatura bilan modifikatsiyalash, $L \cup D \cup VJ$ — shuning o'zi, lekin dozator ishlatiladi, $M \cup ZK \cup GK$ — germetik 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.

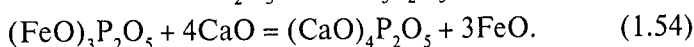
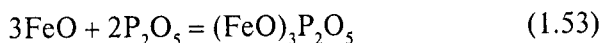
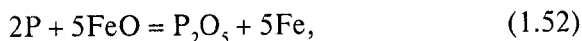
Quymakorlikda yuqori temperaturada amalga oshiriladigan va zararli aralashmalarning bir fazadan boshqasiga o'tishi bilan bog'liq bo'lgan pirometallurgik usul keng tarqalgan; bir fazadan boshqasiga o'tishga oksidlanish—qaytarilish reaksiyalari, aralashmalarni boshqa faza bilan adsorbsiyalash (*adsorbsion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

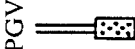
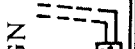
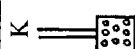
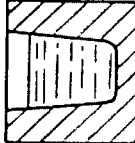
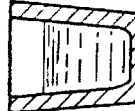
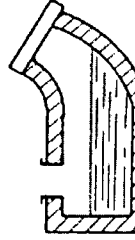
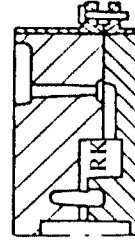
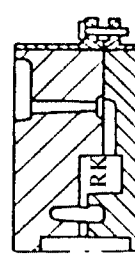
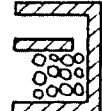
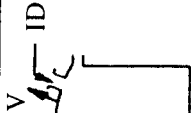
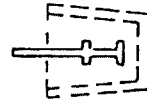
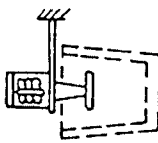
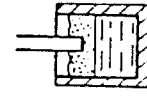
Chiqarib yuboriladigan zararli qo'shimchalarni uchta turga bo'lish mumkin: metallda erigan va metallmas qo'shilmalar yoki gazlar ko'rinishida bo'ladigan aralashmalar. Metallda erigan aralashmalar oksidlab tozalash usuli bilan chiqarib yuboriladi. Bu usul aralashmalarning O, S, Cl, F lar bilan asosiy 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:



Kiritiladigan qo'shimchalar	Gazsimon O, N, NG	Qattiq M, A, L, F	Suyuq F, Sh
Kiritish qurilmasi	 D  PGV  PGN  MV  K  ZK  I		
Kiritish yoki ta'sir qilish joyi	 P  VJ  OK  GK  RK  F		
Maxsus qurilmalar	 UF  A, VK  V, ID  VU  MP  UZ  EU		

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

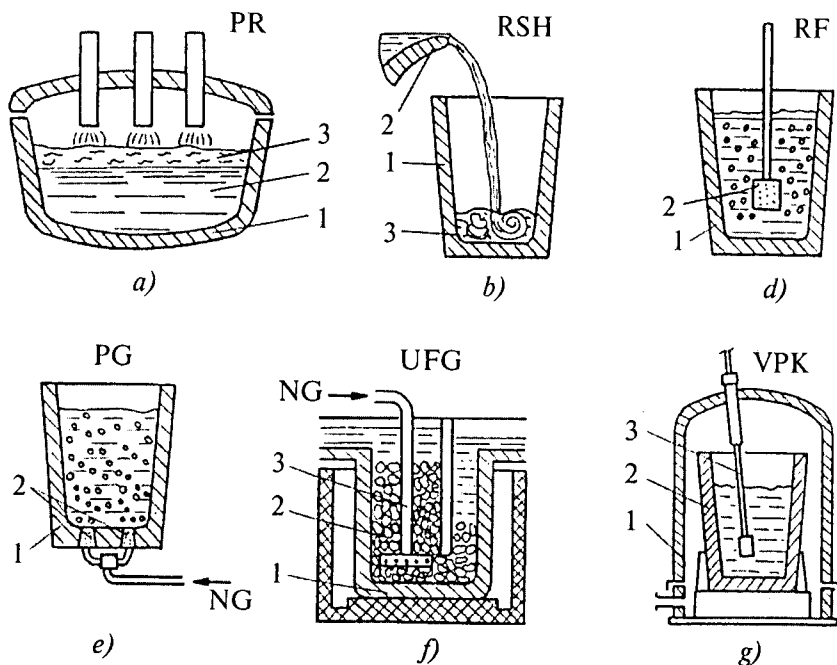
Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari yordamida tozalash bevosita suyuqlantiruvchi pechlarda amalga oshiriladi. Masalan, suyuqlantirilgan 2 metallni 1 pechda tozalash (10- *a* rasm) ma'lum tarkibli ($PR = SH \cup P$) 3 qo'shimcha shlak hosil qilib amalga oshiriladi. Pechdan tashqarida tozalashni sintetik 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'shilmalar 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'shilmalarni ilashtirib, mexanik tarzda olib chiqib ketadi. Metallmas qo'shilmalardan tozalash ham maxsus qurilmalarda UF (9- rasmga q.) filtratsiya qilib bajariladi. Bunda metallmas qo'shilmalar 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 aralashmalarning 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 strukturalari 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'zgarmaydi. 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.

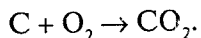
Biror moddaning namunasi bitta yoki bir necha moddalardan tashkil topgan, ya'ni aralashma bo'lishi mumkin. Aralashmalar ma'lum tarkibga ega bo'lmaydi va fizik aylanishlar natijasida alohida moddalarga (tashkil etuvchi qismlarga) bo'linishi mumkin. Bunda yangi

moddaning barcha kristalini, masalan, kvars kristalini tarkibidagi 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'lumotlar olishga imkon beradi, bu yerda 3 indeks qavslarda ko'rsatilgan zarrachaga 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+} ba 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 qavslardan ham foydalaniladi. Masalan, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ formula har bir zarracha $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ning tarkibida oltita CN guruhi borligini ifodalaydi. Zarracha, 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 berill $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ga o'xshash minerallar uchun foydalaniladi, chunki bunda ularning tarkibi haqida qo'shimcha ma'lumot olish imkonini tug'iladi. Tarkiblar doimiyliги 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:

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 aralashmalarining 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, ya'ni aralashtirilgan zarrachalar molekular o'lchamlarga ega bo'lsa, unda aralashma *qorishma* deb ataladi. Shunday qilib, suyuqlantirish jarayonlarida qatnashadigan barcha moddalar *sof moddalar* va *aralashmalarga* bo'linadi. Sof moddalar yoxud elementlar (temir, uglerod, kremniy va shunga o'xshashlar), yoxud birikmalar (oksidlar, nitratlar, karbidlar va shunga o'xshashlar) bo'lishi mumkin.

Komponent tushunchasi «modda» tushunchasiga aynan o'xshashdir, lekin fizik-kimyoda reaksiyada qatnashadigan moddalar va komponentlar soni turlicha bo'ladi. Komponentlar miqdori moddalar sonidan shu moddalarni bog'laydigan reaksiyalar sonining ayirmasi 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.

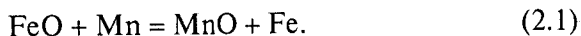
Faza deb, atrofda muhitdan ajralish yuzasi bilan ayrilgan va ma'lum xossalari kompleksi bilan xarakterlanadigan moddalar majmuyiga aytiladi.

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 d 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 molekularini topib bo'lmaydi. Ion birikmalarda kationlar va anion 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 molekular) iborat birikmalarning formulalari mazkur moddada atomlarning eng sodda nisbatini ifodalaydi. Masalan, kremniy oksidi 1 : 2 nisbatda bo'lgan kremniy va kislorod atomlaridan tashkil topgan uch o'lchamli karkasdan iborat. Bunga o'xshash

**Quyimakorlik metallurgiyasida foydalaniladigan kimyoviy
elementlarning atom massasi**

Element	Simvol	Tartib nomeri	Atom massasi
Azot	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
Vismut	Bi	83	208,9806
Vodorod	H	1	1,0080
Volfram	W	74	183,8500
Temir	Fe	26	55,8470
Ittriy	Y	39	88,9059
Kaliy	K	19	39,0983
Kalsiy	Ca	20	40,0800
Kislorod	O	8	15,9994
Kobalt	Co	27	58,9332
Kremniy	Si	14	28,0860
Magniy	Mg	12	24,3050
Marganes	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'rg'oshin	Pb	82	207,2000
Oltingugurt	S	16	32,0600
Tantal	Ta	73	180,9480
Titan	Ti	22	47,9000
Uglerod	C	6	12,0110
Fosfor	P	15	30,9738
Ftor	F	9	18,9984
Xlor	Cl	17	35,4530
Xrom	Cr	24	51,9960
Seriy	Ce	58	104,1200
Rux	Zn	30	65,3700
Sirkoniy	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 «mol» 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'la kimyoviy tenglama reaksiyada qatnashgan moddalarning massa nisbatini aniqlashga ham imkon beradi.

(2.1) reaksiya uchun quyidagilarni topamiz: FeO ning bitta moli $56 + 16 = 72$ g, aniqroq qilib aytganda $55,847 + 15,9994$ (2-jadvalga q.) massaga ega, lekin amaliy hisoblashlar uchun yaxlitlangan molekular 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 mikrozarralarning 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 atomlarning 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 ikkita 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 xossalarini tushuntirib bera olmaydi. Atomlarni, chunonchi, kristallar orasidagi bog'lanishni VB nazariyasi haddan tashqari sodda tasvirlaydi.

MO nazariyasi shunday tasavvurga asoslanganki, bunda molekularning har bir elektroni o'zining funksiyasi — molekular orbital bilan tavsiflanadi. Bu nazariya kimyoviy bog'lanishlarning paydo bo'lishini yadrolar va dastlabki atomlarning elektronlari hosil qilgan maydonda barcha elektronlar harakatining natijasi sifatida qaraydi. Lekin asosiy hissani 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 D.I.Mendeleyevning 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 xossalarida davriy o'zgarishlar seziladi.

Moddalarning tuzilishi va xossalari faqat ularning tarkibiga emas, balki ularning strukturasiga ham bog'liq. Ko'pchilik elementlar turli kristalik 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).

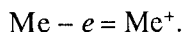
Xossalarning moddalarining tuzilishiga bog'liqligi

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.

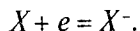
Ion bog'lanishning hosil bo'lishi «ionizatsiyalanish potentsiali», «elektronga yaqinlik» va «elektr manfiylik» kabi tushinchalar bilan xarakterlanadi.

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 elektronlarni o'ziga tortish nisbiy qobiliyatiga aytiladi. Bu qobiliyatni baholash uchun shartli shkala belgilanadi. Elektrmanfiylikning chetki qiymatlari seziy uchun 0,7 ga va fluor uchun 4,0 ga teng (4- jadval).

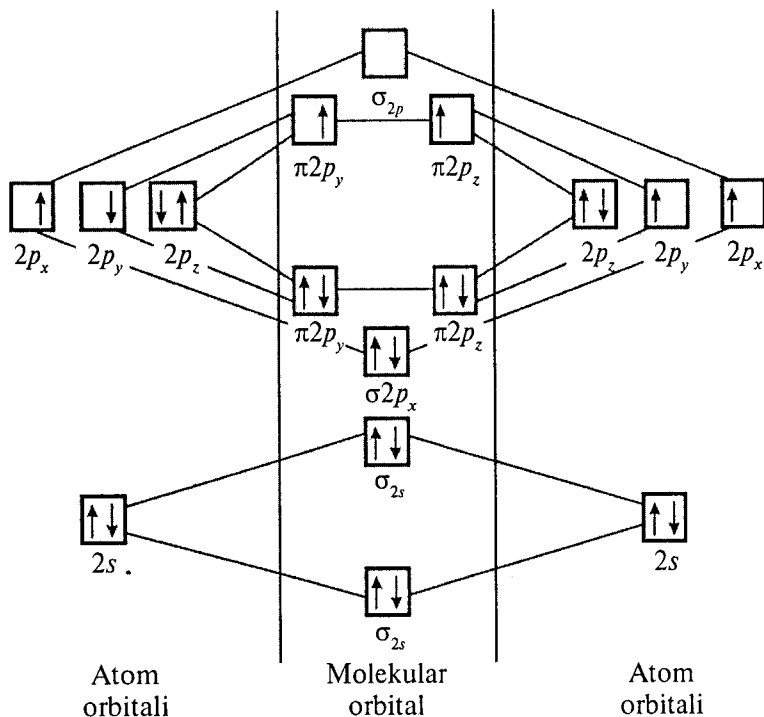
4- j a d v a l

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, kislorod, 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 $\Delta\chi$ 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. Ikkita yadro orasida va o'zaro bog'langan ikkita atomning elektron buluti orasida itarishish kuchlari mavjudligini ham hisobga olish zarur.



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

Kovalent bog'lanish hosil bo'lganda ikkita atom bilan umumlashtiriladigan elektronlar bog'lovchi orbital deb ataladigan orbitalarni egallaydi. Gaz fazada molekular orbitallarning 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_2 va H_2O esa *oksidlagichlar* hisoblanadi.

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

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

Kislород molekulasining elektron tuzilishi 11- rasmda keltirilgan. Kislород uchun juftlanmagan ikkita elektronning bo'lishi unga xosdir, lekin ma'lumki, tarkibida juftlanmagan elektronlari bor zarachalar (atomlar, ionlar, molekular) yuqori darajada reaksiyon qobiliyatga ega bo'ladi. H_2 va CO molekularida esa juftlanmagan elektronlar bo'lmaydi.

CO_2 molekulada elektronlar π_y , π_z va bog'lanmagan ikkita σ_s orbitallarda, shuningdek, π_y , π_z va bog'laydigan ikkita σ_x 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'lmashligi oksidlagichlarga o'xshagan gazlar kislorodga qaraganda kamroq reaksiya qobiliyatiga ega ekanligi haqida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Aggregat 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 orasidagi 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 xuddi shunday xossalarga ega. Metall kristallar uchun yuqori darajada elektr o'tkazuvchanlik, egiluvchanlik xos. Atomlarning bir-biriga nisbatan joylashishiga qarab, kristall panjaralarning turlari farqlanadi (5-jadval).

5-jadval

Kristall panjaralarning asosiy turlari

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

Qattiq amorf moddalar o'ta sovitilgan 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, bir-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 mollari 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

Bu 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 kirishmaydigan oksidlar kiradi. Bu oksidlarning kislota hosil qilish reaksiyasining rasman tenglamasini yozish mumkin. Masalan, SO_2 , SO_3 , P_4O_{10} 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 neytrallaydi 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 farqli o'laroq, eng kuchli asoslar elektrmanfiyligi eng kichik bo'lgan elementlarning oksidlaridan hosil bo'ladi.

Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari elektronlarni bitta reagent (modda)dan 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 usullarini 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 hisobga 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, Cu ning 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 elektrokimy o'zgarishlarini nazardan ko'rib chiqish mumkin.

Elektrokimy o'zgarishlar haqida asosiy tushunchalar

Jarayonlarni miqdoriy tavsiflash uchun elektrokimyoda elektr hodisalariga nisbatan qo'llaniladigan tushunchalardan foydalaniladi. Elektr hodisalar 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-

tronlar manbayi 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 jarayoni-dir. 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 manbayi zarur. Bundan farqli o'laroq, galvanik elementni yaratish uchun shunday elektrodlar va elektr moddalari 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 suvli eritmalar uchun qo'llaniladigan standart vodorod elektrodining potentsiali bilan taqqoslab o'lchash mumkin. Metallurgiyada suyuqlanmalar uchun standart kislorod elektrodidan foydalaniladi. Bu haqda metallurgiya jarayonlarida sodir bo'ladigan reaksiyalar mexanizmini 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'rganadigan boshqa tushunchalarga bog'liq.

2.2. Kimyoviy termodinamika asoslari

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

Asosiy tushunchalar va tavsiflar. Termodinamika o'rganadigan obyekt 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'rinalidir. 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-

rishigina ahamiyatga ega. Funksiyaning o'zgarishi ish va issiqlik effekti-ning bevosita o'lchab bo'ladigan kattaligi bo'yicha aniqlanishi mumkin [2, 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.

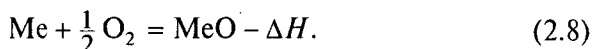
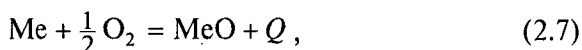
Shunday qilib, issiqlik effekti Q ga teng bo'lgan istalgan reaksiya uchun quyidagini yozish mumkin:

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

(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.

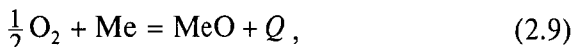
Termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq ish (issiqliksiz) yoki issiqlik (ishsiz) miqdori izolatsiyalangan jismni bir holatdan boshqasiga o'tkazish uchun zarur bo'lgan jism energiyasining o'zgarishiga teng va o'tish amalga oshirilgan usulga bog'liq bo'lmaydi.

Sistema ichki energiyasining birorta jarayon sodir bo'lishi nati-jasida o'zgarishini bu jarayon vaqtida uzatilgan ish va issiqlik miqdorini aniqlab topish mumkin. Ichki energiyaga o'xshab, entalpiya boshlan-g'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 ($\Delta H_{\text{h.b.}}^0$) 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:

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

bu yerda: $\sum v_i \Delta H_{h.b.}$ – reaksiya mahsulotlarining hosil bo‘lish entalpiyalari yig‘indisi; $\sum v_j \Delta H_{h.b.}$ – reaksiyaga kiradigan moddalarning hosil bo‘lish entalpiyalari yig‘indisi; v_i va v_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:

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

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

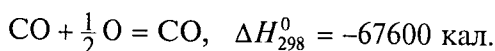
bu yerda c_p va c_v – tegishli o‘zgarmas bosim va hajmdagi issiqlik sig‘imi.

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 — ΔH ma'lum (ΔH_{T_0}), masalan, ΔH_{298} bo'lgan temperatura; T — Δc_p aniqlanishi kerak bo'lgan temperatura; Δc_p — T_0 dan T gacha temperaturalar oralig'ida c_p ning o'zgarishi.

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

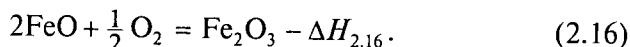
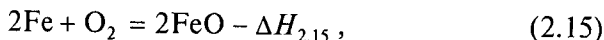
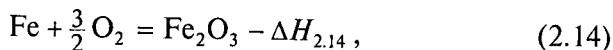


Bu reaksiyada qatnashayotgan moddalarning uy temperaturasidan yuqori temperatura atrofidagi mol issiqlik sig'imlari uchun taqribiy tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi: $c_p^{\text{CO}} = 6,50 + 0,001 T$; $c_p^{\text{O}_2} = 6,50 + 0,001 T$; $c_p^{\text{CO}_2} = 7,00 + 0,0071 T - 0,00000186 T^2$.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

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

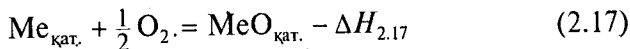
Issiqlik effektlariga bog'liq bo'lgan boshqa muhim qonun Gess qonuni hisoblanadi. Bu qonunga muvofiq reaksiyaning issiqlik effekti reaksiyaning o'tish yo'li, ya'ni uning oraliq bosqichlariga emas, balki sistemaning boshlang'ich va oxirgi holatiga bog'liq bo'ladi.

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

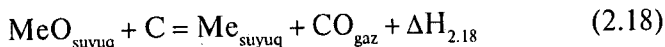


Gess qonuniga muvofiq $\Delta H_{2.14} = \Delta H_{2.15} = \Delta H_{2.16}$. Bu holatni eksperimental ma'lumotlar tasdiqlaydi. Reaksiya alohida bosqichlarining ΔH i ma'lum bo'lsa, Gess qonuni bo'yicha uning issiqlik effektini hisoblab topish mumkin.

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



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



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

Termodinamikaning ikkinchi qonuni

Umumiy termodinamikaning birinchi qonuni abadiy dvigatelning, ya'ni uzluksiz energiya yaratadigan mashinaning mavjudligi ehtimolini rad etadi, lekin mashinaga keltirilgan barcha issiqlikni amalda foydali ishga aylantirishga qobiliyatli uzluksiz ishlaydigan mashina yaratish mumkinligini istisno etmaydi.

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

Termodinamika ikkinchi qonunining eng umumiy ta'rifini Klauzius bergan: sistemaning entropiya deb ataladigan holat funksiyasi mavjud, uning dS orttirmasi sistemaga qaytuvchan issiqlik berilganda quyidagiga teng:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}. \quad (2.19)$$

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

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

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{Q_{1-2}}{T}, \quad (2.20)$$

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

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

$$dS = \frac{cdT}{T}. \quad (2.21)$$

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 molekulalar 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 aniqlash 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

$$\Delta S_s = \frac{320 \cdot 60}{1000} = 19,2 \text{ J/mol bo‘ladi.}$$

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 osongina 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 analiz uchun ma‘lum darajada taxminan berk hisoblanadi.

Bunday sistemalarda muvozanatni baholash uchun Gibbs energiyasi (G) tushunchasidan (avvallari bu tushuncha erkin energiya yoki izobar-izotermik potensial sifatida ma‘lum edi, shuning uchun 1984- yilgacha nashr etilgan adabiyotda eski ta‘rifni uchratish mumkin) foydalaniladi. Gibbs energiyasining ichki energiya va entalpiyaga 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'lishidan iborat. 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:

$$dG = V \cdot d \cdot p - SdT. \quad (2.24)$$

Bundan quyidagilar kelib chiqadi:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T = V \quad (2.25)$$

va

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p = -S. \quad (2.26)$$

(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–Gelmgols tenglamasi* deb ataladi va o'zgarmas bosimda Gibbs energiyasining temperaturaga bog'liqligini xarakterlaydi.

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

$$\Delta G = A + BT. \quad (2.28)$$

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 $T = 298$ K da eritmalar, aralashma va shunga o'xshashlar ko'rinishida emas, balki sof holda olinganligini ifodalaydi, ya'ni

$$\Delta G^\circ = \Delta H_{298}^\circ - T \cdot \Delta S_{298}^\circ. \quad (2.29)$$

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 aniqlab olish zarur. Agar bu sharoitlarda olmosning erkin energiyasi (G_o), grafitniki (G_{gr}) dan ortiq va ΔG musbat bo'lsa, u holda bunday jarayonning sodir bo'lishi mumkin emas. Lekin p va T larning boshqa

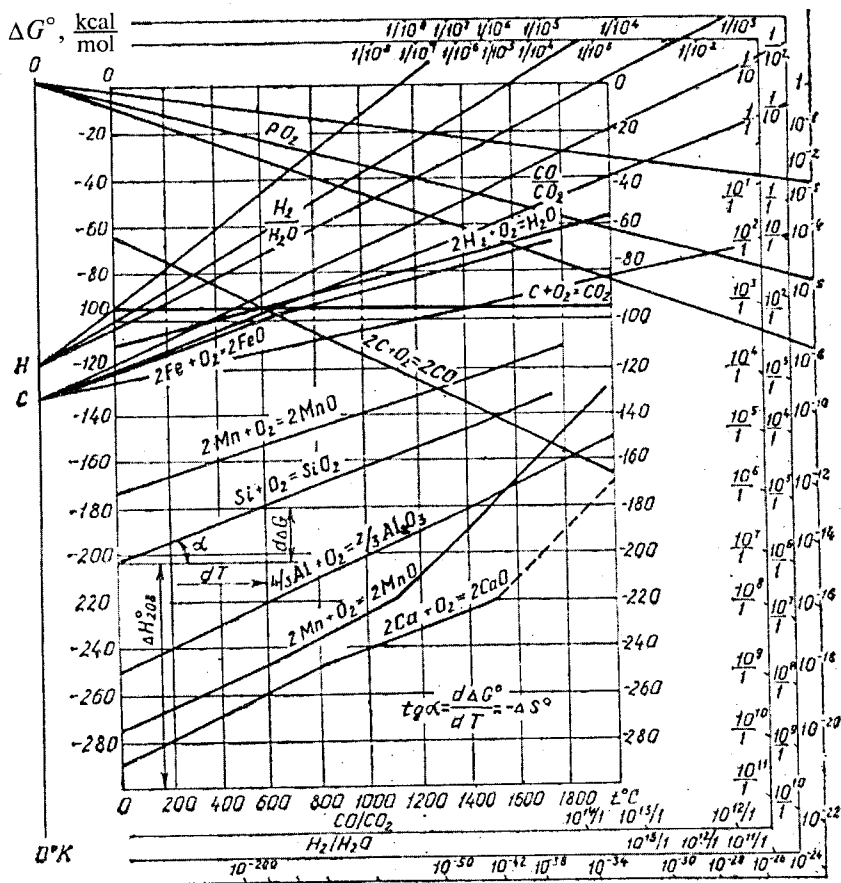
qiymatlarida ΔG manfiy bo'lishi mumkin. Hozirgi vaqtda bu jarayon, chamasi, 3000 K temperatura va 100 000 atm bosimda amalga oshiriladi [12].

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 keltiriladi. Eng muhim elementlar uchun bunday taqqoslash 12- rasmda berilgan, bu yerda fazaviy o'tish nuqtalarida sinishlarga ega bo'lgan $\Delta G^\circ = f(T)$ chiziqlardan tashqari, kislorod muvozanat bosimining va ayni 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, C—O—metall va H—O—metall sistemalaridagi muvozanat nisbatini aniqlash mumkin. Diagrammani qurish prinsipi rasmda keltirilgan.

Gibbs energiyasi tushunchasi oksidlarning nisbatan mustahkamligi 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 aktivlash to'sig'i katta ahamiyatga ega. Masalan, $C + O_2 \rightleftharpoons CO_2$ reaksiya uchun $\Delta G = -94$ kkal/mol, lekin agar ko'mir yondirilmasa, ya'ni unga aktivlash energiyasi berilmasa, u yonmaydi. Past temperaturada esa reaksiya tezligi shunchalik kichik bo'ladiki, amalda reaksiya sodir bo'lmaydi.

$\Delta G^\circ = f(T)$ chiziq qiyaligi reaksiya entropiyasining o'zgarishini xarakterlaydi, chunki $d\Delta G^\circ/dT = -\Delta S$. To'g'ri chiziq $\Delta G = f(T)$ ning uzunligi dastlabki moddalar yoki reaksiya mahsulotlarining fazaviy aylanishlari nuqtalari (suyuqlanish, qaynash, fazaviy o'tish) bilan cheklanadi. Fazaviy aylanish vaqtida entropiya o'zgaradi va to'g'ri chiziq o'z qiyaligini o'zgartiradi. $\Delta G - T$ diagrammadagi to'g'ri chiziqlar (12- rasimga q.) o'xshash qiyaliklarga ega, chunki gazsimon kisloroddan qattiq oksidga o'tishda entropiyaning o'zgarishi barcha hollarda 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 ancha 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 manfiylikka ega bo'lib qoladi. Fazaviy aylanishlarda chiziqlar o'z qiyaligini o'zgartiradi. Qaynash temperaturalari va sublimatsiyada chiziqlarning egilish 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 o'z-o'zidan oksidlanadi, shu vaqtning o'zida esa undan yuqori joylashgan metallar oksidlanmaydi. Qariyb barcha metallar $\Delta G^\circ < 0$ zonada joylashadi.

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

yuqori temperaturada Fe_2O_3 ning oksidlanishi mumkin emas, chunki Fe_2O_3 bunday va undan yuqori temperaturada turg'un bo'lmaydi. Ag_2O va HgO ni shunday tarzda oddiy qizdirish yo'li bilan metallga aylantirish mumkin [36, 42].

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

$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ reaksiya chizig'i pastga qarab yo'nalgan, ya'ni manfiy qiyalikka ega. Bu entropiyaning ko'p ortishi hisobiga sodir bo'ladi: gazsimon CO ning ikkita hajmi kislorodning bitta hajmidan tashkil topadi. CO hosil bo'lish chizig'ining manfiy qiyalikligi katta ahamiyatga ega, chunki metallning qariyb barcha metall-oksidi chiziqlari CO chizig'i bilan yuqori temperaturada kesishib o'tadi. Bu hol yuqori temperaturada ko'pchilik metall oksidlarining uglerod bilan qaytarilishi mumkinligini ifodalaydi.

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

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

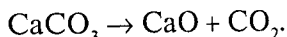
Diagrammadagi ko'pchilik egri chiziqlar bir-birini kesib o'tadi, bu esa temperatura ortgan sayin xloridlar nisbiy turg'unligining o'zgarishi haqida guvohlik beradi. Temperatura ortganda xloridda fazaviy aylanishlar sodir bo'lganda reaksiya entropiyasi manfiyroq va chiziqlar qiyaligi kam bo'ladi. Agar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

yaroqsizdir, chunki $\frac{1}{2}\text{C} + \text{Cl}_2 \rightarrow \frac{1}{2}\text{CCl}_4$ reaksiya chizig'i diagrammaning yuqorigi zonasida bo'ladi.

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

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

Karbonatlar mustahkam birikma hisoblanmaydi. Masalan, CaCO_3 uchun $\Delta G^\circ = f(T)$ chiziq $t = 850^\circ\text{C}$ da $\Delta G^\circ = 0$ chiziqni kesib o'tadi. Binobarin, qizdirganda u parchalanadi:



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

Termodinamika qonunlari metallurgik sistemalarda muvozanatning har xil turlarini hisoblashga imkon beradi. Kimyoviy va fazaviy muvozanatlar mavjud.

Kimyoviy muvozanat. Kimyoviy reaksiyalar dastlabki moddalarning to'la yo'q bo'lishigacha o'tmasdan, balki kimyoviy muvozanat ma'lum holatga erishganda to'xtaydi. Amaliy nuqtayi nazardan, muvozanat qaysi tomonga siljiganini bilish muhimdir, chunki bu reaksiyani amalga oshirish mumkinligi haqida, shuningdek, turg'unlik hamda eng ko'pi bilan qancha oxirgi mahsulot hosil bo'lishi to'g'risida guvohlik beradi. Bunga o'xshash masalalarni yechish uchun muvozanatni tavsiflab bera olish va u bog'liq bo'lgan parametrlarni topa bilish zarur.

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



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

$$p_\Sigma = p_{\text{CO}} + p_{\text{O}_2} + p_{\text{CO}_2}. \quad (2.31)$$

Jami bosim suyuqlantirish pechidagi bosimga teng va, odatda, atmosfera bosimiga teng bo'ladi, ya'ni $p_{\Sigma} = 0,1 \text{ MPa} = \text{const}$.

Muvozanat holatida parsial bosimlardan har biri qat'iy ma'lum kattalikka ega bo'ladi. Reaksiya mahsuloti parsial bosimining dastlabki gazlarning parsial bosimlariga nisbatining stexiometrik koeffitsiyentlar darajalaridagi ko'paytmasi K muvozanat konstantasi deb ataladi. Ayni holdagi parsial bosimlar nisbati ta'sir etuvchi massalar qonunining xususiy holi hisoblanadi. Umumiy holda

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

reaksiya uchun ta'sir etuvchi massalar qonuni muvozanat konstantasini 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 tenglamasi vositasida bog'lanadi. Bu tenglama *kimyoviy reaksiya tenglamasi* deb ham ataladi:

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

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

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_m. \quad (2.35)$$

Binobarin, muvozanat konstantasi temperaturaga bog'liq. Agar Gibbs–Gelmcols tenglamasiga (2.35) tenglama qo'yilsa, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{d(\ln K_m)}{dT} = \frac{\Delta H^0}{RT^2}. \quad (2.36)$$

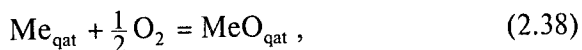
Bu tenglamani xuddi (2.34) tenglama kabi Vant–Goff keltirib chiqargan va *kimyoviy reaksiyaning izobara tenglamasi* deb ataladi.

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

$$d \ln K_m / dT = \Delta U^0 / RT^2 \quad (2.37)$$

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

Metallurgik jarayonlar muvozanatini ko'rib o'tayotganda *Le-Shatelye prinsipi* muhim ahamiyatga ega. Bu prinsipga ko'ra, muvozanat holatidagi sistemaga uning birorta parametrlarining o'zgarishiga olib keladigan ta'sir sistemada bu parametrlarning o'zgarishiga qarshi ta'sir ko'rsatadigan jarayonlarga sabab bo'ladi. Muvozanat o'rnatilgandan keyin komponentlardan biri konsentratsiyasining ixtiyoriy ravishda o'tishi reaksiyaning o'tish yo'nalishini o'zgartiradi, bu esa Le-Shatelye prinsipiga to'la mos keladi. Kimyoviy muvozanatning siljувchan xarakteri sistemada muvozanatning konsentratsiyadan chetga chiqishiga sabab bo'ladi. Bu spontan (o'z-o'zidan) chetga chiqishlar *fluktuatsiya* deb ataladi. Ajralish sirtiga ega bo'lgan sistemalardagi muvozanat (bunday sistema *geterogen sistema* deb ataladi) yuqoridagi (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, quyidagi reaksiya bo'yicha oksidlanishi uchun



$$K_m = \frac{1}{p_{\text{O}_2}^{1/2}} \text{ va } \Delta G^\circ = RT \ln p_{\text{O}_2} \quad (2.39)$$

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

Agar reagentlar konsentratsiyasi birga teng bo'lmasa, unda reaksiyalar eritmalarida sodir bo'ladi. Bunday holda termodinamik potensiallar deb ataluvchi H , U , G termodinamik kattaliklardan tashqari, muvozanatga moddalarning 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 sistemalardagi aylanishlarni o'rganishda termodinamika ikkinchi qonunining muhim qo'llanishlaridan biri, 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 fazalarda 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 K mustaqil komponentlarni olgan istalgan fazaning tarkibini aniqlash uchun ularning miqdorini ($K - 1$) ko'rsatish yetarli. Sistemadagi

F fazalar holatini tavsiflash uchun tarkibi bo'yicha $F(K-1)$ o'zgaruvchan kattalik va temperaturasi hamda bosimi bo'yicha ikkita o'zgaruvchan kattalik talab etiladi. Binobarin, $F(K-1)+2$ o'zgaruvchi zarur. Lekin barcha bu o'zgaruvchilar mustaqil bo'lmasdan ba'zilar bir-biriga bog'liq bo'ladi, chunki muvozanatda har bir komponentning turli fazalar orasida taqsimlanishi uning kimyoviy potensiallarining barcha fazalarda teng bo'lishlik shartini qoniqtirishi kerak.

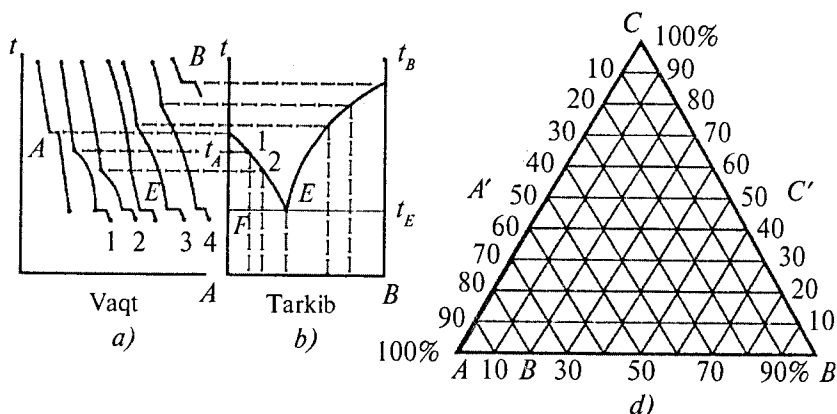
Mustaqil o'zgaruvchilar sonini yoki erkinlik darajalari sonini C orqali belgilab, quyidagiga ega bo'lamiz:

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

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

Klassifikatsiyalashda 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 [variant-siz ($C=0$), bir variantli ($C=1$), ikki variantli ($C=2$) va h.k.] bo'lish 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 yordamida holat diagrammasini qurish (suyuqlanuvchanlik diagrammalari) usuli ko'rsatilgan. 13- a rasmda suyuqlanmalar yoki tarkibi turlicha 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'zgarmas bosimda erkinlik darajalarining $K = 2$ sonida (2.40) tenglamaga muvofiq $C = 3 - F$ bo'ladi. Bunda muvozanatda bo'lgan fazalar soni $F = 3$ dan ($C = 0$ da), erkinlik darajalari soni esa $C = 2$ dan ($F = 1$ dan) ortiq bo'lishi mumkin emas. Temperatura va fazalar tarkibi o'zgaruvchan kattalikdir.

Uch komponentli sistemada bosim, temperatura va ikkita konsentratsiya o'zgaruvchan kattalik hisoblanadi. Odatda, uch komponentli kondensatsiyalangan sistemalar o'zgarmas bosimda tekshiriladi. Sistema xossalari uchta o'zgaruvchiga bog'liqligini uch qirrali to'g'ri burchakli 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 A , B , C 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 qatnashadigan entropiya kattaligini topishga imkon beradi. Absolut nolda sof kristalik modda entropiyasi S_0° nolga teng. Istalgan boshqa temperaturada esa uning qiymatini quyidagi tenglamadan topish mumkin:

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

Absolut nolga yaqinlashadigan temperaturadagi issiqlik sig'imi Debay tenglamasi yordamida hisoblab topiladi. Ushbu tenglamaga 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

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

Qattiq va suyuq metallarning tuzilishi va xossalari. Metallar va qotishmalar qattiq holatda ularning xossalarini aniqlaydigan polikristall strukturaga ega bo'ladi. Ular tarkibining o'zaro ta'siri, strukturasini va xossalarini o'rganish bilan metallshunoslik shug'ullanadi.

Metallurgik jarayonlar uchun suyuq metallarda kristall struktura qanday darajada saqlanishi juda muhimdir, chunki u suyuqlanmalar qotgandan keyin ham ularning xossalariga ta'sir qiladi. Buni shu narsa bilan tushuntirish mumkinki, suyuq qotishmalar nomuvozanat sistemadan iborat bo'ladi. Bu sistema mikroeterogen strukturaga ega bo'lib, unda atomlarning uzoq joylashish tartibi buzilgan va yaqin joylashish tartibi saqlanib qolgan.

Kristall strukturaning saqlanish darajasi irsiyatni, ya'ni dastlabki metallar va qotishmalar suyuqlantirilib, quymada qotgandan keyin ular xossalarining biron darajada saqlanib qolishini aniqlaydi. Suyuqlantirish jarayonlari uchun metallar xossalaridan suyuqlanish temperaturasi, zichlik, qovushoqlik va sirt taranglik eng katta ahamiyatga ega (6- jadval).

6- j a d v a l

Ba'zi metallarning xossalari

Metall	Suyuqlanish temperaturasi, °C	Zichligi, g/sm ³	± 50 °C dagi qovushoqligi, Pa·s	Sirt taranglik, N/m
Temir	1539,0	7,8	0,00540	1,85
Aluminiy	660,1	2,7	0,00113	0,94
Magniy	650,0	1,7	0,00107	0,57
Mis	1083,4	8,9	0,00410	1,35
Rux	419,5	7,1	0,00282	0,81
Qo'rg'oshin	327,4	11,6	0,00109	0,48
Qalay	231,9	7,3	0,00175	0,57
Nikel	1455,0	8,9	0,00500	1,80
Kobalt	1492,0	8,9	0,00480	1,89
Titan	1667,0	4,5	0,00520	1,60

Karbofaza xarakteristikasi. Metallurgik jarayonlarda uglerod keng ko'lamda ishlatiladi. Uglerodning to'rtta kristalik modifikatsiyasi ma'lum: grafit, olmos, karbid va lonsdeylit. Tabiatda qattiq uglerod grafit va olmos tarkibida bo'ladi. Normal sharoitlarda olmos turg'un bo'lmaydi va uning mavjudligini quyidagilar bilangina tushuntirish 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 qattiq uglerod mayda kristall grafitning tartibsiz strukturasiga ega bo'lgan «amorf» ugleroddan iborat. Metallurgiyada koks va boshqa uglerodli materiallar keng ko'lamda ishlatiladi. Ularning barchasi strukturasida yoki bu darajada tartiblangan kristall tuzilishga ega.

O'tga chidamlilar xarakteristikasi. Suyuqlantirish pechlarining o'tga chidamli futerovkasi suyuqlantirish jarayonida qatnashadi. Odatda, futerovkaning asosiy massasini tashkil qiluvchi oksidlar ular 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 xossalari ko'ra neytral o'tga chidamlilarga yaqin bo'ladi. Ular SiO_2 bilan bog'langanda yarim kislotali bo'lib qoladi.

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

7-jadval

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

1	2	3
Aluminosilikatli (past, o'rta va yuqori glikozomli)	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
Magnezialli	Magnezitli (pereklaizolli) Turli bog'lanishdagi magnezitli	MgO kamida 90 MgO 80 dan ortiq
Magnezial-ohakli	Magnezitodolomitli (pereklaizohaktoshli) Dolomitli (ohaktosh pereklaizli) Dolomitli stabilashtirilgan (pereklaizolitli) 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
Magnezial-shpine- lidli	Magnezitoxromitli (pereklaizoxromitli) Xromomagnezitli (xromotopereklaizli) Xromitli Pereklaizoshpinelli 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
Magnezial-silikatli	Pereklaizoforsteritli Forsteritli	MgO 65–80 SiO_2 kamida 10 MgO 50–65 SiO_2 25–35
Uglerodli	Grafitlangan uglerodli Uglerodli grafitlanmagan (ko'mir) Tarkibida uglerod bor	C 98 dan ortiq C 85 dan ortiq C 5–70
Karbid-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 ortiq ZrO ₂ 30 dan ortiq Al ₂ O ₃ 65 gacha ZrO ₂ 35 dan ortiq Al ₂ O ₃ 18 dan ortiq
Oksidli	Oksidlardan tayyorlangan buyumlar (MgO, CaO, Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂)	Tarkibidagi aniqlovchi oksidlar maksimal yuqori miqdorda bo'ladi
Nokislorodli	Nitridlar, boridlar, karbidlar (SiC dan tashqari), silitsidlar va boshqa kislorodsiz birikmalardan tayyorlangan buyumlar	Tarkibidagi kislorodsiz birikmalar maksimal yuqori miqdorda bo'ladi

Qattiq silikatlar strukturasi zamonaviy tasavvurlarga ko'ra, kremniy-kislorodli tetraedrlardan tashkil topgan kristall panjara hisoblanadi. Silikat strukturasi kremniy atomi koordinatsion son 4 ga ega bo'lib, kislorodning to'rtta atomi bilan o'rab olingan. Ko'pchilik asosli oksidlarning (MgO, CaO, BaO va boshqalar) kristall panjalarini tipik ionlilar jumlasiga kiritish mumkin. Oksidlarning xossalari 8-jadvalda keltirilgan.

Suyuq shlaklarning tuzilishi va xossalari. Shlaklar tarkibida kremniy, aluminiy, kalsiy, magniy, temir, marganes oksidlari, shuningdek, futerovka va flyuslar tarkibiga kiradigan elementlar bo'ladi. Shlak suyuqlanmalari tuzilishining bir nechta nazariyasi mavjud. Dastlab molekular nazariya ishlab chiqilgan edi. Unga muvofiq shlak SiO₂, Al₂O₃, CaO, FeO, MgO, MnO va boshqa oksidlar molekulasidan iborat. Bu nazariya amaliy jihatdan qulay bo'lgan, chunki oksidlarning xossalari va ularni birga qo'shishni shlaklar tarkibini molekula nuqtayi nazaridan ta'riflash uchun mo'ljallangan ma'lumotnoma adabiyotdan osongina aniqlash mumkin. Lekin shlakda elektr zaryadlangan zarrachalar mavjudligi tajriba ma'lumotlari yordamida aniqlangan, bu esa shlaklar tuzilishining ion nazariyasini rivojlantirish uchun asos yaratgan. Bu nazariyaga muvofiq shlaklar tarkibida Ca²⁺, Fe²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺ kationlar, shuningdek, SiO₄⁴⁻, AlO₃³⁻, PO₄³⁻, O²⁻, TiO₄⁴⁻, VO₃³⁻, CrO₂²⁻, MoO₄²⁻, WO₄²⁻, MnO₄⁻, MnO₂²⁻, FeO₄²⁻ anionlar va boshqa bo'lgan ion eritmasidan iborat.

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

O'tga chidamli materiallar va shlak tarkibiga kiradigan oksidlarning fizik-kimyoviy xossalari

Xossalari	Belgilanishi	O'lchov birligi	Oksidlar					
			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 issiqligi	$-H_{298}^{\circ}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$	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	t	°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)	–	–	–

Izoh: (1) – kvars, (2) – tridimit, (3) – kristobalit, (5) – geksoqonal, (6) – kub,
* – $t_{\text{suyiq}}^{\text{suvoq}}$ Fe_{0,947}O uchun ko'rsatilgan.

bog'lanishlarda qatnashadigan atomlarning elektrmanfiyligi ayirma-si qanchalik katta bo'lsa, ular shunchalik qutbiy bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, $\Delta\chi$ ning ortishi bilan bog'lanishning ionlik darajasi, ya'ni atomlardagi effektiv zaryad q ortadi. Agar q ning elektron zaryadining 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 darajasi p ni quyidagi formula yordamida hisoblab topish mumkin:

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

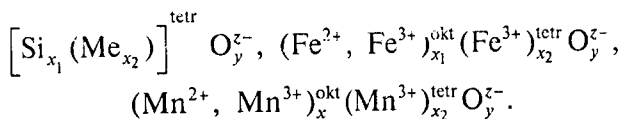
9- jadvalda ba'zi bir oksidlardagi bog'lanishning ionlilik darajasi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan. Bu ma'lumotlardan ko'rinishicha, FeO, MnO, Al₂O₃ lar bamisoli ion va kovalent birikmalar chegarasida bo'ladi.

9- j a d v a l

Oksidlardagi ion bog'lanishlarning xarakteristikasi

Oksid	Me va O elektrmanfiyliklarining farqi	Bog'lanishning ionlilik darajasi, %
FeO	1,7	43
MnO	2,0	53
Al ₂ O 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 tarqalgan minerallar) tuzilishi bilan chambarchas bog'langan. Bunday minerallar soni to'rt yuztaga yaqin. Barcha silikatlar va silikat shlaklarining asosiy strukturaviy birligi kremniy-kislorodli tetraedr SiO₄⁴⁻ hisoblanadi. Silikatlar tuzilishining o'ziga xos xususiyati ular suyuqlanmasining tuzilishi va xossalarga ta'sir qiladi, chunki suyuq silikatlarda yaqin tartibni saqlab qoluvchi katta guruhlar (klasterlar) bo'ladi. Kvantokimyoviy va difraksion tadqiqotlar asosida shlakda o'zgaruvchan tarkibli klasterlar bor, deb taxmin qilish mumkin. Klasterlar Me^{Σz+} kationlar bilan elektr muvozanatda bo'lgan kompleks koordinatli birikmalar sifatida klassifikatsiyalanadi:



Bunda $x_1 - 250$ ga, $x_2 - 20-25$ ga erishadi.

Odatdagi kimyoviy hisoblashlarda anionlarning bunday katta formulalari bilan ish ko'rish qiyin. Shu sababli, tarkib va xossalarni umumiy xarakterlash uchun *shlaklarning molekular tuzilishi* degan tushunchadan foydalaniladi. Bu tushunchalarga muvofiq shlaklar tarkibida kislotali oksidlar (SiO_2 va boshq.), asosli oksidlar (CaO , MgO , FeO , MnO) va amfoter oksidlar (Al_2O_3) bo'ladi.

Shlakning kislotaliligi *kislotalilik darajasi* bilan xarakterlanadi:

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

bu yerda: ΣKO — kislotali oksidlar yig'indisi, ΣOO — asosli oksidlar yig'indisi,

C_k ga teskari bo'lgan kattalik *asoslilik darajasi* yoki oddiy qilib *asoslilik* deb ataladi:

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

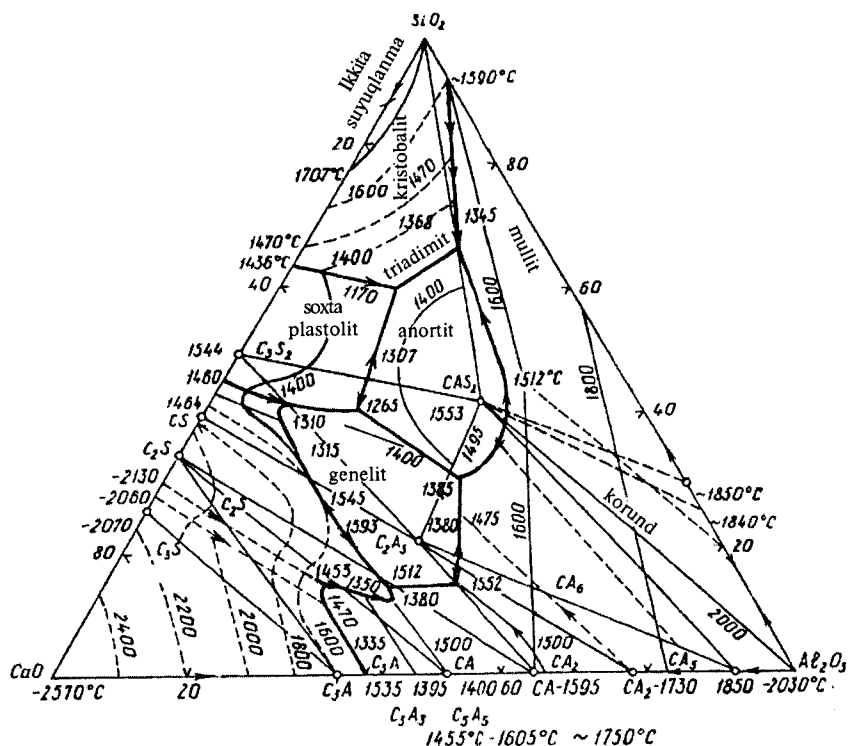
Bunda shlak $C_k \leq 0,5$ da kuchli asosli; $0,5-1,0$ da asosli; $1,0-1,5$ da o'rtacha asosli; $1,5-3,0$ da kislotali va $C_k \geq 3,0$ da kuchli kislotali hisoblanadi. Tarkibiga qarab, shlaklarning xossalari ikki, uch va ayrim hollarda esa olti komponentli diagrammalar ko'rinishida ham tasvirlanadi. Shlakli suyuqlanmalar uchun ikki komponentli diagrammalar ikki komponentli qotishmalar uchun qurilgan diagrammalar kabi quriladi (13-rasmga q.). Shlakli sistemalar uchun, odatda, uch komponentli diagrammalar quriladi (13- d rasm).

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ sistemaning holat diagrammasi 14- rasmda ko'rsatilgan. Bu sistemada kongruent suyuqlanadigan ikkita uchlama kimyoviy birikma (1823 K da suyuqlanadigan anorit $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ va 1863 K da suyuqlanadigan genelit $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) mavjud. 10- jadvalda bu sistemaning uchlama evtektikining tarkibi va suyuqlanish temperaturasi keltirilgan.

10- j a d v a l

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

Tarkibi	Suyuqlanish temperaturasi							
	1618	1443	1538	1583	1653	1778	1608	1608
SiO_2	70,4	62,0	42,0	41,0	31,8	9,3	6,8	16,8
Al_2O_3	19,8	14,75	20,0	11,8	39,0	53,2	43,7	41,2
CaO	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 suyuqlanmalari qovushoqlikka ega bo'lib, bu qovushoqlik ishqor hosil qiladigan metallarning tipik ion suyuqlanmalar hisoblanadigan suyuqlantirilgan galogenlarining qovushoqligidan ancha ortiq bo'ladi. SiO₂ ning qovushoqligi temperaturaga quyidagicha bog'langan:

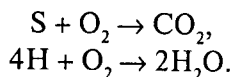
$$\lg \eta = \frac{2074}{t - 182} = 6,991.$$

Qovushoqligi 0,9 Pa·s dan kam bo'lgan shlaklar juda suyuq oquvchan, qovushoqligi 0,9–1,1 Pa·s shlaklar suyuq oquvchan, qovushoqligi 1,5–1,8 Pa·s shlaklar suyuq oquvchanligi yetarli bo'lmagan shlaklar jumlasiga kiradi. Shlaklarning qovushoqligi sezilarli darajada temperaturaga bog'liq bo'ladi. Masalan, tarkibida 40% SiO₂, 10% Al₂O₃, 35% CaO va 15% MgO bo'lgan shlak uchun $t = 1330^\circ\text{C}$ da $\eta = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $t = 1400^\circ\text{C}$ da esa $\eta = 0,6 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ bo'ladi. Shlak tarkibidagi FeO va MnO larning miqdori ortishi bilan ularning qovushoqligi ancha kamayadi, bu esa ularning kompleksni vayron

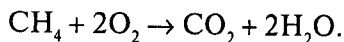
qilish qobiliyati to'g'risida dalolat beradi. Oksidlar uchun sirt taranglik qiymati 200–500 kJ/m² ni tashkil qiladi. Suyuqlantirilgan silikatlar-ning o'tkazuvchanligi, odatda, 0,1–1,0 Om⁻¹ · sm⁻¹ chegarasida bo'ladi.

Gaz fazasining tuzilishi va xossalari. Suyuqlantirish pechlarining gaz fazasi metallurgik jarayonlarning o'tishida muhim, ayrim hol-larda esa hal etuvchi rol o'ynaydi. Gaz fazasida oddiy atomli gazlar (O₂, N₂, H₂), gazlar-oksidlar (H₂O, CO₂, CO, NO) va boshqa gazlar (CH₄, NH₃, H₂S, PH₃ va boshq.) qatnashishi mumkin.

Gaz fazasi maxsus yaratiladigan, ya'ni metallurgik jarayonda aniq bir maqsadga qaratilgan (masalan, issiqlik tashigich yoki kimyoviy reagent sifatida) bo'lishi ham, yuzaga kelgan sharoitlar tufayli (masalan, induksion pechdagi gaz fazasi) suyuqlantirishda qat-nashadigan ham bo'lishi mumkin. Aktiv gaz fazasining hosil bo'lish manbayi – asosiy tashkil etuvchilari uglerod va vodoroddan iborat yoqilg'ini yoqish:



Bu reaksiyalar yoqilg'ining barcha turlari (qattiq, suyuq va gazsimon) uchun to'g'ri, chunki uglevodorodlar ham yonib CO₂ va H₂O larni hosil qiladi:



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

2.4. Eritmalar. Komponentlarning eritmalaridagi termodinamik funksiyalari

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

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

bu yerda γ – aktivlik koeffitsiyenti.

1 mol erigan modda konsentratsiyasi N_0 dan N gacha o'zgar-ganida uning 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 yutib yoki ajratib ($\Delta H \neq 0$) hosil bo'ladi, biroq ulardagi entropiya o'zgarishi modda konsentratsiyasining o'zgarishi natijasida ideal eritmalaridagi 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 zarur (ΔS_n), ya'ni

$$\begin{aligned}\Sigma \Delta S &= -R \ln N + \Delta S_n, \\ \Delta G &= \Delta H + RT \ln N - T \Delta S_n.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}RT \ln a &= \Delta H + RT \ln N - T \Delta S_n, \\ \ln a &= \Delta H / RT + \ln N - \Delta S_n / R.\end{aligned}$$

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

11-jadval

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 - Fe Co - Fe Mn - Fe
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 - Fe Al - Fe Cu - Fe
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 - Fe C - Fe

Eritmalardagi kimyoviy va fizik-kimyoviy aylanishlarni tavsiflash uchun matematik ifodasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘lgan *kimyoviy potensial* tushunchasidan foydalaniladi:

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

Bu yozuv *i*- komponentning kimyoviy potentsiali o‘zgarmas bosim, temperatura va qolgan komponentlarning o‘zgarmas mollar sonida ayni komponentning mollar soni bo‘yicha Gibbs energiyasi o‘zgarishi-ning xususiy hosilasi ekanligini ifodalaydi.

μ_i kattalik komponentning eritmadan chiqib ketishga intilishini, ya’ni *i*- komponentning kimyoviy potentsiali kichik bo‘lgan boshqa fazaga yoki, aksincha, bu kattalik katta bo‘lgan boshqa fazadan eritmaga o‘tishga intilishini xarakterlaydi.

Quyida qotishmalar suyuqlantiriladigan real sharoitlarda ko‘pincha Gibbs energiyasi tushunchasidan foydalaniladi. Unga muvofiq tenglamada konsentratsiya muvozanati konstantalari aktivliklar bilan almash-tililadi. Masalan, $2\text{Me} + \text{O}_2 = 2\text{MeO}$ reaksiya uchun muvozanat konstantasi

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

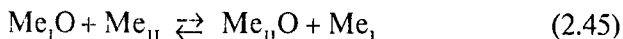
$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{MeO}}^2}{a_{\text{Me}}^2 \cdot p_{\text{O}_2}} \quad (2.43)$$

yoki

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT 2 \ln a_{\text{MeO}} - RT 2 \ln a_{\text{Me}} - RT \ln p_{\text{O}_2} \quad (2.44)$$

ga teng.

Ikkita metall uchun



almashish 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 teskari yo‘nalishda o‘zgarishiga olib keladi.

Metall oksidlari uglerod bilan o‘zaro ta’sirlashganda ΔG ning o‘zgarishini ko‘rib chiqamiz. Bu holda MeO uchun $\Delta G = f(T)$ bog‘lanish va uning joylashishiga a_{Me} va a_{MeO} aktivliklarning ta’siri bilan birgalikda bu bog‘lanishga nisbatan $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$ uglerod oksidi hosil bo‘ladigan (12- rasmga q.) $\Delta G - T$ chiziqlarning 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 kesishib 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 manfiy qiymatga ega bo'ladi, binobarin, metall uglerod vositasida qaytariladi.

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

$$K_m = \frac{a_{\text{Me}} \cdot p_{\text{CO}}}{a_{\text{MeO}} \cdot a_{\text{C}}}. \quad (2.47)$$

Muvozanat sharti quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{MeO}}^\circ - RT \ln a_{\text{Me}} + RT 2 \ln a_{\text{MeO}} &= \\ = \Delta G_{\text{CO}}^\circ - RT 2 \ln a_{\text{C}} + RT 2 \ln p_{\text{CO}}. \end{aligned} \quad (2.48)$$

Uglerod aktivligining kamayishi ($a_{\text{C}} < 1$) muvozanat nuqtasining muvozanat temperaturasining ortish tomoniga siljishiga, uglerod aktivligining ortishi va qaytarilayotgan metall aktivligining kamayishi esa muvozanat nuqtasining temperatura pasayadigan tomonga siljishiga olib keladi. Hosil bo'ladigan uglerod oksidi bosimining ta'siri muvozanatni ikkala tomonga siljitishi mumkin. Muvozanat temperaturasining ortishiga uglerod oksidi bosimining ortishi va aktivligining kamayishi ($a_{\text{MeO}} < 1$) yordam beradi. Ancha past temperaturalar 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 ftoridlar, sulfidlar, karbonatlar va boshqa birikmalar uchun ham to'g'ri. Eritmalardagi komponentlarning aktivligini aniqlash shu boisdan muhim ahamiyatga ega. Real eritmalarida aktivlik va mol ulush (2.41) ifoda yordamida bog'langan. Mol ulush va aktivlik orasidagi o'zaro bog'lanish Raul 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 $a - N$ koordinatalarda grafik ravishda 0 dan $a = 1$ va $N = 1$ nuqtaga 45° burchak ostida boradigan to'g'ri chiziqni xarakterlaydi. Agar $a = f(N)$ egri chiziq bu to'g'ri chiziq pastidan o'tsa, u holda ko'rib o'tilayotgan eritmada Raul qonunidan manfiy chetlanishlar, agar yuqoridan o'tsa, musbat chetlanishlar kuzatiladi.

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

Aktivlikni aniqlash uchun standart holatni tanlash muhim ahamiyatga ega. Umumiy holda aktivlik o'rganilayotgan komponent bug'ining eritma ustidagi parsial bosimlari kattaligi p_i ning komponentning standart holati uchun shunday kattalikka bo'lgan nisbati bilan aniqlanadi: $p_i^\circ : a_i = p_i / p_i^\circ$.

Agar standart holat uchun sof komponent holati qabul qilinsa, u holda $a_i^{\max} = 1$. Agar i -elementning qandaydir K_i° konsentratsiyasida $a_i = 1$ bo'lsa, u holda $K_i = K_i^\circ$ da $a_i = 1$ bo'ladi.

Metall suyuqlanmalaridagi komponentlar aktivligini aniqlash. Metall suyuqlanmalaridagi komponentlarning aktivligini aniqlash uchun ikkita standart holatdan foydalaniladi: $N_i = 1$ da $a_i = 1$ va $K_i = 1\%$ da $a_i' = 1$. Birinchi holda koeffitsiyent γ_i orqali, ikkinchi holda esa f_i orqali belgilanadi. Aktivlik koeffitsiyentlarini aniqlash uchun cheksiz suyultirilgan eritmadagi aktivlik koeffitsiyenti (γ_i^∞) tushunchasidan foydalaniladi [8].

Ko'p komponentli eritmalar, masalan, temir uglerodli qotishmalar uchun eritma komponentlarining o'zaro ta'sirini hisobga olish zarur. Bu maqsadda γ_i aniqlanadigan tenglamaga kiradigan va o'zaro ta'sir parametrlari deb ataladigan parametrlardan foydalaniladi:

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

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

$K_i = 1\%$ bo'lgan standart holat uchun

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

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

Metall suyuqlanmalardagi komponentlarning aktivligini hisoblash uchun γ_i ning son qiymatlari va o'zaro ta'sir parametrlarini bilish zarur.

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 hisob quyidagi formula bo'yicha bajariladi:

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

va undan γ_i^∞ aniqlanadi.

Bu yerda

$$N_{i(1\%)} = \frac{M_1}{100 \cdot M_i}$$

bunda M_1 – eritgich (temir)ning atom massasi; M_i – i - elementning massasi.

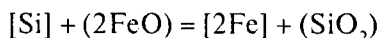
12-jadval

**Temirdagi ba'zi bir elementlar eritmalarining
termodinamik ma'lumotlari**

Eritgan element	γ_i^∞ 1873 K da	Temperatu- raviy bog'- liqlik ΔG_i^∞ , J/g · atom	j - element uchun 1873 K da $e_i^j \cdot 100$ o'zaro ta'sir parametrlari						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
C	0,57	22609 -42,29 T	14	8	-1,2	-2,4	1,2	4,6	5,1
Si	0,0013	-31884 -17,33 T	18	11	0,2	-0,03	0,5	5,6	11
Mn	1,3	5527 -39,15 T	-7	0	0	—	—	-4,8	-0,35
Cr	1,0	37,68 T	-12	-0,43	—	-0,03	0,02	-2	-5,3
Ni	0,66	-18003 -32,66 T	4,2	0,57	—	-0,03	0,09	-0,37	-0,35
S	—	-72013 -10,26 T	11	6,3	-2,6	-1,1	0	-2,8	29
P	—	-131884 -17,33 T	13	12	0	-3	0,02	2,8	6,2

Shlak suyuqlanmalaridagi komponentlar aktivligini aniqlash. Shlak komponentining aktivligi birinchi yaqinlashuvda uning eritmadagi konsentratsiyasiga teng: $a_{Kl} = N_{Kl}$ (bu yerda: K – kation, A – anion) yoki $a_{MeO} = N_{MeO}$ va h.k. Shlak suyuqlanmalari tuzilishining molekular nazariyasida komponentlar aktivligini aniqlashda cheklanish erkin va erkinmas konsentratsiyalar ko'rinishida kiritiladi, ya'ni $a_{MeO} = N_{MeO}^{\text{erkin}}$. Erkin konsentratsiyalarni Shenk konstantasi asosida hisoblab topish mumkin [9]. Qiyinchilik shlakda mavjud bo'lgan kimyoviy birikmalarni tanlashdan, shuningdek, tenglamalarning juda ko'p sonini birgalikda yechish zaruriyatidan iborat. Shunga qaramasdan, ma'lum aniqlik

darajasi bilan foydalaniladigan konstantalar hisoblab topilgan sharoitlarga yaqin bo'lgan sharoitlarda shlak komponentining aktivligini aniqlashga erishiladi. Shlak komponentlarining aktivligiga oid tajriba ma'lumotlari ularning molekular tarkibi uchun keltiriladi, chunki bu amalda foydalanishda qulay bo'ladi. Masalan,



reaksiya uchun spravochniy ma'lumotlardan [8] a_{FeO} ni aniqlab va Shenk konstantalari bo'yicha $a_{\text{SiO}_2} = N_{\text{SiO}_2}^{\text{erkin}}$ ni hisoblab topib, bu reaksiyaning muvozanat konstantasi bo'yicha [Si] muvozanat

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

uchun avval a_{Si} aniqlanadi, so'ngra esa $a_{\text{Si}} = \gamma_{\text{Si}} N_{\text{Si}}$ bog'lanish bo'yicha $RT \ln K_m = -\Delta G^\circ$ ekanligini nazarda tutib [Si] aniqlanadi yoki teskari masala yechiladi: metallidagi kremniyning ma'lum bo'lgan muvozanat miqdori bo'yicha a_{SiO_2} aniqlanadi.

Molekular nazariya nafaqat shlaklar tarkibini tavsiflash uchun, balki barcha termodinamik hisoblashlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi, chunki istalgan nazariyadan foydalanilganda a_{MeO} kattalik muvozanatlarni hisoblash uchun qo'llaniladi.

Shlaklar tuzilishining *ion nazariyasi* ikkita asosiy modelga ega: *takomillashgan ion eritmaları* va *muntazam ion eritmaları*. Birinchi modelga muvofiq

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

$$\text{Bunda: } x_{K_i} = \frac{n_{K_i}}{\sum n_K} \text{ va } x_{A_j} = \frac{n_{A_j}}{\sum n_A},$$

bu yerda: x_{K_i} va x_{A_j} — mos ravishda K_i va A_j larning mol ulushlari; n_{K_i} va n_{A_j} — mos ravishda kation va anionlarning soni; $\sum n_K$ va $\sum n_A$ — 100 kg shlakdagi kationlar va anionlarning umumiy soni.

$$\text{Sof oksid suyuqlanmasi uchun } x_{A_i} = \frac{n_0}{n_0} = 1 \text{ va } a_{K_i A_j} = a_{K_i}.$$

Aktivliklarning shunday tarzda hisoblab topilgan qiymatlaridan foydalanib, birinchi yaqinlashishda reaksiya muvozanatini hisoblash mumkin. Lekin ko'pchilik shlaklar uchun tajriba ma'lumotlaridan sezilarli chetga chiqishlar kuzatilgan. Bir maromli ion eritmaları nazariyasidan foydalanib, aktivlikni ancha aniq aniqlash mumkin. Bu nazariya turli ionlarning siljish energiyasini hisobga oladi. Masalan, binar suyuqlanmadagi FeO uchun

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

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

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

$$\lg \gamma_{\text{FeO}} = \frac{1000}{T} [2,18 x_2 x_5 + 5,9(x_3 + x_4) x_5 + 10,5 x_3 x_6],$$

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

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

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

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

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

$$\lg \gamma_{\text{SiO}_2} = (8x_1 - 14x_1x_2 + 4x_3)(1 - x_2) + 4,5x_1x_3 + 11x_1 \cdot x_3^2,$$

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 ifodalanagan to'la analitik konsentratsiyasi; Ψ_i – aktivlikning atom koefitsiyenti:

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

bu yerda; k – shlak komponentlarining to'la soni; ϵ_{ij} – almashinish 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 aniqlash metodlaridan qaysi birini tanlash hisob ma'lumotlari qanchalik eksperimental ma'lumotlarga to'g'ri kelishiga bog'liq.

Elementlarning energetik parametrlari

Element	χ	Element	χ	Element	χ	Element	χ
O	300	Al	30	S	189	Fe	80
F	369	Si	41	Ca	25	Cu	100
Mg	35	P	49	Mn	60	Zn	58

2.5. Fazalar o'zaro ta'sir jarayonlarining mexanizmi

Suyuqlantirish vaqtida quyma qotishma tarkibining shakllanishi suyuqlantirishda qatnashadigan turli fazalar komponentlarining qator ketma-ket yoki parallel o'tadigan geterogen o'zaro ta'sirlari natijasida sodir bo'ladi.

Geterogen o'zaro ta'sir quyidagi bosqichlardan iborat:

- dastlabki komponentlarning ajralish sirtida diffuziyanishi;
- ajralish sirtida adsorbsiyanishi;
- kimyoviy akt (yoki komponentlarning erishi);
- reaksiya mahsulotlarining desorbsiyasi;
- reaksiya mahsulotlarining bitta yoki ikkita fazaga diffuziyanishi.

Har qaysi bosqich mexanizmini ketma-ket ko'rib chiqamiz.

Diffuziya — bir-biriga tegib turgan moddalar zarrachalarining issiqlik harakati natijasida o'zaro bir-birining ichiga kirishidan iborat. Diffuziya modda konsentratsiyasining kamayish yo'nalishida sodir bo'ladi va uning butun hajm bo'ylab bir tekis taqsimlanishiga (kimyoviy potensialning to'g'rilanishiga) olib keladi.

Jismlarda bo'lgan begona moddalarning zarrachalari ham, xususi zarrachalari ham diffuziyanishi mumkin (o'z-o'zidan diffuziyanishi). Diffuziya gazlarda juda tez sodir bo'ladi. Gazda zarrachalarning harakati tartibsiz bo'lishi tufayli, haqiqiy yo'l uzunligi konsentratsiya kamayadigan yo'nalishdagi to'g'ri yo'l uzunligidan sezilarli kattadir. A.Eynshteyn istalgan diffuzion jarayonlar uchun to'g'ri bo'lgan quyidagi munosabatni olgan:

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

bu yerda: $\bar{L}$ — zarrachaning o'rtacha siljishi; D — proporsionallik koeffitsiyenti; t — diffuziya vaqti.

Suyuqliklarda diffuziya molekularlarning bitta turg'un holatdan boshqasiga sakrab o'tishi natijasida amalga oshadi. Energetik jihatdan foydali bo'lgan yangi holatga har bir sakrash molekular orasidagi masofadan katta bo'lmaydi. Suyuqlikdagi diffuziyaga ishqalanish bilan bo'ladigan harakat deb qaraladi va unga Eynshteynning ikkinchi munosabatini qo'llash mumkin:

$$D \sim UkT,$$

bu yerda: U — diffuziyalanuvchi zarrachalarning harakatlanuvchanligi;
 k — Bolsman doimiysi.

Qattiq jismlarda ham diffuziya sodir bo'ladi, lekin uning tezligi juda kichik bo'ladi. Qattiq jismlardagi diffuziyaning bir nechta sababi bo'lishi mumkin: atomlarning vakansiyalar bilan o'rin almashishlari, atomlarning tugunlar orasida siljishi, bir nechta atomning bir yo'la siklik siljishi, ikkita qo'shni atomning o'rin almashishi. Masalan, qattiq eritmalar hosil bo'lganda o'rin egallash atomlar bilan vakansiyalar orasidagi o'rin almashtirishdan ustunlik qiladi. Joriy etiladigan qattiq eritmalarining hosil bo'lishida atomlarning tugunlararo siljishi ustunlik qiladi. Qattiq jismlarda diffuziya koeffitsiyenti D kristall panjara nuqsonlariga nihoyatda ta'sirchan bo'ladi. Nuqsonlar sonining ortishi diffuziyaning o'sishiga olib keladi. Temperatura ortganda D ning qiymati juda ortadi. Masalan, misning ruxga diffuziyalanishi temperatura 20 dan 300 °C gacha ortganda kuzatiladi, ya'ni D kattalik 10^{14} marta ortadi.

Diffuziya massa uzatish usullaridan biri hisoblanadi. Uning kinetikasi quyida ko'rib o'tiladi. Diffuziyani harakatlantiruvchi kuch konsentratsiyadan tashqari temperatura (termodiffuziya), bosim (barodiffuziya), elektr maydon (elektr diffuziya) bo'lishi mumkin. Qattiq jismlarda diffuziya faza hajmida sodir bo'ladi. Fazalarning ajralish chegarasidan o'tish esa sirtiy hodisalar va kimyoviy akt mexanizmi yoki erishga bog'liq.

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

Moddaning sirtqi qatlamlaridagi xossalari uning hajmidagi xossalardan juda farq qiladi. Parchalanish darajasi ortganda sirtning ta'siri ancha sezilarli bo'ladi. Masalan, agar qirrasining uzunligi 1 sm bo'lgan kubni olsak, uning sirti 6 sm² ga teng bo'ladi. Agar uni qirrasining uzunligini 10 Å ga teng kubchalarga «ajratsak», unda sirt 6000 m² ga teng bo'ladi. Hajm ichida zarrachalarga ta'sir qiladigan zarrachalararo kuchlar muvozanatlashgan, sirtida esa muvozanatlashmagan bo'ladi. Natijada suyuqlik sirti o'z yuzasini eng kichik o'lchamgacha qisqartirishga intiladi. Bu hodisa *sirt taranglik* deb ataladi. Ma'lum shakldagi tomchilarning hosil bo'lishi, suyuqlikning kapillarlarida ko'tarilishi, ularning g'ovak qattiq jismga kirishi sirt taranglik kuchlarining ta'siri natijasida sodir bo'ladi.

Sirt taranglik ko'effitsiyenti σ uzunlik birligiga ta'sir qiladigan kuch (N/m) yoki yuza birligining hosil bo'lishiga sarflangan ish (J/m²) sifatida aniqlanadi. Oxirgi holat *adgeziya* kattaligini, ya'ni ikkita suyuq fazani (masalan, metall va shlakni) ajratishga sarflangan ishini aniqlashga 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 bilan chegarasida 2 suyuqlik uchun sirt taranglik; σ_{1-2} — ajralish yuzasi 1–2 dagi fazalararo taranglik.

Kogeziya, ya'ni bir jinsli muhitni buzish uchun sarflangan ish adgeziyaning xususiy holi hisoblanadi. Bu ish ikkita yangi ajralish sirtlari 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.

Reaksiyaga kiradigan fazalar sirt qatlamining tarkibi ularning hajmdagi tarkibidan tafovutlanadi, bu esa adsorbsiya hodisalariga bog'liq. Kondensatsiyalangan faza yuzasi gaz bilan kontaktlashganda bo'ladigan adsorbsiya natijasida uning ozroq miqdori qattiq modda sirtida ushlab qolinadi. Adsorbsiyaning ikkita turi mavjud: fizik adsorbsiya va xemosorbsiya.

Fizik adsorbsiya barcha qattiq moddalarda kuzatiladi. Uning ta'siri natijasida gaz molekulalari sirtida ushlab qolinadi. Jarayon biror miqdorda (adsorbsiyalangan gazning 40 J/mol igacha) issiqlik ajralib chiqish bilan sodir bo'ladi. Gaz bosimi ortishi bilan empirik tenglamaga muvofiq adsorbsiyalanish darajasi ortadi:

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

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

Temperatura ortishi bilan adsorbsiya darajasi kamayadi. Shu sababli, adsorbsiyaning bu turi past va o'rtacha past temperaturalarda, ayniqsa, muhimdir. Sirtida adsorbsiyalangan gaz bir nechta molekular qatlamlarni hosil qiladi, deb hisoblanadi, chunki Van-der-Vaals kuchlari molekulalarning bitta qatlamidan boshqasiga tarqalishi mumkin.

Xemosorbsiya elektron juftlarning hosil bo'lishida yoki gaz molekulalari bilan adsorbent orasidagi kimyoviy bog'lanish natijasida elektronlarning almashinishida sodir bo'ladi. Elektronlar gaz molekulalaridan qattiq moddaga va aksincha, qattiq moddadan gaz molekulalariga o'tishi mumkin. Bunda qattiq moddaning elektron xossalari o'zgaradi.

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 gaz doimiysi, J/mol · K.

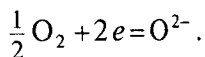
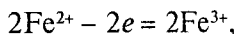
Metallurgik jarayonlar uchun eritmalar jumlasiga kiritish mumkin bo‘lgan suyuqlanmalar sirtidagi adsorbsiya juda katta ahamiyatga ega.

Erish jarayoni termodinamik muvozanatdagi sistema hosil qiluvchi ikkita yoki undan ortiq komponentlarning makroskopik bir jinsli aralashmalarining hosil bo‘lish jarayonidan iboratdir.

Eritmada barcha komponentlar molekular-dispers holatda bo‘ladi. Ular alohida atomlar, molekularlar, ionlar yoki bu zarrachalarning uncha katta bo‘lmagan sonidan iborat guruhlar ko‘rinishida bir tekis taqsimlangan. Eritmalar gazsimon, suyuq va qattiq bo‘lishi mumkin. Suyuqlantirish jarayonlari uchun suyuq metalli va shlakli eritmalarining hosil bo‘lishi muhim ahamiyatga ega.

Erish mexanizmi eritgich va eritiladigan komponentlarning xususiyatiga bog‘liq. Erish *kimyoviy*, *solvatatsion* va *dispers* erish turlari bilan farqlanadi.

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



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

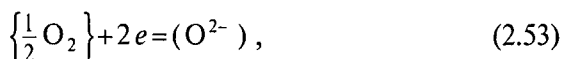
Uchinchi erish mexanizmiga *dispersion effekt* sabab bo‘ladi. Ba’zi bir gazlar, suyuqliklar va hatto qattiq jismlarda molekularlar bir-biri bilan molekulararo ta’sir kuchlari bilan shunchalik bo‘sh bog‘lan-

ganki, o'rinlarini o'ziga o'xshash moddalarning molekulari bilan almashtirib siljishlari mumkin. Bunda energetik o'zgarishlar juda kam bo'ladi.

Ajralish sirtidagi *kimyoviy akt* – fazalarning o'zaro ta'sir mexanizmidagi markaziy momentdir. Ko'pchilik geterogen reaksiyalar o'zining tabiati bo'yicha elektrokimyoviy hisoblanadi. Masalan, temirning oksidlanish reaksiyasi



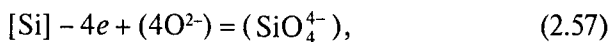
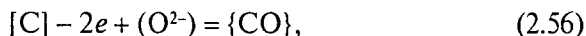
katod (2.53) va anod (2.54) bosqichlardan iborat:



Shlakda Fe^{2+} ionlarning bo'lishi C, Si, Mn kuyindining ion almashinuv reaksiyasining rivojlanishiga imkon beradi. Bunda katod bosqichi endi temirning qaytarilishi hisoblanadi:



anod bosqichi esa mazkur temperaturada tarkibidagi ΔG ning qiymati kichik bo'lgan aralashmaning oksidlanishidan iborat:



Har bir $\text{Me} - ze \rightarrow \text{Me}^{z+}$ elektrod jarayoni uchun elektrod potensialining 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; F – Faradey soni; a_{Me}^{z+} va a_{Me} – mos ravishda shlak va metallidagi metall ionlari va atomlarining aktivligi.

Elektrod potentsiallarining qiymati erkin energiya kattaligi bilan quyidagi ifoda 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 elementning shlakdan metallga va aksincha, metallan shlakka o'tishi bilan bog'liq. Shu sababli, $\text{Me} \rightarrow [\text{Me}]$ jarayon uchun, ya'ni elementlarning suyuqlanmaga o'tishi uchun oksiddan tashqari, ΔG kattalik hisobga olinishi kerak.

Elektrokimyoviy muvozanat holatida, ya'ni $[\text{Fe}] - 2e = (\text{Fe}^{2+})$ reaksiya uchun i_{Fe} nolga teng bo'lganda fazalarning ajralish chegarasida elektr potensial sakrashi paydo bo'ladi. Natijada metallning chegaradagi qatlami musbat zaryadlanadi, shlakning ionli suyuqlanmasida esa qo'sh elektr qatlami hosil bo'ladi. Ionlar orasidagi tortishish birinchi qatlamlardan keyin qarama-qarshi belgili ortiqcha zaryadlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Bu hodisa elektrostatik kuchlar bo'shashgan sari sekin-asta so'nuvchi manzarani yaratgan holda yana bir necha bor suyuqlanma ichkarisi tomon takrorlanib boradi.

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

2.6. Metallurgik jarayonlar kinetikasi

Geterogen reaksiyalar kinetikasi. Tezliklarning uchta bosqichi farqlanadi: reaksiyaga kiradigan moddalarni fazalarning ajralish sirtiga ko'chirish, reaksiyalarning o'zi va reaksiya mahsulotlarini reaksiya bo'ladigan zonadan chetlatish.

Jarayonning umumiy tezligi eng sekin o'tadigan bosqichning tezligiga teng (agar bu tezlik qolganlaridan ancha kichik bo'lsa). Agar barcha tezliklar bir tartibda bo'lsa, unda jarayonning tezligi taqqoslanayotgan 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 reaksiyaning o'zi bo'lsa, unda jarayon kinetik zonada sodir bo'ladi, deb hisoblanadi.

Massa uzatish jarayonlarining tezligi massa oqimi M (kg/s) yoki moddalar miqdorining oqimi J (mol/s), shuningdek, ularning massa oqimining zichligi m (kg/s · m²) va modda miqdori j (mol/s · m²) deb ataladigan solishtirma qiymatlari bilan baholanadi. Biror vaqt 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 kuchining gradiyentiga proporsional:

$$dm = -D \frac{d\rho}{dx} \quad \text{yoki} \quad \frac{dM_{\tau}}{d\tau} = -D\Omega \frac{d\rho}{dx}, \quad (2.61)$$

bu yerda: ρ – diffuzion komponentning parsial zichligi, kg/m^3 ; D – diffuziya koeffitsiyenti, m^2/s ; x – diffuziya yo‘li.

Modda miqdori oqimining zichligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

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

bu yerda C – konsentratsiya, mol/m^3 .

(2.61) va (2.62) tenglamalardagi minus ishora Fik qonuniga muvofiq moddaning siljishi konsentratsiyaning kamayishi tomon sodir bo‘lishini ko‘rsatadi.

Konsentratsiya gradiyenti diffuzion qatlamning δ_d qalinligi bilan xarakterlanadi, bu qatlam chegarasida konsentratsiya C hajmiy qiymatdan C^ω sirtiy qiymatgacha o‘zgaradi.

Agar taqsimlanish chiziqli deb hisoblansa, unda

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

bo‘ladi, bu yerda: δ – diffuzion qatlamning effektiv qalinligi; $\frac{D}{\delta} = \beta$ – diffuziya yordamida massa uzatish koeffitsiyenti, m/s .

Umumiy holda, ya‘ni massa uzatishning barcha uchta bosqichi uchun massa uzatish koeffitsiyenti quyidagicha bo‘ladi:

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

bu yerda: α – fazalararo massa uzatish koeffitsiyenti, u kimyoviy reaksiya yoki erish tezligini xarakterlaydi.

Harakatlanayotgan muhitda modda nafaqat diffuziya bilan, balki konveksiya bilan ham ko‘chiriladi. Biror ρ zichlikka ega bo‘lgan aralashmaning qandaydir hajmini v tezlik bilan siljitganda massa ko‘chishi sodir bo‘ladi: $m_k = \rho v$. Molekular va konvektiv ko‘chirish hisobiga massa oqimining yig‘ma zichligi quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$m = m_k + m_d.$$

Bu holda konvektiv diffuziyaning differensial tenglamasidan foydalaniladi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = D\nabla^2 \rho - \left(v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) - \rho \text{div} v. \quad (2.64)$$

$v = \text{const}$ bo‘lganda (2.64) da o‘ng qismning oxirgi hadi nolga teng. Unda

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = D \nabla^2 \rho. \quad (2.65)$$

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

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} + v_y \frac{\partial C}{\partial y} + v_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \nabla^2 C. \quad (2.66)$$

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

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (2.67)$$

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 zichligining uning bir protsent K konsentratsiyasiga bo'lgan nisbatidan iborat:

$$k^v = \frac{dM_\tau}{\Omega \cdot d\tau \cdot K}, \quad (2.68)$$

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

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

$$dM_i = M_\Sigma \cdot dK_i \cdot 10^{-2}, \quad (2.69)$$

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

$$dK = 10^2 \cdot k^v \frac{K}{M_\Sigma} \cdot \Omega d\tau, \quad (2.70)$$

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

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

$$K = K^0 \exp(k^{v'} \omega \tau). \quad (2.71)$$

Tuyulma massa uzatish koeffitsiyenti uning haqiqiy konstantalari bilan quyidagi munosabatlar yordamida bog'langan:

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

bu yerda M_m – komponent molining massasi, kg/mol;

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

k^v koeffitsiyent yordamida real suyuqlantirish jarayonlarining murakkab sharoitlari uchun massa uzatishning matematik modelini yasash mumkin.

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

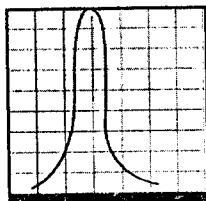
Elektrokimyoviy kinetikaning asosiy holatlari

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

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

bu yerda: i – almashinuv toki; n – stexiometrik koeffitsiyent; F – Faradey soni; i_0 – koeffitsiyent α ning analogi bo'lgan «nolinch» almashinuv toki, ya'ni massa ko'chirish koeffitsiyenti; C_{Red} – ionlar qaytarilish shaklining konsentratsiyasi; C_{Ox} – ionlar oksidlanish shaklining konsentratsiyasi; C^ω – sirtiy konsentratsiyalar; α va β – ko'chirish sonlari; φ va φ_p – potensiallar.

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



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 moddalarga quyidagi talablar qo'yiladi:

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

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

14-jadval

Yoqilg'i turlarining klassifikatsiyasi

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

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

vodorod, kislorod, azot va oltingugurt bo'ladi. Qattiq yoqilg'ining to'la ko'rinishdagi tarkibi ishchi yoqilg'ining massasini xarakterlovchi formula 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 tegishli elementlarning protsent miqdori; A^i – kul miqdori; W^i – namlik miqdori.

Namdan to'la ozod etilgan yoqilg'i massasi quruq massa deb ataladi:

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

Yoqilg'ining namsiz va kulsiz olingan massasi yonuvchi massa deb ataladi:

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

Yoqilg'ining oltingugurtsiz yonuvchi massasi organik massa deb ataladi:

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

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

Yoqilg'i tarkibidagi namni aniqlash uchun yoqilg'i quritish shkafida $t = 105^\circ\text{C}$ da o'zgarmas massagacha quritiladi. Massadagi farq protsent hisobidagi W^i namlik bilan hisoblanadi. Kulni aniqlash uchun tortilgan miqdor o'zgarmas massagacha ochiq tigelda qizdiriladi. Yonmaydigan qoldiqni A^i kul miqdori deb qabul qilinadi va u protsent hisobida ifodalanadi.

Qattiq yoqilg'ini havo kiritmasdan qizdirish jarayonida uning organik qismining termik parchalanishida hosil bo'ladigan gazsimon moddalar *uchuvchan modda* deb ataladi. Ularni aniqlash uchun tortilgan yoqilg'i miqdori tiqini mahkam yopiladigan chinni tigelda $t = 850^\circ\text{C}$ da 7 minut davomida qizdiriladi. Bunda tortilgan yoqilg'i massasi kamayadi. Massadagi tafovut uchuvchan moddalar (% hisobidagi) hisobiga bo'ladi.

Gazsimon moddaning kimyoviy tarkibi, odatda, quruq gaz tarkibidagi alohida tashkil etuvchilarning hajmiy protsentlardagi miqdori bilan xarakterlanadi:

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

Gazning ishchi tarkibi quyidagi formula yordamida ifodalanadi:

$$\begin{aligned} & \text{CO}^i + \text{H}_2^i + \text{CH}_4^i + \text{C}_n\text{H}_m^i + \text{H}_2\text{S}^i + \\ & + \text{CO}_2^i + \text{SO}_2^i + \text{N}_2^i + \text{O}_2^i + \text{H}_2\text{O}^i = 100\%. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati. Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati yoki uning *issiqlik chiqaruvchanligi* deb, yoqilg'ining birlik massasi yoki hajmi to'la yonganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdoriga aytiladi. U kJ/kg yoki kJ/m³ da o'lchanadi. Avval u MKFC sistemasida kcal/kg yoki kcal/m³ larda o'lchanar edi (eskirgan belgilashlar eski adabiyotlardan foydalanishda qulay bo'lishi uchun beriladi). 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' hosil bo'lishi 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* mos keladi.

Bu kattaliklar Q_{yu}^i va Q_p^i lar orqali belgilanadi. Ular $Q_p^i = Q_{yu}^i - qW_{yo.m}$ munosabat bilan bog'langan va normal fizik sharoitlarda, ya'ni 273 K (0 °C) temperatura va 0,101 MPa (1 atmosfera) bosimda kJ/kg yoki kJ/m³ larda o'lchanadi. Bu yerda: q — namlikning 100 °C dan xona temperaturasigacha bug'lanish va sovish temperaturasi: $q = 2512$ kJ/kg; $W_{yo.m}$ — 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:

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

Yoqilg'ining issiqlik chiqarish qobiliyati eksperimental usulda aniqlanadi. Izolatsiyalangan sistemada — kalorimetrda yoqilg'ining tortilgan miqdori yondiriladi va temperaturaning ortishi bo'yicha ajralib chiqqan issiqlik miqdori aniqlanadi.

Komponentlardan har birining issiqlik chiqarish qobiliyatining qiymati ma'lum bo'lganda yoqilg'ining issiqlik chiqaruvchanligini hisoblash yo'li bilan aniqlash mumkin:

$$Q_p^i = \sum_{i=1}^n Q_{p_i}^i \cdot r_i, \quad (3.7)$$

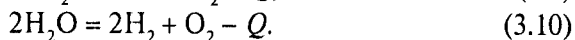
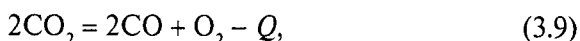
bu yerda r_i — har bir komponent ulushi.

Yoqilg'i yonish mahsulotlarining temperaturasi. Yoqilg'ining ikkinchi muhim xarakteristikasi – uning yonish mahsulotlarining kalorimetrik temperaturasi:

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

bu yerda: c – yonish mahsulotlarining issiqlik sig'imi, $J/(m^3 \cdot ^\circ C)$; V – yonish mahsulotlarining hajmi, m^3/kg .

Real sharoitlarda yonish mahsulotlarining bir qismi issiqlik yutilishi bilan dissotsiatsiyanishi mumkin, masalan, quyidagi reaksiyalar bo'yicha:



Issiqlikning dissotsiatsiyaga sarflanishini hisobga olgan holdagi yonish mahsulotlari temperaturasi *nazariy temperatura* deb ataladi va quyidagi formuladan aniqlanadi:

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

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

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

Lekin pechdagi temperatura haqiqiy nazariy temperaturadan past, chunki yoqilg'i yonganida issiqlik yo'qotiladi. Yo'qoladigan issiqlik miqdori o'txona yoki yonish kamerasining konstruksiyasiga bog'liq bo'ladi.

$t_h/t_n = \eta_p$ nisbat *pirometrik koeffitsiyent* deb ataladi. Shunday qilib,

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

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

Yoqilg'ining har xil turlari uchun temperaturalar masshtabini tasavvur etish uchun ularning ba'zi bir qiymatlarini keltiramiz: kalorimetrik–tabiiy gaz 2030 $^\circ C$, toshko'mir 2080 $^\circ C$, quruq o'tinlar 1825 $^\circ C$; quymakorlik pechlaridagi real temperatura – sterjenlarni quritish 200–300 $^\circ C$, qoliplarni quritish 300–450 $^\circ C$, qum va loyni quritish – 500 $^\circ C$ gacha, termik ishlov berish uchun qizdirish 600–1000 $^\circ C$, yengil qotishmalarni suyuqlantirish 700–800 $^\circ C$, cho'yanni suyuqlantirish 1450–1550 $^\circ C$.

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

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



Ayni holda reaksiyaga kirish qobiliyatini tortilgan yoqilg'i miqdori orqali $t = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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'i yoqishda katta ahamiyatga ega. Agar vagrankada reaksiyaga kirish qobiliyati yuqori bo'lgan yoqilg'idan foydalanilsa, u holda (3.14) reaksiya shunday darajagacha avj oladiki, bunda temperatura keskin pasayadi va suyuqlantirish mumkin bo'lmay qoladi. Yoqilg'ilarning koks va termoantratsit kabi turlarining qiymati kichik R ga ega bo'ladi, shu sababli ular vagrankalarda ishlatiladi. Domnalarda va gaz generatorlarida esa, 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^{yo}; 44% (O^o + N^o); ballast 1% Aⁱ va 30% Wⁱ. Issiqlik chiqarish qobiliyati $Q_p^i = 2800\text{ kcal/kg}$ yoki 11800 kJ/kg . Uchuvchan moddalarning chiqishi 80–87%.

Torf — botqoqlik o'simliklari organik moddalarining parchalanishi natijasida hosil bo'lgan mahsulot. Yonuvchi massaning tarkibida 58% C^{yo}; 6% H^{yo}; 27% N^{yo}; 33 O^{yo}; 0,3% S^{yo}; $W^i = 40\text{--}50\%$; $A^i = 3\text{--}12\%$ bo'ladi. $Q_p^i = 3000\text{ kcal/kg}$ yoki 12600 kJ/kg .

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

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

Organik massa tarkibi: 65–71% C^o; 5% H^o; 1–2% N^o; 23–25% O^o. Uchuvchi moddalar miqdori 45% gacha. $Q_p^i = 3150$ kcal/kg yoki 13200 kJ/kg.

Toshko'mirlar qo'ng'ir ko'mirlarga o'xshash, lekin geologik yoshi katta bo'ladi. Tarkibidagi uchuvchan moddalar miqdori 13–44% (antratsidda 6%). $Q_p^i = 5000 - 7000$ kcal/kg (21000–29000 kJ/kg). Yonuvchi massaning tarkibida: C^{yo} = 76–93,5%; H^{yo} = 0,5–1,8%; O^{yo} = 1,8–12,2%; N^{yo} = 1,0–1,6%; S^{yo} = 1,9–4,8%; namlik $W^o = 3 - 12\%$ bo'ladi.

Koks — sun'iy qattiq yoqilg'ining eng ko'p tarqalgan turi. Quymakorlikda keng ko'lamda ishlatiladi. Koks toshko'mirmi 900–1000 °C da havo kiritmasdan termodinamik parchalash vositasida olinadi.

Vagrankalarda cho'yan suyuqlantirish uchun koks-kimyo zavodlari chiqaradigan KL-1, KL-2 va KL-3 markali quyma koks ishlatiladi. Uchala markaning barchasida $Q_p^i = 6500 - 7000$ kcal/kg, hajmiy massasi 450–500 kg/m³, $W^i = 4\%$, $L^{yo} = 1,2\%$. Markalari tarkibidagi oltingugurt va kul miqdori (%) bilan farqlanadi: KL-1 da S^c = 0,6 va Aⁱ = 12,5; KL-2 da — 1,0 va 11,0; KL-3 da — 1,4 va 12,0.

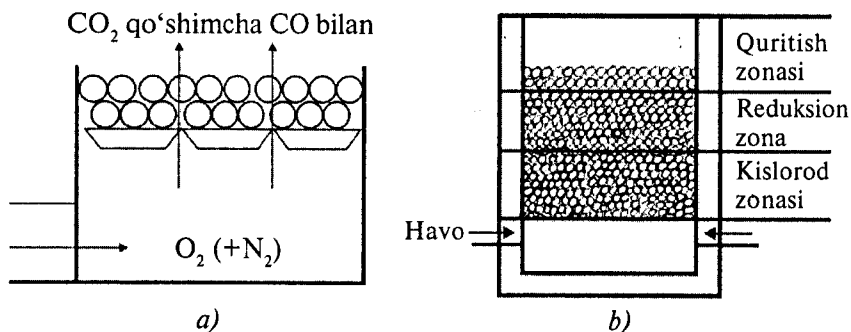
Neft va mazut. Neft qo'ng'ir yoki to'q qo'ng'ir rangli moysimon suyuqlikdan iborat bo'lib, turli-tuman organik birikmalardan tashkil topgan. Birikmalar ichida uglevodorodlar (C_nH_{2n+2}, C_nH_{2n}, C_nH_{2n-6} va b.) ko'pchilikni tashkil qiladi. Organik massa tarkibi: 84–86% C^o; 12–14% H^o; 0,5–0,7 (O^o + N^o).

Yoqilg'i sifatida neft tabiiy ko'rinishda ishlatilmaydi, lekin neftni qayta ishlab, undan motor yoqilg'isi ajratib olingandan so'ng qolgan mahsulot — mazutdan keng ko'lamda foydalaniladi. Mazut tarkibida: C^{yo} = 87,2–87,6%; H^{yo} = 10,5–11,7%; O^{yo} + N^{yo} = 0,6–1,0% bo'ladi va $Q_p^i = 9640 - 9870$ kcal/kg.

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

Yoqilg'ining yonishi. Yonayotganida yoqilg'ining tashkil etuvchilari havo kislorodi bilan birikadi. Ularning birikishini ifodalovchi reaksiyalar 15- jadvalda keltirilgan.

Yoqilg'ining har xil turlarining yonish mexanizmi turlicha bo'ladi. Bo'lak-bo'lak yoqilg'i o'txonadagi kolosniklarda yoki qalin qatlamlab (vagrankalarda) yoqiladi. Kolosniklarda yonganida uglerod kislorod bilan qariyb to'la birikadi va shu bilan jarayon tugaydi (15- a rasm). Yoqilg'i vagrankalarda, ya'ni qalin qatlamda yonganida C + O₂ → CO₂ reaksiya sodir bo'lgandan keyin karbonat angidrid gazi yuqoriga ko'tariladi va qaytadan uglerod bilan reaksiyaga kirishadi. Bu zona *reduksion zona* deb ataladi (15- b rasm).



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

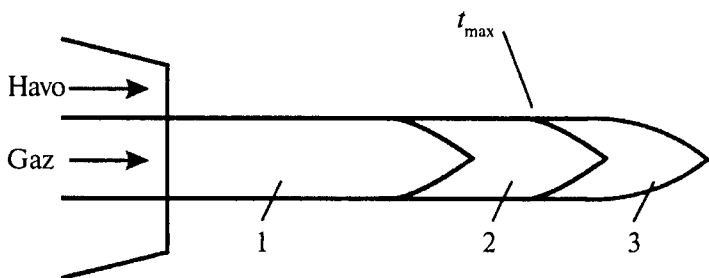
15- jadval

Yoqilg'ini tashkil etuvchilarning yonish reaksiyalari

Reaksiya	Komponentlarning massalar nisbati, kg	Issiqlik effekti, kJ/kmol
$S + O_2 = CO_2$	$12 + 32 = 44$	408842
$C + \frac{1}{2}O_2 = CO$	$12 + 16 = 28$	122217
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 = H_2O$	$2 + 16 = 18$	242040
$SO_2 + C = 2CO$	$44 + 12 = 56$	-162405
$C + H_2O = CO_2 + H_2$	$12 + 18 = 28 + 2$	-118821
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	$16 + 64 = 44 + 36$	805540
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	$28 + 96 = 88 + 36$	1340455
$S + O_2 = SO_2$	$32 + 32 = 64$	297012
$H_2S + 1\frac{1}{2}O_2 = SO_2 + H_2O$	$34 + 48 = 64 + 18$	504090

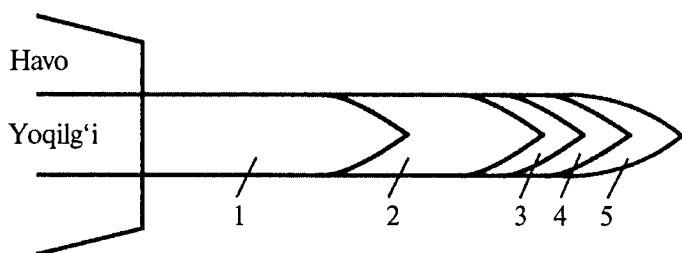
Suyuq va gazsimon yoqilg'ilarning yonishida mash'al sodir bo'ladi va ana shu bilan qattiq yoqilg'ining yonishidan farqlanadi. Yoqilg'i va havoning aralashish sharoitlariga qarab, mash'allar turlicha bo'lishi mumkin. Gazsimon yoqilg'i havo bilan gorelkadan chiqishida aralash-tirilgandagi yonish mash'alining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

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



16- rasm. Gazning yonish mash'ali:

1 – sovuq yadro, 2 – qizish va alangalanish zonasi, 3 – yonish zonasi.



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

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

Havo sarfini, shuningdek, yonish mahsulotlarining miqdori va tarkibini aniqlash yoqilg'ining elementar tarkibi (3.1–3.6 ga q.) va 15- jadvalda keltirilgan reaksiyalar bo'yicha yonish material balansi asosida bajariladi. Hisoblash normal fizik sharoitlar uchun bajariladi. Masalan, uglerod uchun $C + O_2 = CO_2$ massaviy nisbat $12 \text{ kg} + 32 \text{ kg} = 44 \text{ kg}$ ni tashkil qiladi, ya'ni 1 kg uglerodning yonib tugashi uchun

$\frac{32}{12} = 2,67 \text{ kg}$ kislorod zarur. Kislorod bilan birgalikda $2,67 \cdot \frac{76,8}{23,2} = 8,83 \text{ kg}$ miqdorda azot (76,8% massa – N_2) qatnashadi. 1 kg uglerodga

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

talab etiladi. Gazsimon va suyuq yoqilg'idan foydalanilganda yonish mahsulotlarining tarkibi shunga o'xshash hisoblanadi.

Yonish uchun zarur bo'lgan haqiqiy havo miqdorining (L_h) nazariy havo miqdori (L_n) ga nisbati havo sarfi koeffitsiyenti deb ataladi:

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

Issiqlikni elektr energiyadan foydalanish yo'li bilan generatsiyalash

Gidroelektr stansiyalar va atom elektr stansiyalarida elektr energiya ishlab chiqarish usullarining keng rivojlanishi shunga olib keladiki, 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 temperaturaga erishish mumkin.

Elektr energiyani issiqlik energiyasiga aylantirish quyidagi prinsiplar 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–Lentz qonunida ta'riflangan:

$$Q = I \cdot U \cdot \tau, \quad (3.16)$$

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

Induksion prinsip. Bu prinsip o'zgaruvchan magnit maydonda joylashtirilgan metall jismning unda vujudga keladigan (induksiyalanadigan) 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. Farqi faqat shundaki, bu tok bevosita issiqlik ajratadigan o'tkazgichga keltirilmagan, balki induksiyalanagan.

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 tekkizilsa, 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 prinsipiga 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).

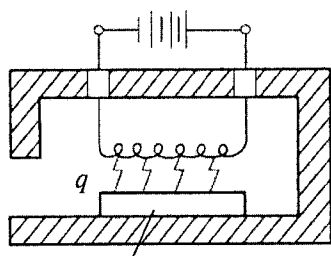
Bunday qizdirish usulida iqtisodiy jihatdan foydali bo'lgan kuchlanishdan foydalaniladi, lekin qizdiriladigan materialga issiqlikning hammasi emas, balki ma'lum qismi uzatiladi:

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

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

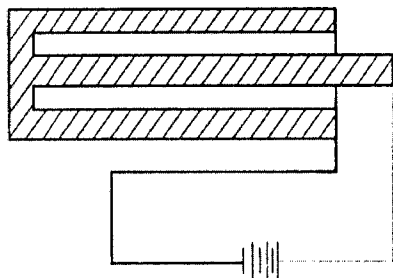
Elektr xarakteristikalarining qizdiriladigan metall xossalriga bog'liq emasligi bu usulning afzalligidir, shu sababli, undan quymakorlikda termik qizdirish va quritish pechlarida keng foydalaniladi.

Koaksial usul shundan iboratki, unda elektr toki ikkita yaqin va o'qdoz 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

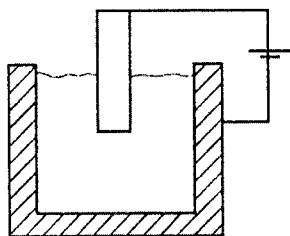


Qizdiriluvchi
material

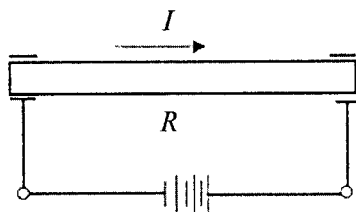
a)



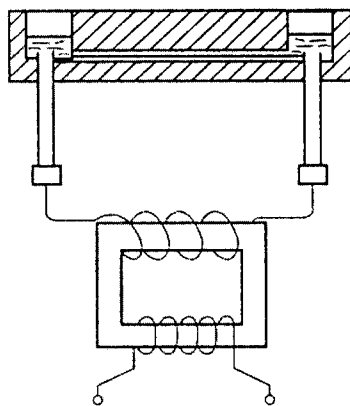
b)



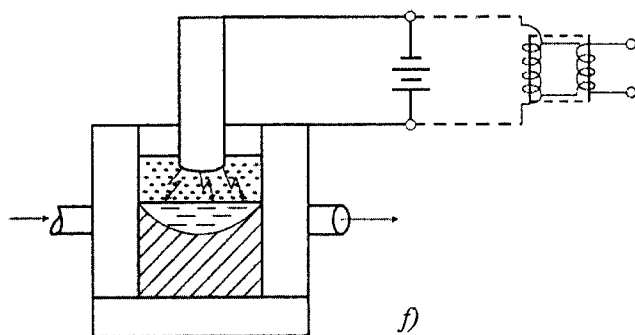
d)



R



e)



f)

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

maydon go'yo o'tkazgichlar orasidagi tirqishda berkitib qo'yilgandek bo'ladi. Vujudga keladigan effektlar natijasida o'tkazgichlarning aktiv qarshiligi 10–20 marta ortadi (tajriba ma'lumotlariga ko'ra), bu hol qizdirgichlar 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 shlakli 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 tigel 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'amdan 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.

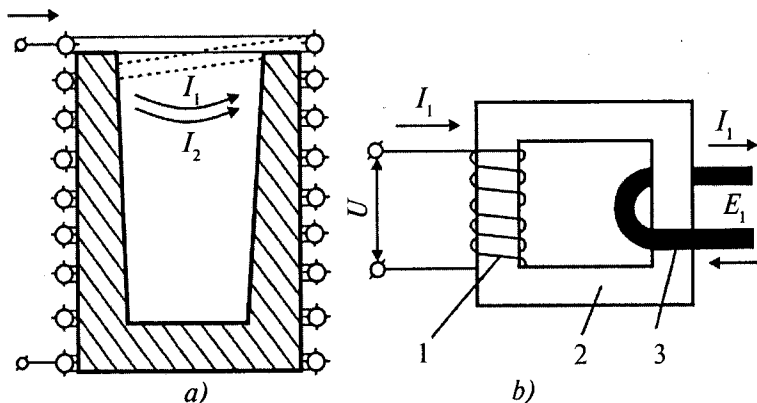
O'zgaruvchan elektr toki hosil qilgan Φ magnit oqimi o'zgaruvchan tok chastotasiga muvofiq vaqt bo'yicha o'zgaradi. Magnit maydonda joylashtirilgan o'tkazgichda elektromagnit induksiya qonuniga muvofiq EYK (elektr yurituvchi kuch) vujudga keladi:

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

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 kanalli (a) va induksion tigelli (b) prinsiplari:

1 – birlamchi chulg'am, 2 – o'zak, 3 – ikkilamchi chulg'am (kanaldagi metall).

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 katta.

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

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

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

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

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

Yuqori chastotali I_1 tok pech indikatorini orqali o'tib o'ramlar tekisligiga parallel tekislikda I_2 uyurmaviy tokni vujudga keltiradi.

Tadqiqotlarning ko'rsatishicha, katta pechlardagi tok chastotasini pasaytirish mumkin:

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

bu yerda: $f_{\min}$ — tokning minimal chastotasi, Hz; ρ_2 — suyuqlantirilgan metallning solishtirma elektr qarshiligi, $\text{Om} \cdot \text{sm}$; d — sadki (quyim) diametri, sm.

Masalan, $d = 0,1$ m diametrli kichik pechlar uchun $f_{\min} = 4750$ Hz, diametri $d = 1$ m bo'lgan katta pechlar uchun esa $f_{\min} = 47,5$ Hz, ya'ni sadkisining diametri 1 m ga yaqin pechlardan boshlab sanoat chastotali tokdan (50 Hz) foydalanish mumkin. So'nggi yillarda bunday pechlardan tobora ko'p foydalanilmoqda.

Elektr yoy vositasida qizdirish. Elektr yoy yoki yoy razryadi — bu gazlardagi elektr razryad turlaridan biridir. Elektr yoy, odatda, elektrodni qisqa muddatga tekkizib va bug'lanish hisobiga oraliqni ionizatsiyalab hosil qilinadi.

Induksion usuldan farqli o'laroq, yoy o'zgarmas tok bilan ham, o'zgaruvchan tok bilan ham hosil qilinishi mumkin. Musbat ionlar anoddan katodga keladi va unda qisman o'tirib qoladi. Shu sababli, anod ko'p sarflanadi.

Yoy razryad toki (o'zgarmas) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

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

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

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

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

bu yerda E — EYK.

Yoy yonayotganida bu quvvat issiqlikka aylanadi:

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

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

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

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

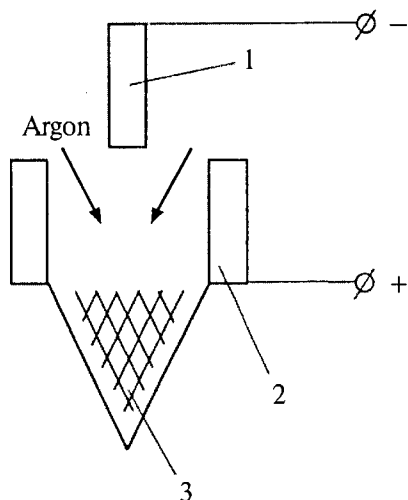
Plazma vositasida qizdirish. Sanoat plazmatronlarida (20-rasm) temperaturasi 30000 K gacha va ionizatsiyalanish darajasi 1% ga yaqin bo'lgan «sovuq» plazmadan foydalaniladi. Bunday ionizatsiyalash darajasiga, masalan, vodorod uchun $T=2500\text{ K}$ da erishish ($\alpha = 1,66 \cdot 10^{-2}$) mumkin.

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

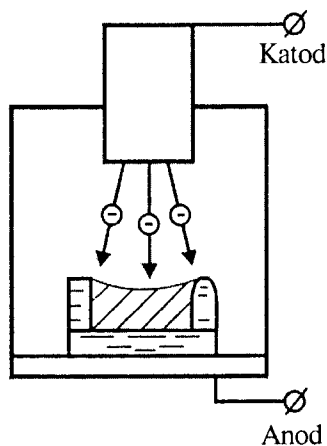
Elektron-nur yordamida qizdirish. Suyuqlantirish pechlari uchun qizdirishning bu usulidan nisbatan yaqinda (15–20 yil) foydalanila boshlandi. U jarayonning yuqori darajada toza bo'lishini ta'minlaydi, chunki suyuqlangan yoki ishlov beriladigan materialni bombardimon qiladigan tezlatilgan elektronlar 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.

n elektron tekkanida 1 s ichida ajraladigan quvvat

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

ni tashkil qiladi, bu yerda: e – elektron zaryadi, I – elektronlar dastasi, $U_{\text{tez-sh}}$ – tezlashtiruvchi potensial.

3.2. Pechlarda gazlar harakati

Gazlar statikasi va dinamikasining asosiy tushunchalari

Bosimning geometrik, pyezometrik va dinamik turlari bir-biridan farq qilinadi.

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

$\gamma_1^g = \gamma_{II}^g$ deylik ($H = 80$ m chegaralarida bu mumkin). Unda II balandlikdagi bosim quyidagicha bo‘ladi:

$$\text{– gaz muhitida } p_{II}^g = p_1^g + H \cdot \gamma^g;$$

$$\text{– havo muhitida } p_{II}^h = p_1^h + H \cdot \gamma^h.$$

Bu bosimlarning ayirmasi geometrik bosimning o‘zi bo‘ladi:

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

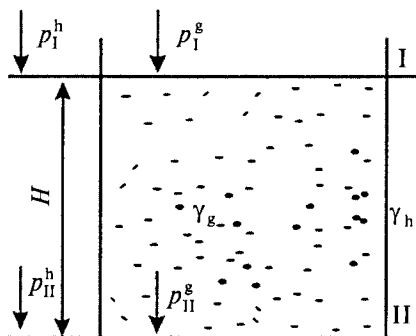
Pyezometrik bosim berk idishdagi gazning bosimi bilan atrofdagi havo bosimining ayirmasidan iborat. Bosimning bu turi statik bosim deb ham ataladi.

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

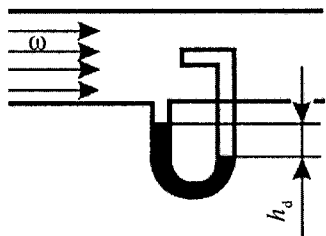
Masalan,

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

Dinamik bosim gazning harakati natijasida hosil bo‘ladi va gaz oqimining 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 solishtirma 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 zichligi, tegishlicha m/s va kg/m³; α – temperaturaviy kengayish koefitsiyenti.

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

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

ya'ni

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

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.

Truba uchun

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

Mahalliy qarshiliklarda bo'ladigan yo'qotishlar

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

yoki

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

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

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

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

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

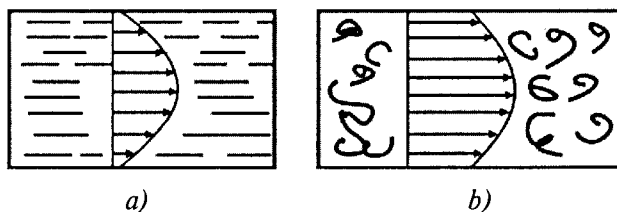
bu yerda

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

Pechlardagi gazlarning harakati

Gazlarning harakatlanish xarakteri uning tezligiga, gaz harakatlanadigan kanalning o'lchamlariga va shu gazning o'zining xossalariga (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 uyur-malanadi.



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, m^2/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:

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

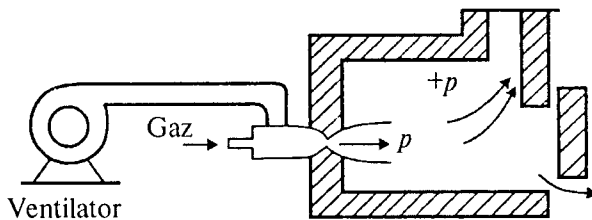
Hajm uchun ham u shunga o'xshash aniqlanadi.

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.

$$-h_{\text{geom}}^{\text{III}} = -p_{\text{pech}}^{\text{I}} = H_3 (\gamma_h - \gamma_g),$$

$$h_{\text{geom}}^{\text{II}} = H_g (\gamma_h - \gamma_g),$$

$$p_{\text{pech}}^{\text{II}} = h_{\text{geom}}^{\text{II}} - p_{\text{pech}}^{\text{I}} = H_g (\gamma_h - \gamma_g) - H_3 (\gamma_h - \gamma_g).$$

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:

$$h_{\text{geom}}^{\text{I}} + h_{\text{pyez}}^{\text{I}} + h_{\text{din}}^{\text{I}} = h_{\text{geom}}^{\text{II}} + h_{\text{pyez}}^{\text{II}} + h_{\text{din}}^{\text{II}},$$

$$h_{\text{geom}}^{\text{I}} = h_{\text{geom}}^{\text{II}},$$

$$h_{\text{din}}^{\text{I}} = 0.$$

Agar gazlar pechdagi teshik orqali atmosferaga oqib chiqsa, unda

$$h_{\text{pyez}}^{\text{II}} = 0,$$

$$h_{\text{pyez}}^{\text{I}} - h_{\text{pyez}}^{\text{II}} = \Delta p$$

bo'ladi, bu yerda Δp – bosimlar ayirmasi, bu bosim ta'siri ostida gazlar oqib chiqadi. Umumiy holda

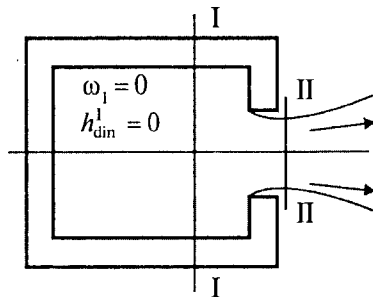
$$h_{\text{pyez}}^{\text{I}} = h_{\text{pyez}}^{\text{II}} + h_{\text{din}}^{\text{II}}$$

yoki

$$h_{\text{pyez}}^{\text{I}} = h_{\text{pyez}}^{\text{II}} + \frac{\omega_2^2}{2g} \cdot \gamma.$$

Bundan

$$\omega_2 = \sqrt{2g \frac{h_{\text{pyez}}^{\text{I}} - h_{\text{pyez}}^{\text{II}}}{\gamma_g}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\gamma_g}}.$$



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'ladigan 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 jismga uzatiladi. Isitilayotgan materialda, masalan, induksion elektr pechlarda 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 zonolari 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

jarayoni murakkablashadi, chunki massani ko'chirish bilan birgalikda issiqlikning qandaydir miqdori ham ko'chiriladi. Agar issiqlik temperaturalar tafovutisiz uzatilsa, hodisa *diffuzion termoeffekt* deb ataladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik yordamida issiqlik uzatish

Ma'lumki, issiqlik o'tkazuvchanlik temperaturalar tafovuti bo'lganda issiqlikni molekular ko'chirishdan iborat. Bundan fazoda va vaqt ichida temperaturalar ayirmasi issiqlik o'tkazuvchanlikning miqdoriy manzarasini aks ettirishi kelib chiqadi. Jism yoki muhitda temperaturalar taqsimoti temperatura maydoni bilan xarakterlanadi. Bu maydon statsionar yoki nostatsionar, fazoviy yoki uch o'lchamli, ikki 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 dF 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 ekanligi 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:

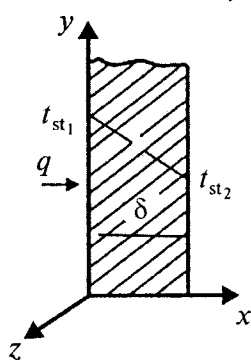
a) Birinchi tur chegaraviy shartlar (27-rasm):

$$\lambda = \text{const}, \quad t_{st_1} \text{ va } t_{st_2} = \text{const}, \quad \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0.$$

Binobarin, issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi (3.36) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0.$$

$$x = 0 \text{ da } t = t_{st_1}; \quad x = \delta \text{ da } t = t_{st_2}.$$



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.

$$x = 0 \text{ da } C_2 = t_{st_1} \text{ bo'ladi,}$$

$$x = \delta \text{ da } C_1 = -\frac{t_{st_1} - t_{st_2}}{\delta}.$$

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 nafaqat 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:

$$q = \alpha (t_s - t_{st}), \quad (3.38)$$

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.):

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{st1} - t_{st2}). \quad (3.40)$$

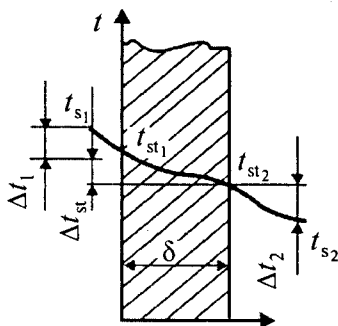
So'ngra issiqlik oqimi t_{s2} temperaturali muhitga beriladi:

$$q = \alpha_2 (t_{st2} - t_{s2}). \quad (3.41)$$

(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.



28- rasm. Uchinchi tur chegaraviy shartlarda issiqlik o'tkazuvchanlik sxemasi.

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-

nish priyomnigida qaytadan issiqlikka aylantirish. Issiqlikni bunday uzatish turi Stefan—Bolsman qonuni bilan tavsiflanadi, unga muvofiq absolut qora jismning nur sochish qobiliyati absolut temperatura-ning to‘rtinchi darajasiga proporsional:

$$E_s = C_s \cdot T^4, \quad (3.42)$$

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

$$E = \varepsilon \cdot C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (3.43)$$

bunda ε — jismning qoralik darajasi. Bu yerda $C = 5,67 \text{ W/m} \cdot \text{K}^4$.

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. Konvek-siya 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 tempe-raturalarga ega bo‘lgan alohida zarrachalar bir-biriga tegadi. Konvek-siya natijasida quyidagi tenglama bilan tavsiflanadigan issiqlik almashi-nish 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 yoki 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 mavjudligidan, devorlar va gumbazdan gazlar orqali qizdirilayotgan buyumlarga nurlanish vositasida issiqlik uzatiladi. Bunda pechda qizdirilayotgan metall uchta oqim hisobiga issiqlik oladi: harakatlanayotgan gazlardan konveksion issiqlik oqimi; gazlarning nur sochishi va alanga nuri; 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 qaytadi 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'rtachalashtirilgan 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 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot ^\circ\text{C}$.

Bunda

$$\alpha_n = \alpha_{n.g.} + \alpha_{n.d.},$$

bu yerda: $\alpha_{n.g.}$ – gazlardan nurlanish vositasida issiqlik berish koef-fitsiyenti; $\alpha_{n.d.}$ – devordan nurlanish vositasida issiqlik berish koef-fitsiyenti.

Issiqlik berish koefitsiyenti devorlarning nurlanishini ham, gaz-larning 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 koefitsiyenti.

$C_{g.d.m.}$ 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 temperaturalargacha 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 zonaga bo'lish mumkin:

- qattiq metall suyuqlanish temperaturasi gacha qizdiriladigan vagranka shaxtasi;

- suyuqlanish zonasi, bu yerda metall suyuqlantiriladi;

- o'ta qizish zonasi (salt kaloshaning reduksion va kislorod zonalari), bu yerda suyuq metall tomchilari suyuqlanish temperaturasidan yuqori temperaturaga 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 masadagi 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

sodir bo'ladi. Shu sababdan issiqlik uzatish alohida turlarining solishtirma qiymati vagrankaning balandligi bo'ylab o'zgaradi, buning natijasida uni tabaqalashtirilgan tarzda hisoblab bo'lmaydi.

Metall tomchilari oqib tushadigan zonada bo'lak-bo'lak materialdagi 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 kompleks yechishga imkon beradigan metod ishlab chiqilgan. Shaxta pechlarida issiqlik almashinuvining shu metod yordamida olinadigan hisob ma'lumotlari amaliy natijalarga yetarli darajada yaqin.

Pechlarda gazlarning issiqlik almashinuvi suv sonlari deb ataladigan 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 metallning boshlang'ich temperaturasigacha pasayadi, metall esa issiqlik almashinuvdan 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 temperaturasigacha 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 temperaturasidan ortiq bo'ladi) $W_g < W_{sh}$ va metall gazlarning temperaturasidan 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.

$$\Delta t_{o'r} = \frac{(t' - t_m'') - (t_g'' - t_m')}{2,3 \lg \frac{t_g' - t_m''}{t_g'' - t_m'}},$$

bu yerda: t' va t_g'' – gazlar temperaturasi; $t' - t_m''$ – 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 shixtaning 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‘zgar-mas temperaturasida va shartli vaqt davomida (t_{shart}) jismning issiqlik o‘tkazuvchanlik vositasida qizishi sifatida ko‘rib chiqish mumkin. Bu masalani professor A.I.Beykin tomonidan ishlab chiqilgan o‘zgaruv-chilarni chiqarib tashlash metodi yordamida yechish vagranka ja-rayonining 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 oʻrtacha temperaturasi; T_m^a — suyuqlanayotgan shixta yuzasidan ajralib tushayotgan metall tomchisining temperaturasi; T_k — issiqlik almashish zonasidagi yuza temperaturasi; $\Delta = r_x/r_k$ — metall tomchisi qizishining nisbiy chuqurligi.

3.4. Pechning issiqlik balansi

Issiqlik balanci pechda sodir boʻladigan jarayonlarga energiya saqlanish qonunining xususiy tatbiqidan iboratdir. Shu maqsadda turli manbalardan keladigan issiqlik va uning texnologik jarayonga (masalan, qizish) hamda turli yoʻqotishlarga sarflanish tenglamasi tuziladi:

$$Q_{kir} = Q_{sarf}$$

Balansning kirim qismi quyidagi qismlardan tashkil topadi:

$$Q_{kir} = Q_{i.e.} + Q_{h.f.} + Q_{yo.f.} + Q_{ekz},$$

bu yerda: $Q_{i.e.}$ — yoqilgʻini yoqish yoki elektr energiyani issiqlikka aylantirish natijasida olinadigan issiqlik (sarflangan texnologik energiyadan keladigan issiqlik); $Q_{h.f.}$ — havoning fizik issiqligi; $Q_{yo.f.}$ — yoqilgʻining fizik issiqligi; Q_{ekz} — yoqilgʻining yonishiga bogʻliq boʻlmagan 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 oʻxshashlarga); $Q_{ch.g.}$, $Q_{k.ch.yo.}$, $Q_{m.ch.yo.}$, $Q_{a.m.}$, Q_{qiz} , Q_{end} — chiqib ketayotgan gazlar bilan; kimyoviy chala yonishda; mexanik chala yonishda; atrofdagi muhitda; pechni qizdirishda endotermik reaksiyalarga yoʻqotiladigan issiqlik.

Shunday qilib, tenglama yoyilgan holda quyidagi koʻrinishga ega boʻladi:

$$Q_{i.e.} + Q_{h.f.} + Q_{yo.f.} + Q_{ekz} = Q_f + Q_{ch.g.} + Q_{k.ch.yo.} + Q_{m.ch.yo.} + Q_{a.m.} + Q_{qiz} + Q_{end}.$$

Issiqlik balansi kirim qismining issiqliklarini hisoblash

1. Generatsiya manbayidan olingan issiqlik:
— yoqilgʻini yoqishda:

$$Q_{t.e.} = B \cdot Q_n^r,$$

bu yerda: B – yoqilg‘i sarfi, kg/s; Q_n^r – yoqilg‘ining issiqlik yaratish qobiliyati, kJ/kg;

– elektr energiyadan foydalanganda:

$$Q_{t.e.} = \frac{W}{\tau},$$

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 pechda qanday reaksiyalar bo‘lishiga qarab hisoblanadi. Masalan, metallni termik ishlash yo‘li bilan qizdirishda hisoblash quyidagi formula bo‘yicha bajariladi:

$$Q_{ekz} = 5652 G \cdot a,$$

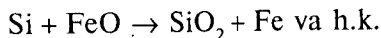
bu yerda: 5652 – 1 kg metall oksidlanganida olinadigan jami issiqlik effekti, kJ/kg; G – samaradorlik, kg/s; a – metall kuyindisi 0,015–0,025 (ya‘ni 1,5–2,5%).

Suyuqlantirish pechi uchun Q_{ekz} barcha ekzotermik 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:

$$Q_{\text{ch.g.}} = B(V_{\text{yo.m.}} - V_l) \cdot c_{\text{ch.g.}} \cdot t_{\text{ch.g.}}.$$

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. Masalan, vagranka uchun $B_{m.yo.} = 3000 \text{ mg/m}^3$ yoki $5000 \text{ m}^3/\text{soat} \times 3000 = 15000000 \text{ mg} = 15 \text{ kg/soat}$.

$$Q_{m.ch.} = 15 \cdot 7000 = 105000 \text{ kcal/soat}.$$

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, gazlar bilan, teshik orqali nurlanish vositasida, sovitadigan suv bilan yo'qotiladigan 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, Nm^3 ; t_p – pech temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$; $c_{s.g.}$ – issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

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 ochilish 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, Nm^3 ; c_{suv} – suvning issiqlik sig'imi, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; t' t'' – suvning isitilgunga qadar va undan keyingi temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$.

6. Pechni qizdirishda yo'qotiladigan issiqlik:

$$Q_{qiz} = \frac{V_{t.g'} \cdot \rho_{t.g'} \cdot c_{t.g'} \cdot (t_{t.g'}^* - t_{t.g}')}{\tau_{qiz}},$$

bu yerda: $V_{t.g'}$ – terilgan g'ishtning hajmi, m^3 ; $\rho_{t.g'}$ – uning zichligi, kg/m^3 ; $c_{t.g'}$ – uning issiqlik sig'imi, $kJ/m^3 \cdot ^\circ C$; $t'_{t.g'}$ va $t''_{t.g'}$ – terilgan g'ishtning qizdirishga qadar va undan keyingi temperaturasi, $^\circ C$; τ_{qiz} – qizdirish vaqti, s.

7. Endotermik reaksiyalarga yo'qotiladigan issiqlik ekzotermik reaksiyalar uchun hisoblangani kabi hisoblanadi:

$$Q_{end} = \sum_{i=1}^n q_{e_i} \cdot D_{e_i} .$$

Pech ishining samaradorligini baholash

Pechlar foydali ish koeffitsiyentlarining bir nechta turlari bir-biridan farq qiladi:

– **termik FIK**, bu foydali ishlatilgan issiqlikning keltirilgan barcha issiqlikka nisbatidan iborat:

$$\eta_{term} = \frac{Q_f}{Q_{kel}} \cdot 100\% ;$$

– **effektiv FIK**, bu foydali ishlatilgan issiqlikning yoqilg'i yonishi natijasida ajralib chiqqan (yoki elektr energiyaning issiqlikka aylanishidan hosil bo'lgan) issiqlikka nisbatidan iborat:

$$\eta_{ef} = \frac{Q_f}{Q_{i.e.}} \cdot 100\% .$$

Pechlarning ish samaradorligi issiqlik va yoqilg'idan foydalanish koeffitsiyenti yordamida ham baholanadi:

$$k_i = \frac{Q_{kel} - Q_{ch.g.}}{Q_{kel}} \text{ va } k_{yo} = \frac{Q_{i.e.} - Q_{ch.g.}}{Q_{i.e.}} .$$

Yoqilg'i bilan ishlaydigan qurilmalardan foydalanishda shartli yoqilg'ining solishtirma sarfi ham hisobga olinadi:

$$B = \frac{B}{G} \cdot \frac{Q_n^r}{29300} ,$$

bu yerda: B – yoqilg'i sarfi, kg/s yoki Nm^3/s ; Q_n^r – yoqilg'ining issiqlik berish qobiliyati, kJ/kg ; G – pech unumdorligi, kg/s .



QUYISH SEXLARINING SUYUQLANTIRISH PECHLARI

4.1. Cho‘yan suyuqlantiriladigan pechlar

Cho‘yan suyuqlantirish jarayonlari klassifikatsiyasi va pechlarning texnologik sxemalari

Quymakorlikda cho‘yanni suyuqlantirish yoki cho‘yanni ikkilamchi suyuqlantirish deb ataladigan jarayon vagrankalarda (29- *d* rasm), induksion elektr pechlar (29- *e* rasm) va elektr yoy pechlarida (29- *g* rasm) amalga oshiriladi. Cho‘yanni tegishlicha vagrankalarda, induksion va yoy pechlarida suyuqlantirish metodlari bir-biridan farqlanadi.

Alangali pechlar (PIS, PIV) keng tarqalmadi. Monojarayonda ular faqat katta o‘lchamli temir-tersak, masalan, prokatka cho‘yan valkalarni qayta suyuqlantirishda yoki bir yo‘la katta metall massalarini olishda ishlatiladi. Avval ular KЧ cho‘yan olish uchun dupleks-jarayonlarda keng foydalanilar edi. Bu agregatlar hozir ba’zi bir quyish sexlarida ishlamoqda, lekin, asosan, elektr pechlar ishlatiladi.

Quymalarni yirik seriyalab va ko‘plab ishlab chiqarishda cho‘yan suyuqlantirishning dupleks va tripleks-jarayonlari keng tarqalgan. 29- rasmda pechlarning ikki turidagi o‘n bitta dupleks-jarayon ko‘rsatilgan. Suyuqlantirish pechlaridan birini ARU orqali qo‘shish (29- *h* rasm), shuningdek, tripleks-jarayonlarini amalga oshirish mumkin. Tripleks-jarayonda cho‘yan pechlardan birida suyuqlantiriladi, boshqa pechda nihoyasiga yetkaziladi va qolipga quyish ARU yordamida bajariladi. Bu holda III–XI duplekslarni birga qo‘shish, ya’ni tripleks-jarayonlarning to‘qqiz turi bo‘lishi mumkin.

Bundan tashqari, dupleks-jarayon: domna pechi – elektr pechidan foydalanish mumkin va bu energetika jihatidan tejimli. Bunda suyuq cho‘yan nihoyasiga yetkazish uchun domna pechdan induksion yoki yoy pechiga quyiladi. Polijarayonlardan foydalanib suyuqlantirish metodlarining ko‘p bo‘lishiga qaramasdan, suyuqlantirish texnologiyasi suyuqlantirish pechlarining yetti turining (V, PIS, PIV, ITP, DP, IKP va ARU) ishlashiga bog‘liq.

Cho‘yan suyuqlantiriladigan agregatlardan eng ko‘p tarqalgani vagrankadir. U shaxta 1 dan (29- *d* rasimga q.) iborat bo‘lib, shaxtaning pastki qismida havo beriladigan firma 2 lar, shlakdan ajratuvchi

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 yo 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 ishlaydi. 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 tigel 1 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.

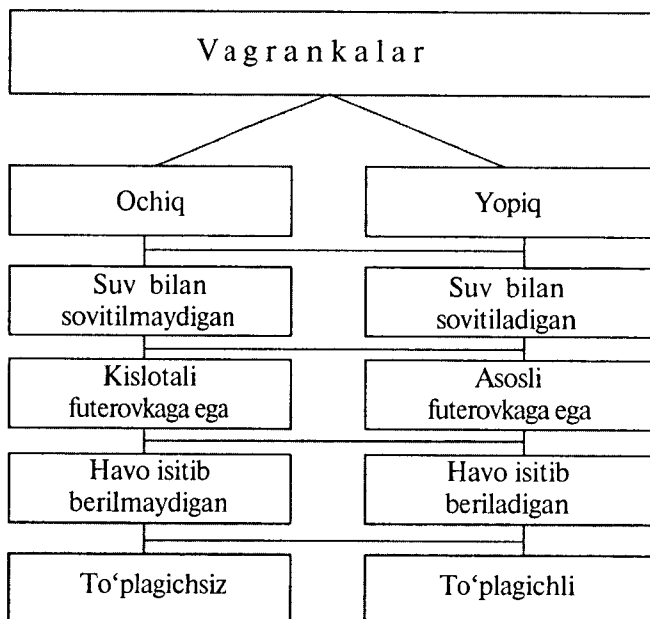
Yoy pechlari (DP, 29- e rasm) shixta bilan ust tomondan yuklanadi, bunda gumbaz 4 chekkaga chetlatiladi, shixta, so'ngra esa suyuq metall vanna 2 da bo'ladi. Suyuqlantirish elektrodlar 3 bilan yaratiladigan yoy razryadlari yordamida bajariladi. Tayyor cho'yan pechni qiyalatib tarnov 2 orqali chiqarib 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-

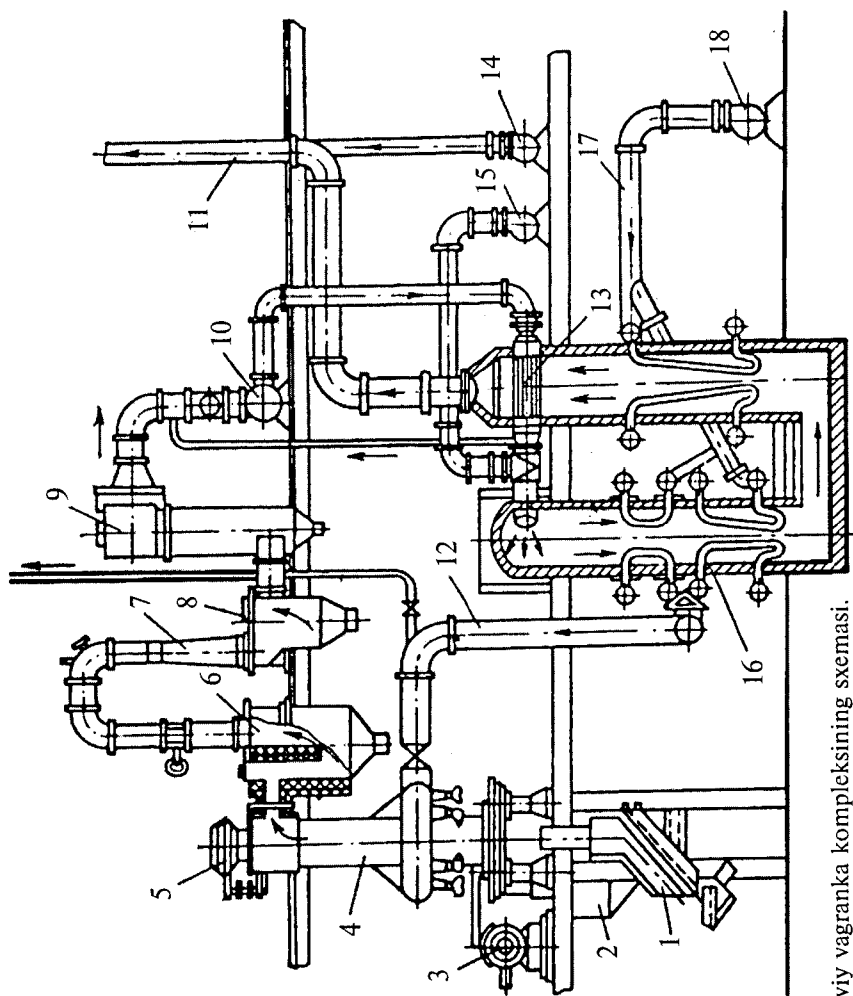


30- rasm. Zamonaviy vagrankalarning klassifikatsiyasi.

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, sovitilgan 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 sovitiladi va changning yirik zarrachalaridan tozalanadi. Gazlar



31- rasm. Zamonaviy vagranka kompleksining sxemasi.

tozalashning ikkinchi bosqichi Venturi trubasi 7 da bajariladi, bu yerda gaz 100–140 m/s tezlikda trubaning suv pardali og'zidan o'tganida gazlarda qolgan chang ho'llanib iflos tomchilar va qatralarga aylanadi, ularning deyarli ko'pchilik qismi shlam chiqarib yuboriladigan sistemaga oqib tushadi. So'ngra chiqib ketayotgan gazlar gaz tozalashning uchinchi bosqichi – tomchilarni ushlab qolish va tozalangan gazlarni quritishdan o'tish uchun ho'l skrubber 9 ga keladi. 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 tajribasi gazlarning atmosferaga chiqishida olingan namuna changlanganlik darajasi sanitariya normalariga muvofiqligini ko'rsatdi. Koks sarfi 14% bo'lganda tarnovdagi cho'yaning 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 sistemalaridir. Shunday sharoitlarda chiqib ketadigan gazlarning talab etilgan tozaligi va cho'yaning yuqori temperaturasi ta'minlanadi [38]. 31- rasmda keltirilgan vagranka qurilmasiga kiradigan bu tipdagi vagranka konstruksiyasi 32- rasmda ancha mukammal ko'rsatilgan.

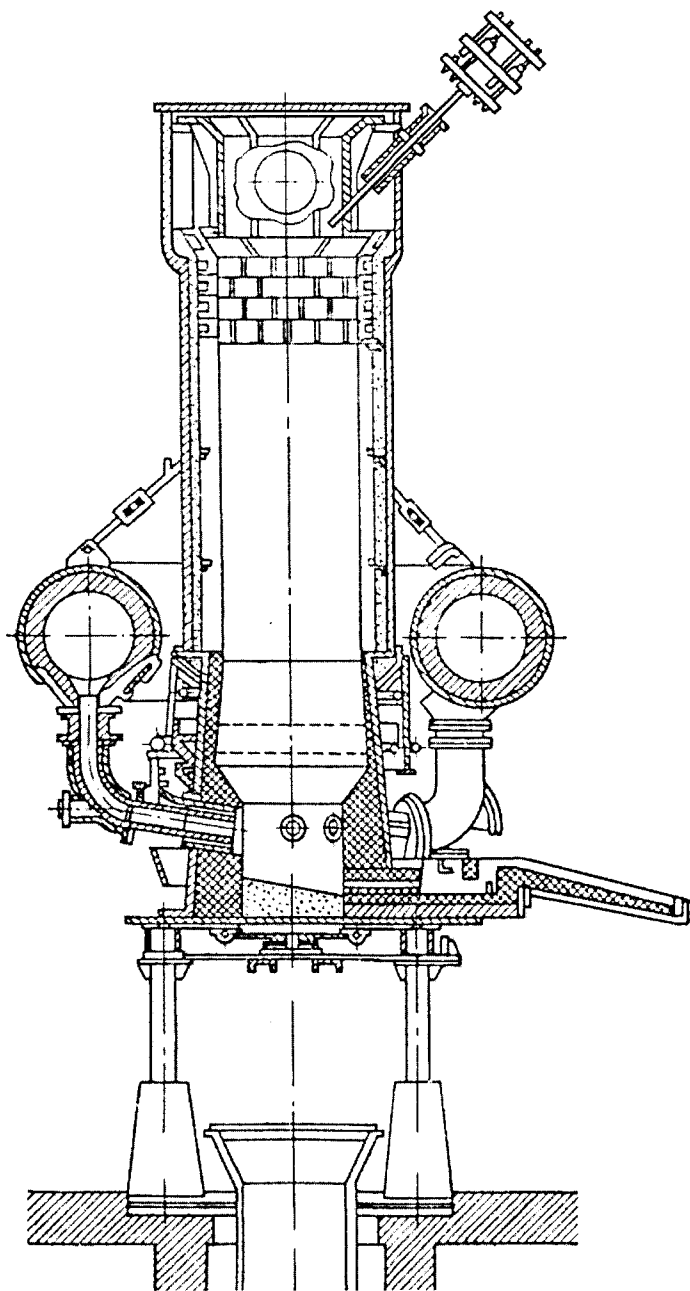
Zamonaviy koks vagrankasining o'ziga xos xususiyati suyuqlantirish zonasining domna profiliga o'xshashligidir. Bunday profil tashqaridan suv bilan sovitiladigan domna pechlari furmalarga mos tez almashtiriluvchi mis furmalar uchun ancha qulay; u gazodinamika va vagrankada issiqlik almashinuvni sezilarli yaxshilaydi.

Suv bilan sovitish 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:

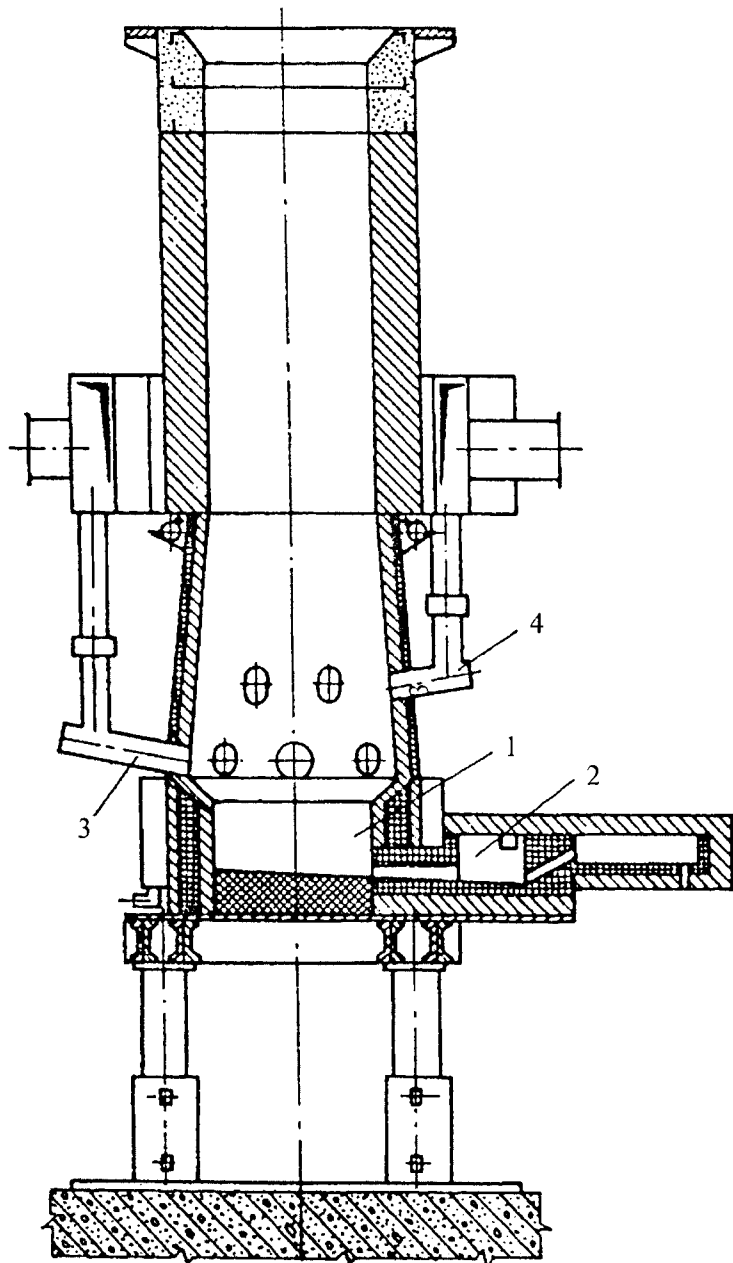
IIIAB – olovbardoshlilik kamida 1730 °C bo'lgan shamot buyumlari;

IIIBB – olovbardoshlilik kamida 1670 °C bo'lgan shamot buyumlari;

ПБВ – olovbardoshlilik kamida 1670 °C bo'lgan yarim kislotali buyumlar.

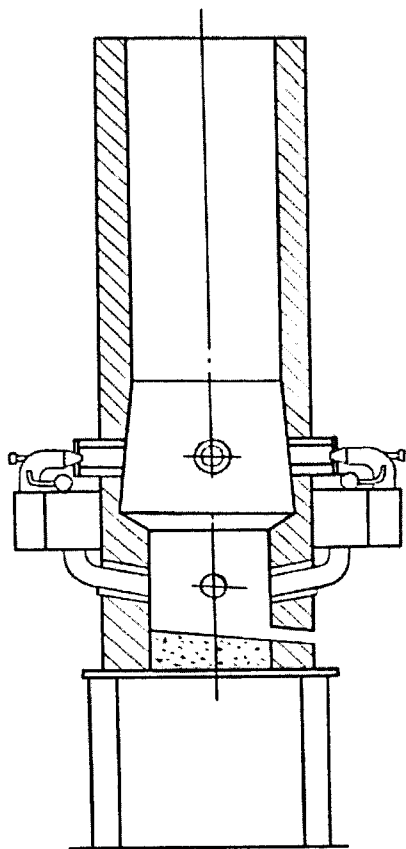


32- rasm. GIPROstanok instituti ishlab chiqqan vagranka.



33- rasm. Havo ikki joydan beriladigan uzoq davom etadigan siklli vagranka:

1 – gorn, 2 – shlak ajratgich, 3 – birinchi qator furmalari,
4 – ikkinchi qator furmalari.

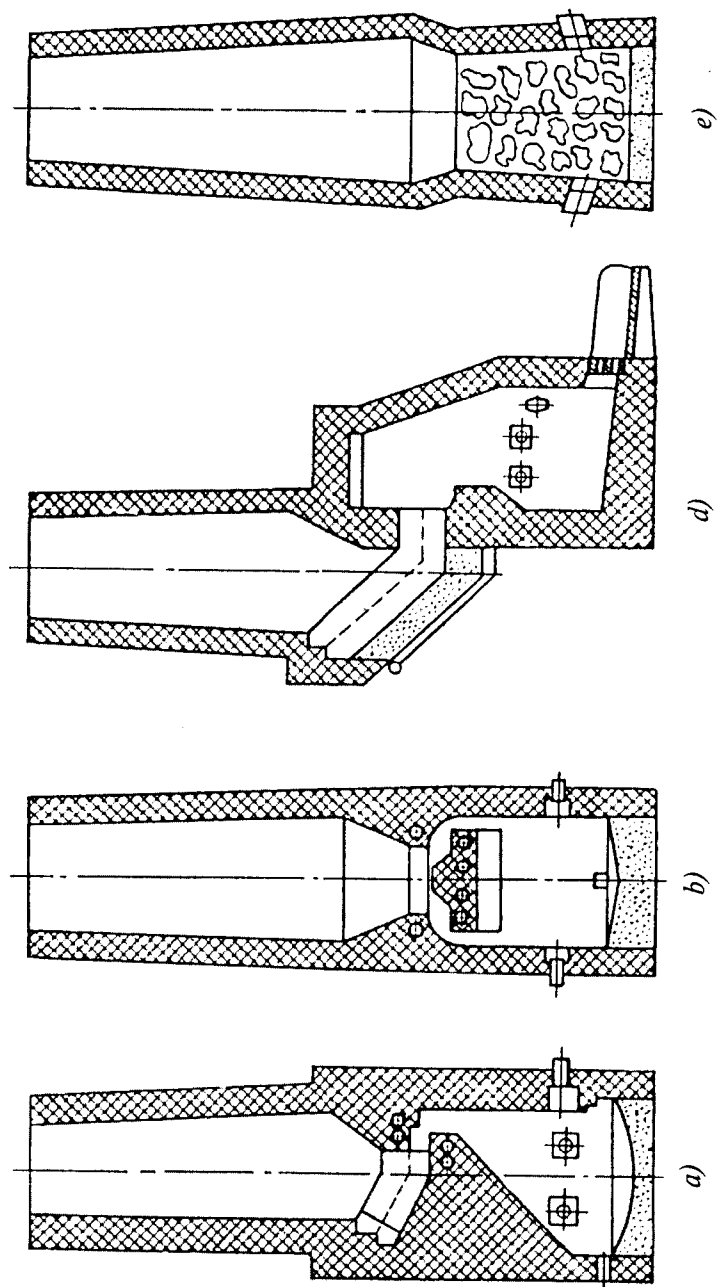


34- rasm. Koks-gaz vagrankasi.

IIIAB markali buyumlar suyuqlantirish zonasi va gornni, ya'ni eng yuqori temperatura kuzatiladigan zonalarini futerovka qilish uchun ishlatiladi. Qolgan zonalar IIIAB va ПББ markali buyumlar bilan futerovka qilinadi.

Vagrankaning uzluksiz ishlash davomiyligi futerovkaning xizmat qilish muddatiga bog'liq, u esa, o'z navbatida, futerovkaning bajarilish sifati va olovbardosh materiallar sifatiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun futerovkaning shakli va vagranka suyuqlantirish zonasining o'lchamlariga qat'iy mos keladigan olovbardosh materiallarni ishlatish zarur. Masalan, diametr 1250 mm bo'lsa, IIIAB-2 markali buyumlar ishlatish zarur, terilish radiusi 633 mm bo'ladi; boshqa radiuslarda — tegishli buyumlar. Bunda chokning qalinligi 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 – chiqiqlari bor, *b* – kashakili (peremichkali),
d – chiqarma oʻta qizdirish kamerali, *e* – olovbardosh nasadkali.

kalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori bo'ladi. 33- rasmda gorni 1 va shlakdan ajratgichi 2 uglerodli tiqma massa bilan futerovka qilingan vagranka ko'rsatilgan.

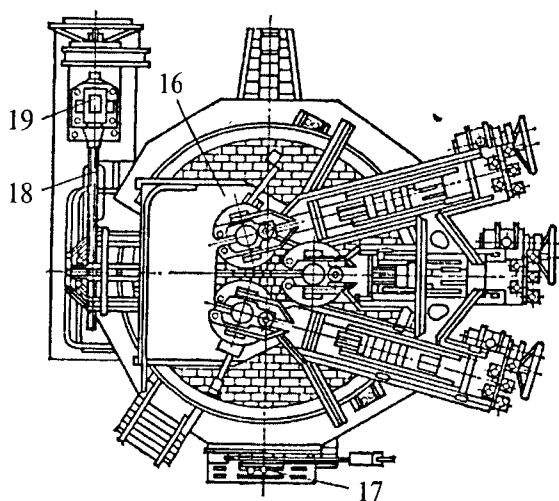
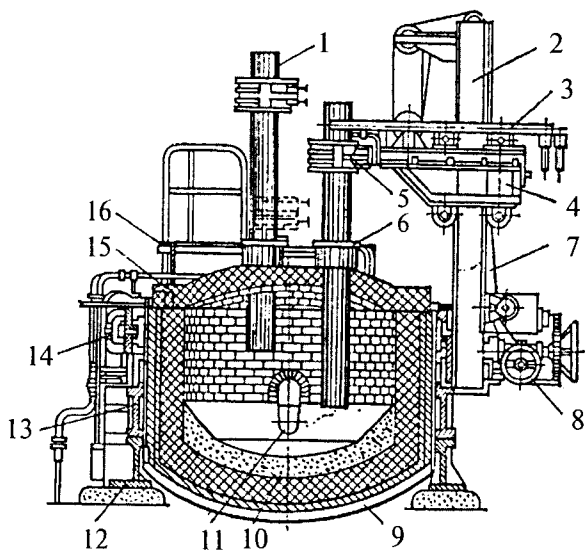
So'nggi yillarda havo ikkita joyga beriladigan vagrankalar rivoj topdi, ularda birinchi qator 1 furmalardan tashqari, asosiy qatordan 700—900 mm yuqorida joylashgan 4 furmalar bo'ladi. Havo furmalarining yuqori qatoriga alohida beriladi. Beriladigan havoning alohida rostlanishi vagranka ishini yaxshilashga imkon beradi. Metallurgiyada koks vagrankalaridan tashqari koks-gaz va gaz vagrankalari ishlatiladi. Koks-gaz vagrankalarining koks vagrankalaridan farqi shundaki, ularda furmalardan 700—900 mm balandlikda gaz gorelkalari bo'ladi (34- rasm).

Gaz vagrankalarining to'rtta konstruksiyasi mavjud: shaxtada chiqiqlari bor (35- a rasm), shaxtada kashakisi bor (35- b rasm), chiqarma o'ta qizdirish kamerali (35- d rasm) va olovbardosh nasadkali (35- e rasm). Barcha bu vagrankalarda o'ta qizdirish zonasi konstruktiv jihatdan alohida bo'ladi (chiqiq, kashak va shunga o'xshashlar bilan ajratilgan). Eng ko'p tarqalgani chiqarma kamerali va olovbardosh nasadkali vagrankalardir.

Elektr yoy pechlari

Cho'yanni suyuqlantirish uchun pechlarning maxsus konstruksiyasi bo'lmaydi. Po'latni suyuqlantirish uchun mo'ljallangan ДСП tipidagi yoy elektr pechlaridan foydalaniladi. Pech konstruksiyasi 36- rasmda ko'rsatilgan. Pech po'lat g'ilof (karkas)dan, qiyalatish mexanizmidan, futerovka (tubi, devorlar va gumbaz)dan, elektrodlar va elektrodلarni yurg'uzuvchi mexanizmdan iborat. Pech g'ilofi silindr yoki yuqori tomoni salgina kengayadigan konus shaklida bo'lishi mumkin. U 12—20 mm qalinlikdagi po'lat listdan payvandlab yasaladi. G'ilofning tubi yassi, konussimon yoki sfera shaklida bo'lishi mumkin. G'ilofda yuklash tuynugi va metall lyotka uchun teshik qirqiladi. Pech g'ilofi futerovka va suyuqlantirilayotgan metallning barcha og'irligini hamda termik kuchlanishni sezadi, shu sababli u alohida mustahkamlikka ega bo'lishi kerak.

Metallni pechdan bo'shatish uchun uni to'kish jo'mragi tomon 40—45° ga, shlakni tortib olish uchun ish tuynugi tomon 10—15° ga qiyalatish zarur. Pechni qiyalantirish uning yon tomonida yoki ostida joylashgan maxsus mexanizm yordamida ma'lum tezlik bilan bajariladi. Qiyalatish mexanizmi yon tomonda joylashganda pech g'ilofi g'ilof bilan qattiq birlashtirilgan, ikkita quyma segment vositasida poydevorga o'rnatilgan quyma o'rindiqqa tayanadi. Segmentlar va quyma o'rindiqda pechni puxta qayd qiladigan tishlar joylashgan. Pech vintni



36- rasm. Qora metallar suyuqlantiradigan yoy elektr pechi:

1 – grafit elektrodlar, 2 – yo'naltiruvchi kolonnalar, 3 – tok o'tkazgichlar, 4 – karetkalar, 5 – elektrod tutgichlar, 6 – elektrod sovitkichlari, 7 – troslar, 8 – karetkani siljituvchi mexanizm, 9 – po'lat g'ilof (kojux), 10 – tiqma tub, 11 – metall chiqarib olinadigan teshik, 12 – tishli tayanch reykalar, 13 – tishli sektorlar, 14 – sharnirli gayka, 15 – olinadigan gumbaz, 16 – ish maydoni, 17 – ish tuynugining eshikchasi, 18 – spindel, 19 – qiyalatuvchi yon mexanizm dvigateli.

aylantirib qiyalatiladi. Vint segmentlarning birida sharnir vositasida mahkamlangan gaykaga burab kiritilgan. Pechni qiyalatish uchun gidroyuritmadan ham foydalaniladi [10].

Pech futerovkasi bir nechta qatlamlardan iborat. Tubning suyuq metall va shlakka tegib turadigan birinchi qatlami — olovbardosh poroshok tiqmadan iborat. Kislotali jarayonda kvars qum tiqmadan, asosli jarayonda magnezit poroshok tiqmadan foydalaniladi. Tubning ikkinchi qatlami kislotali jarayonda dinasdan, asosli jarayonda esa magnezitdan bajariladi. Keyingi qatlamlar shamotdan, diatomit va asbesdan bajariladi.

Pechlarning devorlari qatlam-qatlam qilib teriladi: birinchi qatlam — dinas yoki magnezit g'ishtdan, ikkinchi qatlam shamot g'ishtdan, uchinchi qatlam diatomit poroshokdan iborat bo'ladi. Diatomit poroshok issiqlikni izolatsiyalovchi material bo'lib, bir yo'la pech qiziganda olovbardosh materiallarning kengayishini kompensatsiyalaydi va shu bilan uning g'ilofini vayron bo'lishdan saqlab qoladi. Olovbardosh g'ishtlar o'rni ba'zan kvars qumdan yoki magnezit poroshokdan tayyorlangan tiqma bloklar ishlatiladi. Gumbaz maxsus qolip yordamida elektrodinas normal va fason g'ishtdan tayyorlanadi.

Elektr toki pech ishchi bo'shlig'ining ichiga ko'mir yoki grafitlangan elektrodlar orqali beriladi. Ko'mir elektrodlar antratsit va koksdan, grafitlangan elektrod esa sun'iy grafitdan tayyorlanadi. Ko'mir elektrodning grafitlangan elektrodga nisbatan mexanik mustahkamligi kichik, elektr o'tkazuvchanligi esa ancha past bo'ladi. Shu sababli ulardan odatda sig'imi 3 t gacha bo'lgan kichik pechlar-dagina foydalaniladi.

Elektrodlarning kesimi doiraviy, uzunligi 1000—1800 mm bo'ladi. Elektrodning chetlarida rezbali teshiklar bor. Pechda joylashgan elektrodning pastki qismi oqib tushishi sayin u uzaytiriladi. Buning uchun ishlab turgan elektrodning yuqorigi qismiga ulash nippeli yordamida yangi elektrod burab kiritiladi.

Sig'imi 1,5 va 3 t bo'lgan pechlar qo'lda yuklanadi. Katta sig'imli pechlarni yuklashda maxsus mexanizmlar ishlatiladi. Eng ko'p tarqalgani ust tomondan yuklashdir. Shixtani yuklashda pech gumbazi elektrodlar bilan birgalikda yuqoriga ko'tariladi va 80—100° ga buriladi. Ochiq pech maxsus yuklash savatlari yordamida yuklanadi. Pechni yuklab bo'lgandan so'ng gumbaz o'zining dastlabki holatiga qaytariladi.

Hozirgi vaqtda turli mamlakatlardagi mutaxassislarning kuchlari bilan elektr yoy vositasida suyuqlantirishga bog'liq bo'lgan juda murakkab texnik muammolar hal etilgan, bu esa zamonaviy yoy elektr pechlarida barcha texnologik operatsiyalarni yuqori darajada ishonchli, manevrli bo'lishini va avtomatlashtirilishini ta'minlashga imkon berdi.

Zamonaviy elektr yoy pechlarida (EYP) shixta yuklashni to'la mexanizatsiyalash va avtomatlashtirishga quyidagilarni qo'llab erishiladi: avtomatik rejimda 12 ta tashkil etuvchini dozalashga imkon beruvchi maxsus dozlovchi qurilmalar (masalan, «Ramsey» tipidagi dozator) va bir marta yuklashni 60 t gacha yetkazishga imkon beruvchi greyfer yoki zanjir tipdagi ko'p tavaqali yuklash qovg'alari (Flet Rokdagi Ford zavodi, KamAZ quymakorligi), bir yo'la 50 tonnali pechni yuklash jarayonini o'zining davomiyligini 5 minutgacha kamaytiriladi. Yaponiyada EYP ga shixtani uzluksiz yuklash uchun transporter va shnekli qurilmalar joriy qilib bo'lingan.

Zamonaviy elektr yoy pechlari 1 t metall shixtaga sarflanadigan solishtirma quvvat bo'yicha ko'p variatsiyali katta quvvatli pech transformatorlari bilan jihozlanadi (odatdagi quvvatli pechlar — 200 kV · A/t gacha, yuqori quvvatli — 250–500 kV · A/t, o'ta yuqori quvvatli — 700–1000 kV · A/t). Yoy pechlarining texnik xarakteristikalarini 16- jadvalda keltirilgan.

16- j a d v a l

Rossiyada chiqariladigan elektr yoy pechlarining texnik ko'rsatkichlari

Pech tipi, zavod-tayyorlagich	Xarakteristikalar				
	sig'im, t	transfor- matorning nominal quvvati, mV · A	transforma- torning solishtirma quvvati, kV · A/t	past tomon kuchlanish chegaralari, V	nominal tok kuchi, A
ДСП-0,5, YuUZETO	0,5	0,4	400	110—190	1200
ДСП-1,5, YuUZETO	1,5	1,0	600	118—225	2500
ДСП-3, YuUZETO	3	1,8	600	244,5/123,5	6270
ДСП-6, Sibelektoterm	6	4,0	667	130—281	9850
ДС-5MT, ZMZ	5	2,8	578	114—257	6300
ДСВ-10А, ChMZ	10	5,0	416,6	120—478	11560
ДСП-12, Sibelektoterm	12	9,0	750	115—317,5	16370
ДСП-25, Sibelektoterm	25	15,0	600	126—368	23500
ДСП-50, Sibelektoterm	50	25,0	500	131—417	34600
ДСП-80А, ChMZ	80	32,0	308,8	162—478	38800
ДСП-100, Sibelektoterm	100	50,0	500	189—514	57400

70- yillar boshida elektr yoy pechlarida butun cho'yan suyuqlantirish texnologik sikli avtomatlashtirilgan tarzda boshqariladigan sistema joriy qilingan edi. Elektr yoy pechlarida o'zgartgichlar sifatida tiristor yoki parametrik tok manbalaridan ta'minlanadigan kremniy ventillaridan foydalanila boshlandi, suyuqlanmani aralashtirish uchun elektrmagnit qurilmalar o'zlashtirildi. Konus korpuslarga o'tilishi futerovkalarining progressiv konstruksiyalarini joriy qilishga va buning hisobiga futerovkaning xizmat qilish muddatini bir necha ming marta eritib olishlargacha oshirishga imkon berdi. Hozirgi vaqtda korpusining suv bilan sovitiladigan qismlari (arka, ustunchalar, gumbaz halqasi va umuman gumbaz) salmog'i katta bo'lgan elektr yoy pechlari chiqarilmoqda.

Zamonaviy elektr yoy pechlarida bu yutuqlarning joriy qilinishi cho'yan suyuqlantirib olishni to'la avtomatlashtirishga, suyuqlanmaning yuqori darajada o'ta qizitilishini (1700 °C dan yuqori) ta'minlashga va unumdorligini 30 t/soat gacha va undan ko'pga oshirishga imkon berdi.

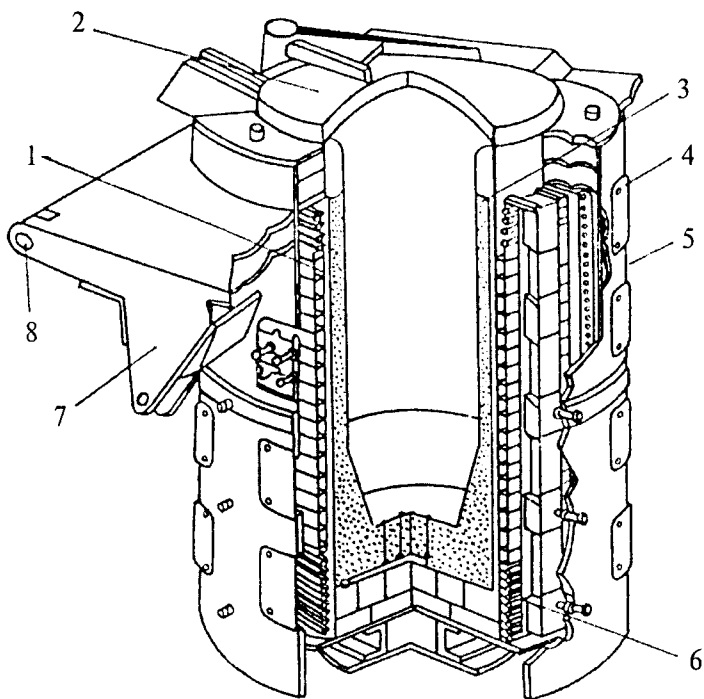
Tigelli induksion pechlar

Pech konstruksiyasi 37- rasmda ko'rsatilgan. Tigelli pech induktori 1 g'altak shakliga ega. Indikator ichida olovbardosh materialdan yasalgan tigel 3 joylashgan. Tigelning ichki bo'shlig'i suyuqlantirilgan metall bilan to'ldiriladi. Induktor metall ta'siridan tigel vositasida himoyalanaadi. Tigel devorining qalinligi, ya'ni induktor bilan suyuq metall orasidagi masofa pechning elektr parametrlariga ta'sir qiladi: devor qanchalik qalin bo'lsa, g'altakni yorib o'tuvchi magnit kuch chiziqlarining shunchalik ko'p miqdori metall qizishida qatnashmaydi va pechning cos ϕ si shunchalik kichik bo'ladi.

Tigel bo'lishi tufayli pechlarning cos ϕ si kichkina bo'ladi. Elektr tarmog'ining reaktiv quvvati katta bo'lmasligi uchun induktorga parallel ravishda kondensatorlar ulanadi, ularning soni suyuqlantirish jarayonida o'zgaradi, chunki qizdirganda shixtaning elektr qarshiligi o'zgaradi, ayrim hollarda esa uning magnit xossalari ham o'zgaradi.

Induktor va kondensator batareyasidan iborat kontur bo'ylab katta qiymatli tok o'tadi. Shu sababli ularni birlashtirish uchun katta 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'tkazilishiga qarab, pechlarning ochiq, ekranlangan va berk konstruksiyalari bir-biridan farqlanadi.

Ochiq konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi tomonidan havodan o'tadi. Magnit maydonning kuch chiziqlari induktorni o'rab olgan bo'shliqni yorib o'tadi. Shu sababdan pechning konstruktiv



37- rasm. Tigelli induksion pech:

1 — induktor, 2 — qopqoq, 3 — tigel, 4 — magnit o'tkazgich,
5, 6, 7 — metall konstruksiyalar, 8 — pechni burish o'qi.

elementlari, masalan, uning karkasining detallari metallmas materialdan bo'lishi yoki induktordan shunday masofada joylashishi kerakki, magnit maydon ularga ta'sir qilmasin. Induktor yaqinida yog'och yoki asbosementdan yasalgan elementlar joylashtiriladi. Magnitmas metallar va uglerodli po'latdan tayyorlangan elementlar induktordan yetarli darajada katta masofaga uzoqlashtirilgan (kamida uning bitta diametriga) bo'lishi kerak. O'lchamlari katta bo'lmagan pechlargina ochiq konstruksiyaga ega bo'lishlari mumkin.

Ekranlangan konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi tomonidan po'lat konstruksiyalardan misdan yasalgan ekran bilan ajratiladi. Misning elektr qarshiligi uncha katta bo'lmaydi va elektromagnit maydonda joylashtirilgan jismda quvvat ajralishi uning qarshiligiga bog'liq bo'lgani uchun mis ekran maydon energiyasini kam yutadi. Ekran bo'lganda po'lat konstruksiyalarni induktorga yaqin joylashtirish mumkin, bu esa pechning gabarit o'lchamlarini kichraytiradi.

Berk konstruksiya. Magnit oqimi induktorning tashqi tomonidan radial joylashgan transformator po'lati paketlari — magnit o'tkazgichlar bo'yicha o'tadi. Transformator po'latining magnit singdi-

ruvchanligi havonikiga nisbatan bir necha marta ortiq bo'ladi, shu sababli amalda butun magnit oqimi magnit o'tkazgichlardan o'tadi. Ular induktorga mumkin qadar yaqin joylashtirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki bunda uning bikrligi ortadi va pech o'lchamlari kichrayadi (37- rasmga q.). Induktor 1 va 2 berk qopqoq bilan qamrab olingan 3 pech tigeli 5 va 7 metall konstruksiyalarni qizishdan saqlaydigan 4 magnit o'tkazgich bilan o'rab olingan. Induktordan pastda va yuqorida tigelni qamrab olgan suv bilan sovituvchi 6 trubalar joylashgan.

Metallni chiqarib yuborish uchun pech 8 o'q atrofida buriladi. Induktor to'g'ri burchakli kovak o'tkazgich (mis nay)dan tayyorlanadi, o'tkazgichni sovitish uchun uning ichidan suv o'tadi.

Rossiyaning elektr texnika sanoati chiqaradigan tigelli induksion pechlar ИЧТ harflar (induksion, cho'yan suyuqlantiruvchi, tigel) pechning tonnalar hisobidagi nominal quyimini belgilaydigan raqamlar bilan markalanadi. Masalan, ИЧТ-1 (pech quyimi 1 t). Bundan tashqari, markasida transformatorning quvvati ming kVA larda ko'rsatiladi. Masalan, ИЧТ-10/2,5 — quvvati 2,5 ming kVA ga teng transformatorga ega, undan tashqari ИЧТ-1; ИЧТ-2,5; ИЧТ-6; ИЧТ-10 va ИЧТ-31 markali pechlar ham chiqariladi.

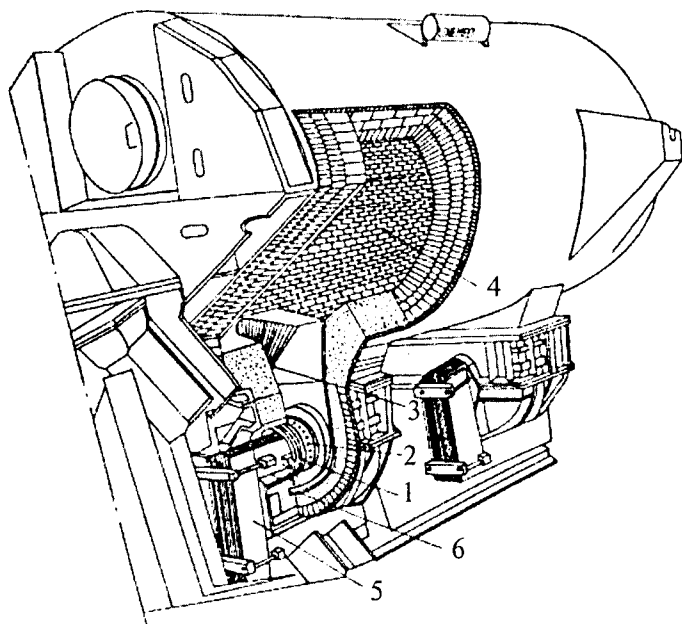
Kanalli induksion pechlar

Kanalli pechlar suyuq metallni saqlash (viderjka), uni o'ta qizdirish (rejim temperaturadan eng ko'pi bilan 100 °C ga yuqori) va zarur bo'lganda qo'shimchalar kiritish uchun xizmat qiladi. 17- jadvalda Rossiyada chiqariladigan ИЧКМ tipdagi kanalli pechlarning nomenklaturasi keltirilgan. Kanalli pechlarning sig'imini oshirishga moyillik mo'ljallanmoqda (AQSHda, masalan, sig'imi 120 va 270 t li pechlar mavjud).

17- jadval

Kanalli induksion pechlarning texnik ko'rsatkichlari

Tipi	Sig'imi, t	Quvvati, kW	Unumdorligi, 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	—	—



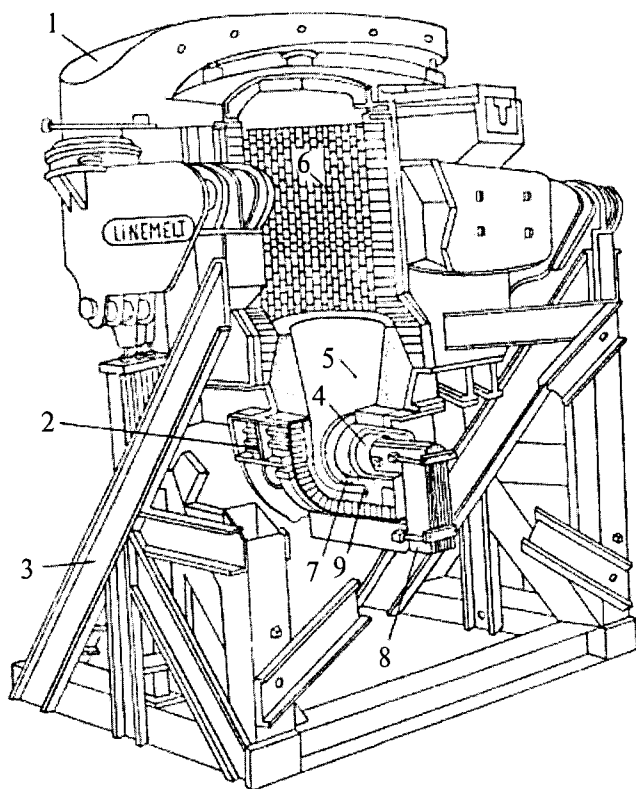
38- rasm. Baraban tipidagi kanalli induksion elektr pechi:

1, 2 — induktor, 3 — og'iz, 4 — ishchi boshliq, 5 — o'zak, 6 — kanal.

Kanalli pechlar Rossiyada va boshqa davlatlarda keng ko'lamda qo'llaniladi, chunki undan yuqori sifatli cho'yan olish mumkin va ko'p xarajat qilmasdan cho'yanning 1300°C dan ortiq temperaturagacha o'ta qizdirilishini ta'minlaydi.

Pech konstruksiyasi 38- rasmda ko'rsatilgan. Pech induktori *I* transformator prinsipi bo'yicha ishlaydi. Unda birlamchi chulg'am vazifasini o'zak 5 dagi induktor g'altagining o'ramlari, ikkilamchi chulg'amni esa kanal 6 dagi suyuqlantirilgan metallning qisqa tutashgan chulg'ami o'taydi. Kanal vanna 4 bilan (pechning ishchi hajmi) og'iz 3 vositasida birlashtirilgan. O'ramda induksiyalanadigan toklar metallni qizdiradi va suyuqlantirilgan muhitning berk konturda sirkulatsiyasi (aylanishi) uchun sharoit yaratadi. Sirkulatsion oqimlarning vujudga kelishiga sabab kanaldagi metall temperaturasining vannaning ishchi hajmidagi temperaturaga nisbatan yuqoriligidir. Shu sababga ko'ra kanal futerovkasining xizmat qilish muddati vannadagiga qaraganda kam bo'ladi.

Kanallarning joylashishi va ishchi bo'shliqning shakliga ko'ra kanalli pechlar gorizontal va vertikal pechlarga bo'linadi. Gorizontal pechlar (38- rasm) baraban tipdagi, vertikal pechlar (39- rasm) esa shaxta tipdagi pechlar 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 berkitilgan tigel ko‘rinishidagi 6 ishchi bo‘shliqqa ega, qurilmaning pastki qismida 2 induksion kanalli birlik joylashgan. Pech 3 karkasda montaj qilinadi. Kanalli induksion birlik asosiy ishchi bo‘shliq bilan 5 og‘iz vositasida birlashtirilgan kanalga ega. O‘zak 8 dagi 4 va 7 induktor 9 kanal bilan qamralgan.

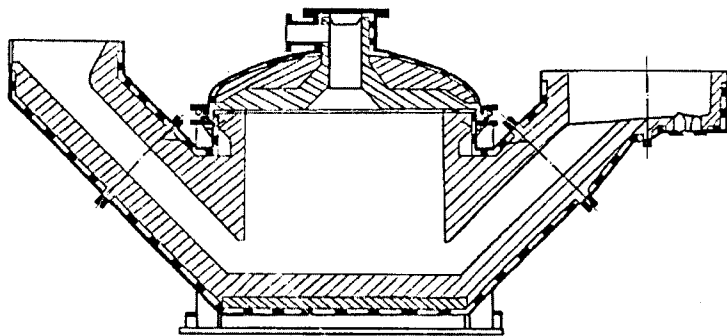
Kanalli pechlardan faqat bir-biri bilan almashiniladigan qo‘shimcha kanal bloklari ishlab chiqilgandan so‘ng, suyuq cho‘yanni to‘plash uchun keng ko‘lamda foydalanila boshlandi. O‘zaro almashuvchanlik kanal blokini pech vannasi bilan tutashadigan joyida chok mustahkamligi muammosini chokni sovitish, shuningdek, maxsus konstruksiyalar va chokni unga metall sizib kirishidan saqlaydigan yaxlit olovbardosh g‘ishtni qo‘llash vositasida hal etilganidan keyin-gina mumkin bo‘ldi.

Ekspluatatsiya qilish sharoitlarida kanal bloklari pechni metalldan to'la bo'shatmasdan almashtiriladi. Metalldan almashtiriladigan blokning kanallarigina bo'shatiladi, bu esa pechni tegishli buriq amalga oshiriladi. Kanal bloki konstruksiyasi jihatidan shunday bajarilganki, kran yoki kran-balka mavjud bo'lsa, uni bir necha soat ichida osongina almashtirish mumkin. Kanal blokini almashtirishda uni vannadan ajratish oson bo'lishi uchun uchma-uch biriktirilgan joylardagi yig'ilgan shlakni suyuqlantirish uchun kanallardagi metall temperaturasi oshiriladi.

Barabanning pastki qismida kanal bloklarining vertikal o'qqa nisbatan 45° burchak ostida o'rnatilishi bloklarning almashtirilishini osonlashtiradi, kanal devoriga ta'sir qiladigan ferrostatik bosimni kamaytiradi va futerovkaning jadal yeyilishining oldini olish uchun bitta kanal bloki induktorining quvvati 1100 kW dan ortiq bo'lmasligi kerak. Umuman, kanal bloklari sonini oshirish hisobiga pech quvvatining ortishiga erishiladi. Pechni qiyalatish uchun ikkita tezlikli ikkita gidravlik silindr xizmat qiladi. Pech qiyalanishini ikkita tezlikda boshqarish uchun qurilmada komanda apparati va ikkita moy nasosi nazarda tutilgan.

Avtomatik quyish qurilmalari

Konveyerlarda qoliplarga metall quyish uchun metall temperaturasini o'zgartirmasdan saqlash va jarayonni avtomatlashtirish maqsadida bir yo'la avtomatik quyish qurilmasi hisoblanadigan maxsus pechlar (odatda, kanal tipidagi) ishlatiladi. ASEA firma (Shvetsiya) chiqaradigan Presspoor tipidagi pech bunday pechga misol bo'la oladi. Bu vanna kanal yordamida qizdiriladigan germetik pechdan iborat bo'lib, unda metall chiqarib berilishi metall yuzasiga yuqori bosimli siqilgan havo ta'siri hisobiga amalga oshiriladi (40- rasm).



40- rasm. Presspoor pechi.

Mashina quyish konveyeri yonidagi chuqurchada mustahkam montaj qilingan. Qolip hovuraki ustida alohida ustunchada fotoreleli kallak o'rnatilgan, u qolip to'lganda metall uzatilishini avtomatik to'xtatish uchun xizmat qiladi. Mashina orqasida boshqarish pulti o'rnatilgan, pultda operator-quyuvchi ishlaydi.

4.2. Po'lat suyuqlantiriladigan pechlar

Jarayonlar klassifikatsiyasi va pechlarning texnologik sxemalari umumiy klassifikatsiyaga muvofiq (3- rasmga q.) quymakorlikda po'lat suyuqlantirish jarayonlari, asosan, yoqilg'i va elektr pechlarda amalga oshiriladigan monojarayonlar jumlasiga taalluqlidir (41- rasm). Dupleks-jarayon (V-K) va qayta suyuqlantirish jarayonlari ham qo'llaniladi.

Davriy kontaktli monojarayon marten pechida amalga oshiriladi. Davriy tipdagi elektr pechlardagi monojarayonlar kontaktli ham (DP, PP) va kontaktsiz (ITP) ham bo'lishi mumkin. Quymakorlikda eng ko'p tarqalgani elektr yoy yordamida suyuqlantirish metodidir.

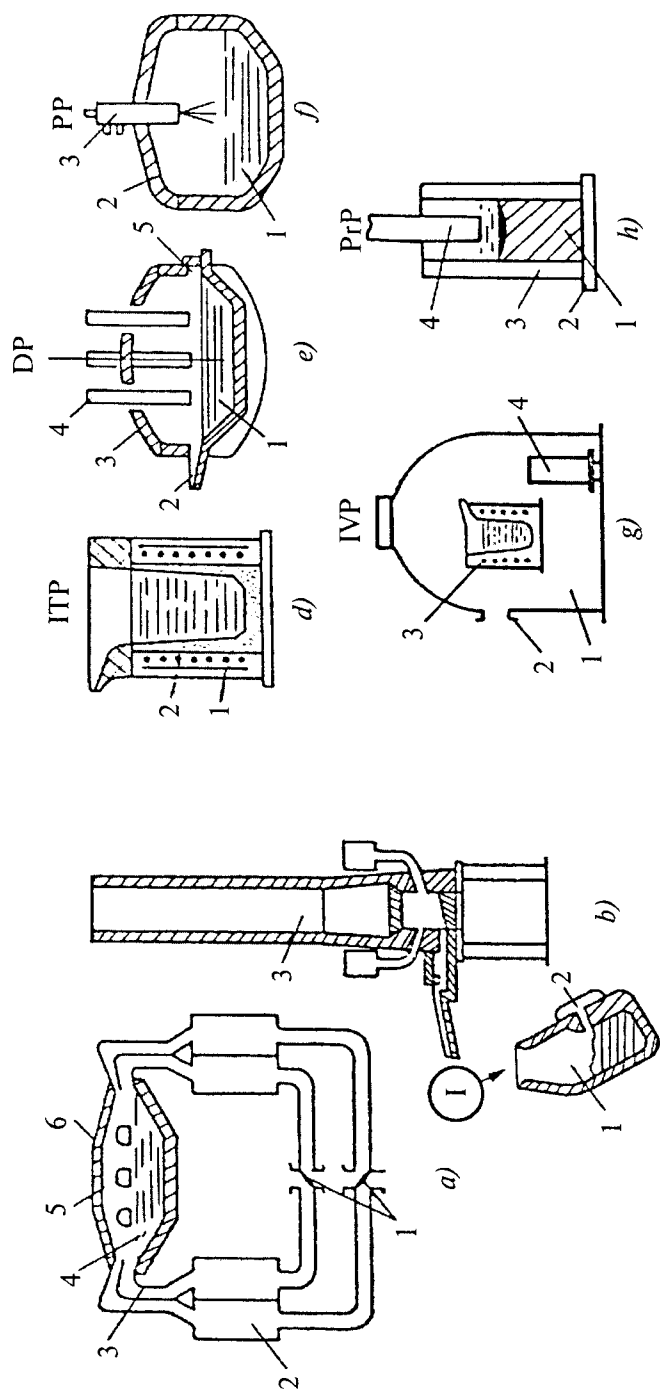
Po'lat quymalar olish uchun IVP da qayta suyuqlantirish jarayonlari va elektr vositasida qizdiriladigan shlak ostida qayta suyuqlantirib quyma olinadigan va elektr shlakli quyish (ESHQ) nomini olgan jarayon ham qo'llaniladi.

Marten pechi (41- a rasm) 6 gumbaz bilan yopilgan futerovka qilingan 4 vannaga ega. Vannaga 5 tuynuk orqali shixta yuklanadi. Pechning yon tomonlarida yoqilg'i yoqish uchun (gaz yoki mazut) 3 kallaklar joylashgan. Gaz va havo 2 regeneratorlarda isitiladi, ularga gaz va havo regeneratorlarni navbatma-navbat ishlashini ta'minlaydigan (havo isitishda chap regeneratorlar ishlaganda o'ng tomondagilar chiqib ketayotgan gazlar bilan isitiladi va aksincha) 1 tashlama klapanlari bor kanallar sistemasi orqali beriladi.

Dupleks-jarayon vagranka — *konvertor* (41- b rasm) 3 vagrankada suyuqlantirib olish va keyinchalik suyuq metallni 1 konvertorda 2 furma orqali havo bilan tozalash vositasida amalga oshiriladi.

Induksion pechlar (41- d rasm) 2 induktorli 1 tigeldan iborat; u cho'yan suyuqlantirish pechiga o'xshaydi.

Yoy pechlari (41- e rasm) shixta yuklanadigan 1 vannaga ega; bunda 4 elektrodli gumbaz chetga chetlantiriladi. Ish tuynugi 5 dan qo'shimcha ravishda shlak hosil qilish, qo'shimchalar kiritish va shunga o'xshashlar uchun foydalaniladi, 2 tarnovdan tayyor po'lat chiqarib yuboriladi. Plazma pechlari (PP) ham (41- f rasm) shunga o'xshash qurilmaga ega. Pech vannasiga shixta yuklanadi, 2 gumbazda 3 plazmatron o'rnatilgan.



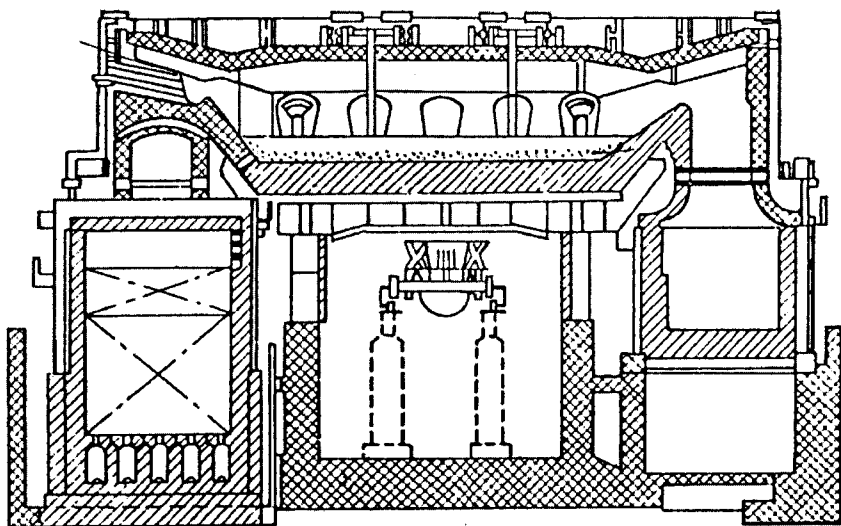
41-rasm. Po'lat quyish pechlarining texnologik sxemalari.

Induksion vakuum pech (41- g rasm) vakuum-nasosga 2 patrubok yordamida biriktirilgan 1 vakuum kameradan iborat; 3 pechning o'zi va 4 qolip kamera ichida joylashgan.

Qayta suyuqlantirish jarayoni (41- h rasm) dastlabki 4 quymani elektr shlak pechining 3 kristallizatoridagi 2 taglikda qoliplanadigan 1 quymaga qayta suyuqlantirish yordamida amalga oshiriladi.

Marten pechlari

Marten pechlarida po'latni suyuqlantirish metallurgiyada hali keng ishlatilmoqda. Po'lat quymakorligida bu jarayondan yirik po'lat quymalarini olishda foydalaniladi. Zamonaviy marten pechlarining sig'imi 600 t gacha bo'ladi, lekin quymakorlikda sig'imi 5–35 t bo'lgan pechlardan foydalanilardi. Marten pechning konstruksiyasi 42- rasmda ko'rsatilgan. U vannali regenerativ pechdan iborat bo'lib, unda po'lat suyuqlantiriladi; pech kallaklari ishchi bo'shliqning uchlari bo'ylab joylashgan. Ular yoqilg'i va havoni ishchi bo'shliqqa berish va undan yonish mahsulotlarini chiqarib yuborish uchun navbatma-navbat xizmat qiladi. Vertikal kanallar bo'yicha bir tomondan navbatma-navbat kallaklarga regeneratordan havo beriladi, qarama-qarshi tomondan esa yonish mahsulotlari chiqib ketadi. Regeneratorlar havoni isitish uchun xizmat qiladi, vertikal kanallar bilan regeneratordan orasida joylashgan shlak idishlari — ishchi bo'shliqdan chiqib ketayotgan gazlar olib ketadigan shlak tomchilarini cho'ktirish uchun xizmat qiladi;



42- rasm. Marten pechi.

borovlar va gaz yo'llari sistemasi — regeneratorlardan yonish mahsulotlarini chiqarib yuborish va havo berish uchun xizmat qiladi.

Pechni past kaloriyalı aralash koks-domna gazi bilan isitishda havodan tashqari gaz ham isitiladi. Shuning uchun koks-domna gazida ishlaydigan pechlar har tomondan ikkita regenerator (havoni isitish uchun va gazni isitish uchun) hamda ikkita shlakovnik (havo va gaz) bilan jihozlanadi. Ishchi bo'shliq, kallaklar va vertikal kanallar pechning ustki qurilmalari deb, ish maydonchasi ostida joylashgan shlakovniklar va regeneratorlar esa pastki qurilma deb ataladi.

Marten pechlari kislotali (kislotali materiallar, masalan, dinas bilan futerovka qilingan) va asosli (asosli materiallar — magnezit va magnezit navarkasi bilan futerovka qilingan) pechlarga bo'linadi. Katta metallurgiyada asosli pechlar tarqalgan; kislotali pechlarda po'lat, asosan, mashinasozlik zavodlarida suyuqlantirib olinadi. Pech to'ldirish mashinasi yordamida yuklanadi. Mashina temir-tersakli yoki rudali mulda (quti)ni xartumi bilan oladi, old devorda qurilgan ish tuynugi orqali uni pechga kiritadi, to'ntaradi hamda bo'shatadi. Marten pechida metall 1600—1650 °C gacha qizdiriladi. Yoqilg'i alangasi tili issiqlik va oksidlash jarayonlari uchun foydalaniladigan kislorod manbayi bo'lib xizmat qiladi.

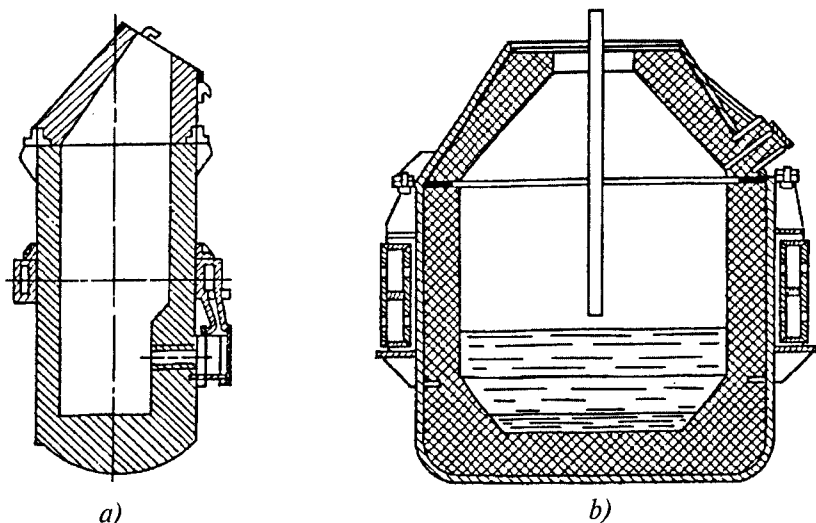
Konvertorlar

Boshqa po'lat suyuqlantirish jarayonlaridan farqli o'laroq, po'latni konvertorda suyuqlantirib olishda dastlabki material sifatida vagrankada suyuqlantirib olinadigan suyuq cho'yandan foydalaniladi. Bu dupleks-jarayondan cho'yan quyish va po'lat quyish korxonalari birlashtirilgan hollarda foydalaniladi.

Po'lat quymakorligida, odatda, havo yon tomondan beriladigan kichik bessemer konvertorlaridan (43- a rasm) foydalaniladi. Lekin fason po'lat quyishda foydalaniladigan suyuq po'lat olish uchun havo ust tomondan beriladigan kislorod konvertorlari (43- b rasm) ishlatiladi. Ular «katta» metallurgiyada tarqalgan, hozirgi vaqtda bu yerda konvertorlarni sezilarli darajada marten pechlari siqib chiqargan.

Konvertorning ishlash prinsipi shundan iboratki, havo kislorodi suyuq metall bilan kontaktlashib, Fe, Si, Mn, C larni va agar boshqa dastlabki metallda boshqa elementlar qatnashayotgan bo'lsa, ularni ham oksidlaydi. Natijada issiqlik ajralib chiqadi, metall temperaturasi ortadi 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 nisbatan nosimmetrik (43- b rasm). Og'zining qiyaligi 30° ga yaqin, bu hol suyuq metallni konvertor gorizontal holatda bo'lganda quyishga imkon beradi. Konvertor futerovkasi dinas g'ishtdan yasalgan, kislotali.



43- rasn. Konvertorlar.

Odatda, u uch qatlamli qilib ishlanadi: g'ildan 15–20 mm qalinlikda quruq qum to'kiladi, so'ngra shamot g'isht qatlami va dinas g'isht qatlami teriladi. Havo beriladigan teshiklar maxsus olovbardosh g'ishtdan bajariladi. Konvertor sapfalarda o'rnatiladi va burish mexanizmi yordamida vertikal tekislikda turli burchaklar ostida qiyalanishi mumkin.

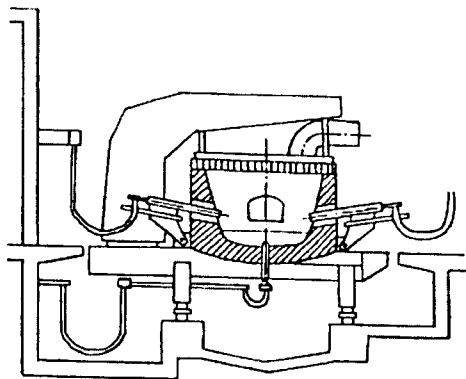
Konvertorga quyilgan suyuq cho'yan 0,02–0,04 MPa bosim ostida maxsus havo puflagichlar bilan 1 t metallga 720–800 m³ miqdorda dam beradigan havo bilan «produvka» qilinadi. Havo berish intensivligi 75–100 m³/min.

Cho'yan retortaga sig'imiga mos bo'lgan o'lchov mikseri vositasida quyiladi. Bu hol suyuqlantirib olishning konvertorga quyilgan cho'yanning ortiqqligi yoki kamligidan vujudga keladigan «nonormal» ish jarayoniga yo'l qo'ymaslikka imkon beradi. Konvertor vertikal o'qdan furmalarga qarama-qarshi tomonga 20–25° burchak ostidan o'rnatiladi. 1–2 minut «produvka» qilingandan so'ng, agar furmalarni shlaklanmaganligi aniq bo'lsa, retortaning qiyalanish burchagi 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 sexlarida po'latni suyuqlantirib olish uchun odatda 6 va 12 t quyim massasiga ega bo'lgan ДСП-6 hamda ДСП-12 pechlar ishlatiladi. Lekin yoy pechlarida suyuqlantirilganda ko'p tutun ajralib chiqadi va shovqin darajasi yuqori bo'ladi. Bu kamchiliklardan ishchi bo'shlig'ining

konstruksiyasi yoy pechlariga o'xshash, lekin gumbazda elektrodlar o'rniga plazmatronlar o'rnatilgan plazma pechlari (41- d rasmga q.) mustasnodir. Agar plazmatronlar bir nechta bo'lsa, ular pechning yon devorlarida o'rnatiladi (44- rasm).



44- rasm. Plazma pechi.

Plazma pechlari sanoatda 70- yillarda paydo bo'ldi. 1000 A dan yuqori tokka mo'ljallangan, kamida o'nlab soat ishlash resursiga ega

bo'lgan plazmatronlar ishlab chiqilgandan so'ng ularni yaratish mumkin bo'ldi. Pechlar bitta yoki bir nechta o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok plazmatronlari bilan jihozlangan, plazma yoyi esa plazmatron elektrodi bilan suyuqlantirilgan metall vannasi orasida yonadi. Pech o'zgarmas tok bilan ta'minlanganda vanna, odatda, anod hisoblanadi, uch fazali tok bilan ta'minlanganda esa vanna sxemaning nol nuqtasi bo'ladi. Kombinatsiyalangan tarzda qizdiradigan — plazma-induksion pechlar va yoqilg'i-plazma gorelkali pechlar ham mavjud. Plazma pechlarining barcha tiplari pech bo'shlig'ini yaxshi germetizatsiyalashga va binobarin, kontrol qilinadigan atmosferada suyuqlantirib olishga imkon beradi. Bundan tashqari, bu pechlarda keng bosim diapazoni yaratiladi: 10^{-1} —1 Pa dan $(1-3) \cdot 10^5$ Pa gacha.

Plazma pechlaridan yuqori legirlangan po'latlar va issiqqa chidamli qotishmalar suyuqlantirish uchun foydalaniladi. Bu pechlarning asosiy konstruktiv elementi plazmatron — elektr energiyadan foydalanib plazma oqimini olish uchun mo'ljallangan qurilma hisoblanadi. Konstruksiyasining xilma-xil bo'lishiga qaramasdan, yoy plazmatronlarini uch tipga bo'lish mumkin [4]. Ulardan birinchisida a yoy plazmatron ichida uning konstruksiyasining elementi hisoblangan elektrodlar orasida yonadi. Bu plazmatronlar *oqimli plazmatron* deb ataladi. Metallurgiyada ulardan oksidlardan metallarni qaytarish uchun keng foydalaniladi, lekin kombinatsiyalangan energiya manbayili (elektr va yoqilg'i energiyasi) yoqilg'i-plazma gorelkali (oqim plazmatronlarining turi) yaratish bo'yicha ishlar olib borilishiga qaramasdan suyuqlantirib olishda hali sanoatda tarqalmagan.

Ikkinchi tipga suyuqlantiruvchi plazmatronlar taalluqlidir, ularda yoyning tayanch dog'laridan biri suyuqlantiriladigan metallga chiqarilgan. Bu holda anod dog'ida ajralib chiqadigan issiqlik, shuningdek, yoy ustunining nurlanish energiyasi foydali hisoblanadi. Plazma pechlari, odatda, plazmatronlarning shu tipi bilan jihozlanadi.

Rossiyada ishlab chiqilgan pechlar tipining majmuyi 18- jadvalda keltirilgan.

18- jadval

Plazma pechlari tiplarining majmuyi

Xarakteristikasi	O'lchov birligi	Pech tipi		
		P6	P10	P30
Sig'imi	t	6	15	30
Quvvati	kW	6600	9900	19800
Kuchlanish	V	660	550	660
Argon sarfi	m ³ /soat	20	24	60
Suv sarfi:				
kimyoviy usulda tozalangan	m ³ /soat	25	30	60
texnik usulda tozalangan	m ³ /soat	50	60	100
Unumdorligi	t/soat	4	9	20

Bu pechlarning odatdagi po'lat suyuqlantiriladigan yoy pechlari-ga nisbatan afzalliklaridan biri — grafit elektrodlarining bo'lmasligi, bu esa metall uglerodlanishining to'la oldini oladi va kam uglerodli po'lat suyuqlantiriladi. Bundan tashqari, bu pechlar pech bo'shlig'ini germetizatsiyalashga yordam beradi. Grafit elektrodlar uchun pechga kiritish germetik qurilmasini hozircha yaratish imkoni bo'lmaganligi sababli, ulardan farqli o'laroq, plazmatronlarning suv bilan sovitiladigan metall korpuslarini zichlash katta qiyinchiliklar tug'dirmaydi. Bu narsa pech bo'shlig'ida suyuqlantirish jarayonida berilgan istalgan atmosferani (neytral, oksidlovchi yoki qaytaruvchi) saqlab turishga 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 uch guruhga bo'linadi: aluminiiy, magniiy va rux qotishmalari; mis va nikel qotishmalari; titan va qiyin eriydigan metallar asosida tayyorlangan qotishmalar.

Aluminiiy, magniiy va rux qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun yoqilg'i va elektr pechlarida monojarayonlar ham, shuningdek, polijarayonlar ham qo'llaniladi (45- rasm). Polijarayonlardan quymalarni

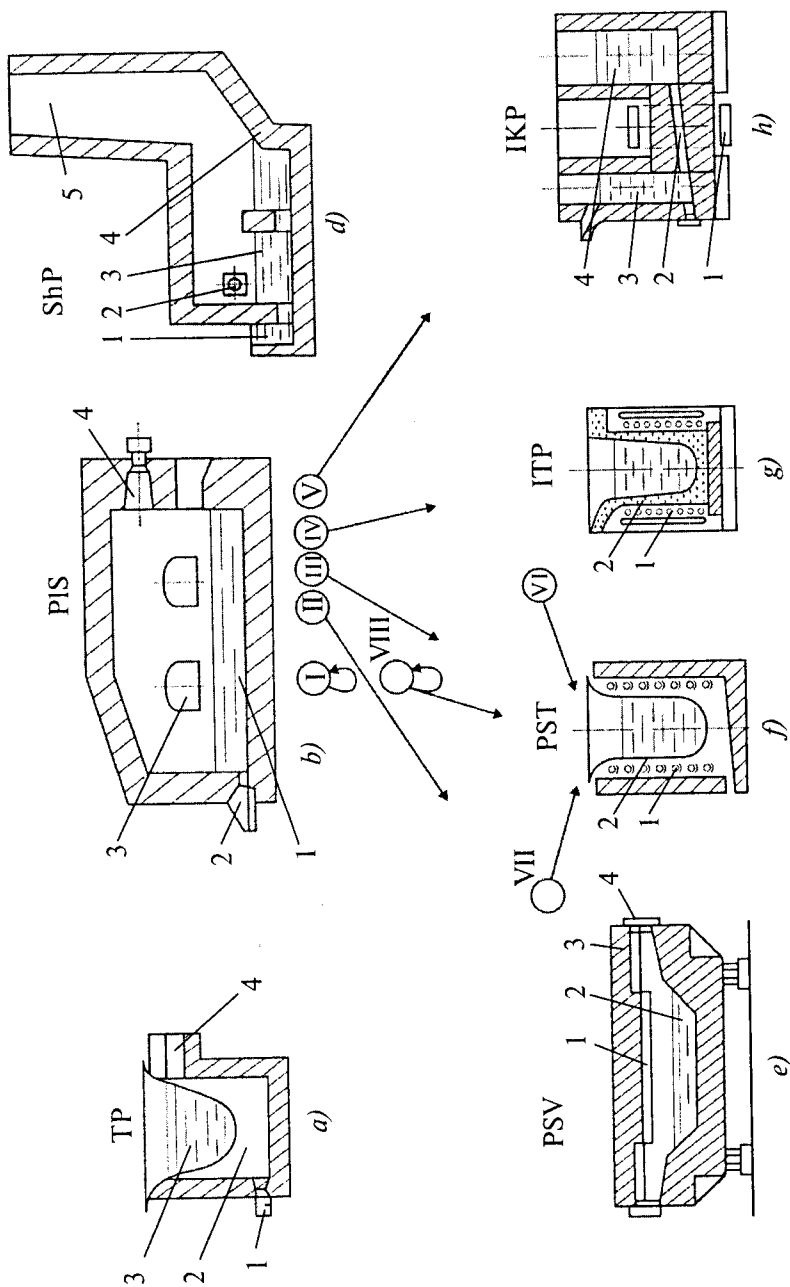
yirik seriyalab va ko'plab ishlab chiqarishda foydalaniladi. Bunday holda suyuqlantirish jarayoni yoqilg'i pechlarida (odatda, bu statsionar alanga pechi – PIS), me'yoriga yetkazish va aralashmalardan tozalash operatsiyalari esa tarqatish pechlarida (odatda, ular tigelli qarshilik pechlari – PST) bajariladi. Bunda dupleks-jarayondan tashqari tripleks-jarayon ham (45- rasm, VIII) mumkin. Tripleks-jarayonda suyuqlantirish operatsiyasi PIS da bajariladi, so'ngra kutish pechiga quyiladi (bu ham PIS) va bundan keyin tarqatish pechlariga quyiladi. Ishlab chiqarish hajmi katta bo'lmaganda kontaktsiz suyuqlantirish metodlari afzal bo'ladi: dupleks ITP-PST, IKP va boshqalar. Buning ustiga hatto yoqilg'i jarayonlari ham kontaktsiz metodda (45- a rasm, TP) realizatsiya qilinadi. Magniy qotishmalari uchun kontaktsiz suyuqlantirish qo'llash zarur, chunki magniy juda aktiv metall, oson oksidlanadi va havo bilan kontaktlashishni cheklashga oid choralarni hatto quyish vaqtida ham nazarda tutishga to'g'ri keladi.

Rangli qotishmalar suyuqlantirish uchun so'nggi vaqtgacha faqat davriy jarayonlar (2- rasmga q.) qo'llanilar edi. Lekin energetik jihatdan uzluksiz jarayonni amalga oshirish foydali bo'lganligi uchun rangli qotishmalarni suyuqlantirib olishda shaxta-alanga pechlaridan (45- rasm, ShP) foydalana boshladilar.

Mis va nikel qotishmalarni suyuqlantirib olishda, asosan, mono-jarayonlar qo'llaniladi. PIS va PIV yoqilg'i pechlari o'zining konstruksiyasi jihatidan aluminiy qotishmalarni suyuqlantirib olishda foydalaniladigan yoqilg'i pechlaridan tafovutlanadi (45- rasm, PIS), chunki mis qotishmalari uchun ancha yuqori temperatura talab etiladi. Bronzani suyuqlantirish uchun yoy pechlarini va ba'zi nikel qotishmalari uchun uch fazali po'lat suyuqlantirish pechlarining ishlatilishi shuning o'zi bilan tushuntiriladi (41- rasm q.). Tarkibida oson oksidlanadigan elementlar bor nikel qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun induksion vakuum pechlaridan foydalaniladi. Jezlarni suyuqlantirish uchun induksion suyuqlantirish metodlari (46- d va e rasm, ITP, IKP) keng qo'llaniladi. Titan qotishmalari va qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish uchun faqat qayta suyuqlantirish jarayonlari: vakuum-yoy, elektron-nur va plazma-yoy qayta suyuqlantirish jarayonlari qo'llaniladi (47- rasm).

Pechlarning texnologik sxemalari

Tigelli yoqilg'i pechi (45- a rasm) metall uchun grafit, po'lat yoki cho'yan 3 tigelga ega. Bo'shliq 2 da 1 gorelkalar yordamida gaz yoki mazut yoqiladi, yonish mahsulotlari 4 tutun yo'liga ketadi. Shixta materiallari tigelga yuklanadi, suyuqlantiriladi, so'ngra qotishma talab etilgan konditsiyagacha yetkaziladi.



45- rasm. Suyuqlantirish jarayonlarining klassifikatsiyasi va aluminii, magniiy va rux qotishmalarini suyuqlantirish pechlarining texnologik sxemalari.

Alanga pechining (45- b rasm) tigelli pechdan farqi shundan iboratki, 1 vannadagi suyuqlanma pech atmosferasi bilan kontaktlanadi. Bu pechlar 3 tuynuk orqali yuklanadi, gaz 4 gorelkalar yordamida yoqiladi, suyuq metallni chiqarib yuborish uchun 2 lyotka bor.

Shaxta-alanga pechi (45- d rasm) shixta suyuqlantiriladigan 4 taglikli 5 shaxtaga va metall to'planadigan 3 vannaga ega. Vanna ustida 2 gorelka joylashgan. Metallni tarqatish uchun 1 kamera xizmat qiladi. Bu pechlar aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun ishlatiladi.

Mis qotishmalarini suyuqlantirish uchun mo'ljallangan *statsionar yoqilg'i pechlari* (46- a rasm) 1 vanna ustida joylashgan gorelkalar yoki 2 forsunkalar vositasida isitiladi. Shixta materiallari 3 tuynuk orqali yuklanadi, tutun gazlari 4 gaz yo'liga ketadi. Bu pechlarning sig'imi odatda katta bo'ladi va ishlab chiqarishning tegishli hajmlarida ishlatiladi.

Ishlab chiqarish hajmi katta bo'lmaganda *grafit tigelli yoqilg'i pechlaridan* yoki *baraban tipidagi burilma pechlardan* (46- b rasm) foydalaniladi. Bu pechda suyuq yoqilg'i 2 forkamerada 1 forsunka yordamida yoqiladi; gazlar 3 kanaldan 5 ishchi bo'shlig'iga keladi; yuklash 4 og'iz orqali amalga oshiriladi.

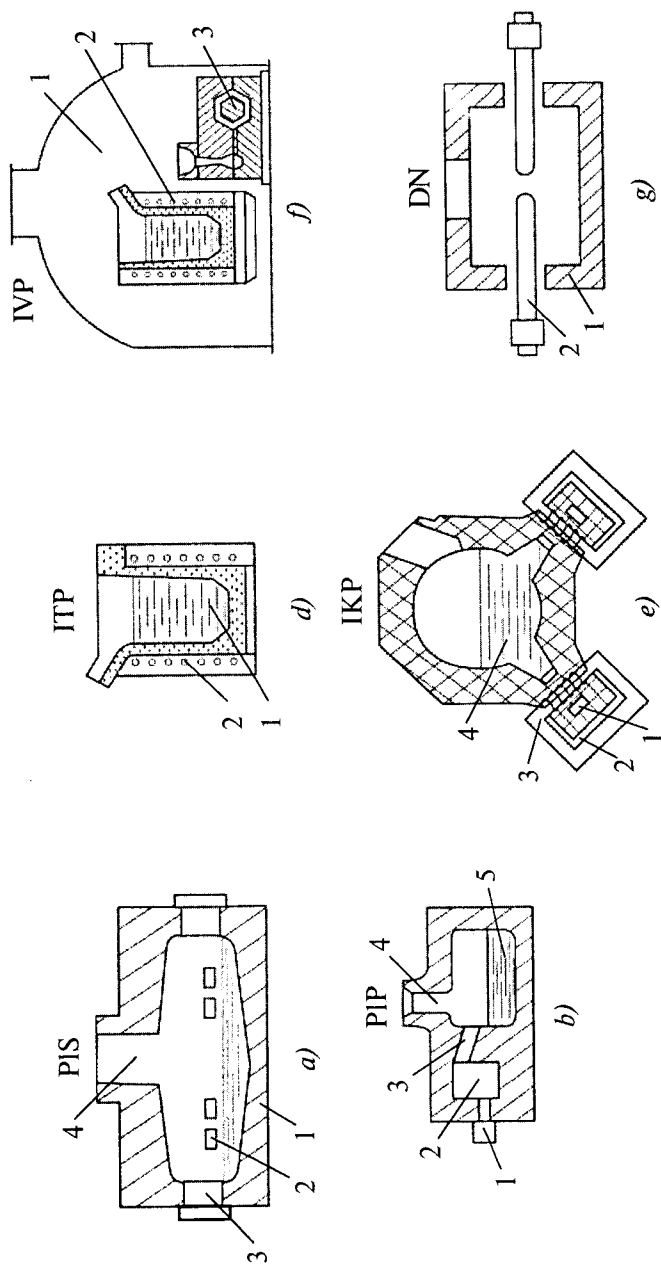
Mis qotishmalarni suyuqlantirish uchun shaxta-alanga pechlari (45- d rasm) ularning issiqlik FIK deyarli yuqori bo'lishiga qaramasdan, hozircha kamdan kam ishlatiladi. Elektr pechlari (46- d, e, f, g rasm) mis qotishmalarini ham, nikel qotishmalarini ham suyuqlantirib olish uchun ishlatiladi.

Tigelli qarshilik elektr pechlari (45- f rasm) uncha katta bo'lmagan quyish sexlarida suyuqlantirib olishda, shuningdek, tarqatish pechlari sifatida juda keng ko'lamda tarqalgan. Tigel 2 da qotishma tayyorlanadi, 1 spiral yordamida qizdiriladi.

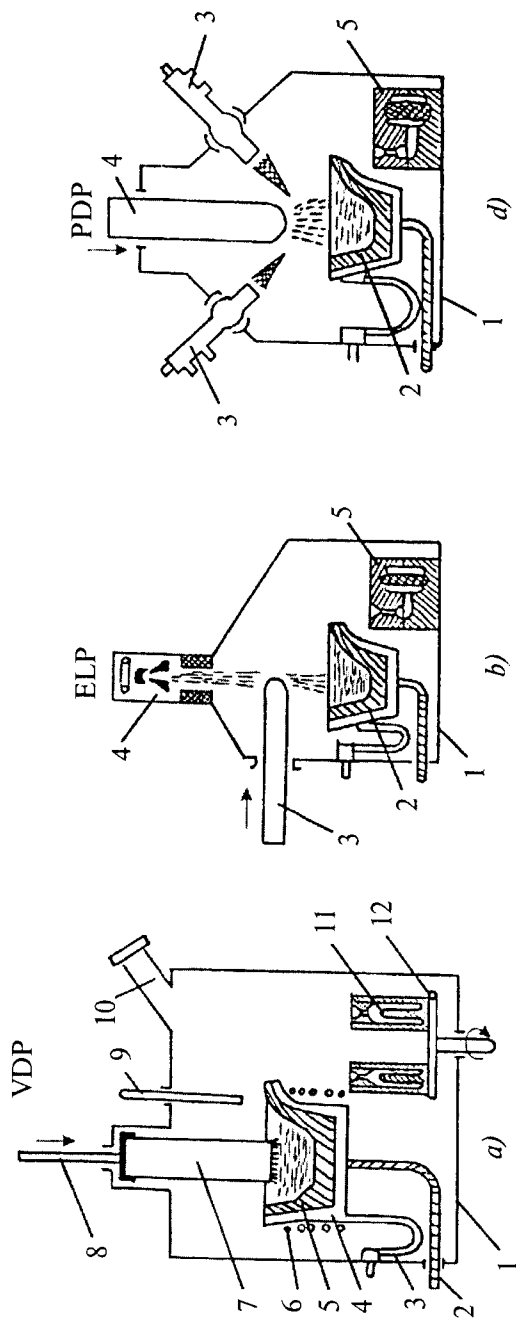
Vannali qarshilik pechi deb ataladigan pechda (45- e rasm) 2 vanna 3 gumbaz yonida joylashgan 1 qizdirish elementlari vositasida qizdiriladi. Vanna 2 ga 4 tuynuk orqali shixta yuklanadi. Metall pechni qiyalatib to'kiladi.

Tigelli induksion pech odatdagidek tuzilgan (46- d rasm). Tigel 1 da metall joylashadi, 2 induktor tigelni qamrab olgan va metall massasida issiqlik energiyasini generatsiyalab uyurma toklarni hosil qiladi. Mis qotishmalarini suyuqlantirish uchun pechlarning ILT seriyasidan, nikel qotishmalarini suyuqlantirish uchun esa IST seriyasidan foydalaniladi.

Kanalli induksion pechlar tigel yoki baraban tipida, bitta yoki ikkita tigelli bo'lishi mumkin. 45- h rasmda ikkita tigelli pech ko'rsatilgan. O'zak 1 dagi induktor issiqlik ajralib chiqadigan 2 kanallarni qamrab olgan. Bu kanallar 3 va 4 tigellarni birlashtiradi. Metall 3 tigeldan 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'zak suyuq metalli 1 kanalni qamraydi. Suyuq metall ikkilamchi o'ram 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 elektroddan 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.

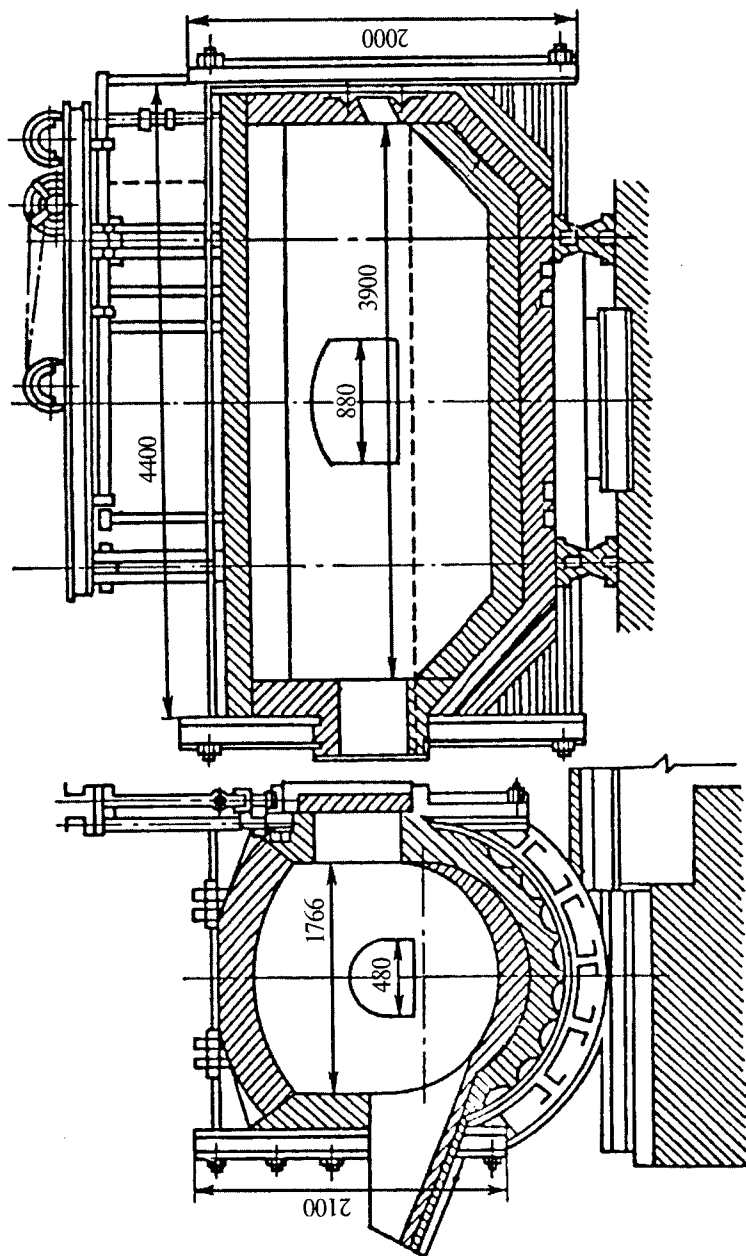
Yuqori darajada unumdorligi, sig'imining kattaligi va xizmat ko'rsatishining soddaligi tufayli qaytaruvchi alanga pechlari aluminiy qotishmalarini tayyorlash uchun asosiy suyuqlantiruvchi agregat hisoblanadi. Katta hajmlarda ishlab chiqarishda alanga pechlarining ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'lsa 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, vannaning 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'rniga 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 futerovkadan 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'prik kran bilan ust tomondan yuklanadi. Vanna kranda o'rnatilgan qorgich 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.

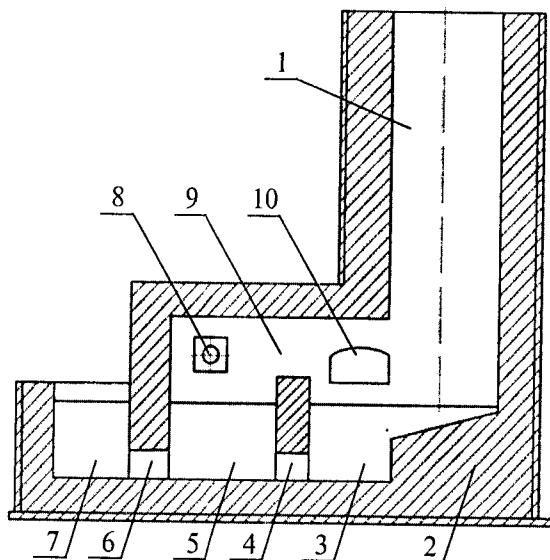


48- rasm. Mis qotishmalarini suyuqlantirishga mo'ljallangan burilma alanga pechi.

Beriladigan havoni rekuperatorda isitish hisobiga alanga pechining termik FIK ning jiddiy oshishiga erishish mumkin. Keramik rekupe-
ratorlar beriladigan havoning 200–250 °C gacha isishini ta'minlaydi,
bu esa 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
qilingan pech konstruksiyasi 49- rasmda ko'rsatilgan. Pech 1 shaxtaga
va 8 gaz gorelkalari o'rnatilgan 9 qaytarish qismiga ega. Qaytarish
qismi 4 to'siq bilan 3 va 5 kameralarga taqsimlangan. To'siqning pastki
qismida suyuq metallning o'tishi uchun teshik bor. Aluminium qotish-
malari pech tubi 2 da suyuqlantirib olinadi. Kamera 3 da birlamchi
shlak qoladi, u 10 tuynuk orqali chiqarib yuboriladi. Tayyor qotish-
mani quyishga berish uchun 5 asosiy kameradan 6 to'siq bilan ajra-
tilgan cho'ntak bor. To'siq 6 va 4 lardagi tuynuklar yuzasi shunday
nisbatda bo'ladiki, 5 kameradagi qotishma 2 tubdagi qattiq quyma-
larga issiqlik uzatib sovimaydi 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 birinchi pechlar 1918- yilda Beyli ishlab chiqqan pech bo'lgan. Pechlarning sig'imi 300 kg ni tashkil qiladi. Pechning yuqori qismida grafit yoki neft koksi donalari bilan to'ldirilgan korborund nov bo'lgan. Bu nov orqali tok o'tkazilar edi.

Hozirgi vaqtda metallni suyuqlantirib olish uchun qarshilik elektr pechlari kamdan kam qo'llanilishiga qaramasdan (chunki unumdorligi va mexanizatsiyalash darajasi zamonaviy talablarga javob bermaydi) ulardan mikserlar sifatida keng ko'lamda foydalaniladi. Bunda quyish jarayonida berilgan temperaturani saqlab turish uchun katta issiqlik quvvati talab etilmaydi. Mikserlar sifatida ishlatiladigan, sig'imi turlicha bo'lgan qarshilik elektr pechlarining tipik xarakteristikasini keltiramiz.

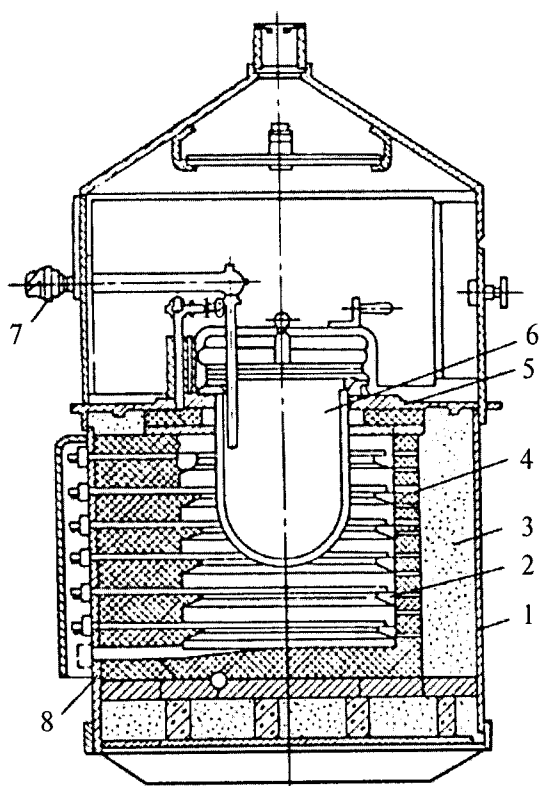
Pech sig'imi, t	Terilgan g'isht yuzasi, m ²	Pech quvvati, kW	Terilgan g'isht orqali yo'qotiladigan issiqlik, kW · soat
5	17,5	150	28,6
10	27,9	200	14,8
20	46,2	300	26,3
30	62,4	400	37,2
40	77,4	500	47,7
60	107,0	600	68,6

Taqsimlash pechlari sifatida tigelli qarshilik elektr pechlari keng tarqalgan. Ular ancha sodda tuzilgan (45- rasmga q). Ishlab chiqarish ko'lamini nisbatan katta bo'lmaganda aluminiy va magniy qotishmalarini suyuqlantirib olish uchun bu pechlar qulay bo'ladi. Ularning texnik xarakteristikalarini 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 kamerasining 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			
			0,25	0,5	0,15	0,25	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Pech sig'imi	t	2,5-3	0,25	0,5	0,15	0,25	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Suyuqlantirish vaqti	s	85	2,5-3	3,5-4	2,5-3	3,5-4	2,5-3	3,5-4	3-3,5	3,5-4	3,5-4	4-4,5
Ish unumdorligi	kg/s	85	85	125	55	85	125	150	225	350	500	650
Pechning issiqlik quvvati	kW	62	62	83	41	62	83	90	186	247	310	414
Solishtirma elektr energiya sarfi	kW · s/t	550	550	430	550	550	430	510	600	600	600	550
Maksimal temperatura:	°C	800	800	800	800	800	800	850	850	850	850	850
metallning qarshilik elementlarining	m	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tashqi o'lchamlari:		1,87	2,0	2,2	2,0	2,2	2,43	3,44	5,44	6,50	—	—
uzunligi		1,44	1,59	1,30	1,20	1,30	1,50	2,74	3,10	3,10	—	—
kengligi		2,38	2,62	2,09	2,09	2,05	2,34	2,80	3,16	3,16	—	—
umumiy balandligi									2,80	2,80	—	—
									1,0	0,15	0,25	0,25
									8,0	2-2,5	2,5-3	2,5-3
									125	50	75	75
									124	183	41	83
									—	720	650	600
									825	850	850	850
									1200	1200	1000	1000
									2,44	3,34	2,07	2,67
									2,74	2,74	1,78	2,26
									2,80	2,80	—	2,06



50- rasm. CAT tipidagi tigelli elektr pechi.

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun qo'llaniladigan yoy va induksion elektr pechlarning o'ziga xos konstruktiv xususiyatlari. Mis qotishmalarni suyuqlantirish uchun bilvosita yoyli, ya'ni elektrodlar orasida yonadigan yoyli baraban tipidagi pechlardan keng foydalaniladi (46- rasimga q.). Pechning futerovka qilingan barabandan iborat ishchi bo'shlig'i gorizontall o'q atrofida burila oladi. Barabanning ikkala tomonidan gorizontall o'q bo'ylab elektrodlar kiritiladi, ular orasida 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 cho'yan suyuqlantirishda qo'llaniladigan pechlardan birmuncha farq qiladi. Aluminium qotishmalarini tayyorlash uchun gorizontall kanalli induksion pechlardan foydalaniladi. Hozirgi kunda zavodlar ishlaydigan IAK-6 va BK-16 tipdagi kanalli induksion pechlarning texnik xarakteristikasini keltiramiz.

Pech xarakteristikasi	ИАК-6	БК-16
Pech sig'imi, t	9,0	16,0
Quyib olinadigan metall miqdori, t	6,0	12,7
Iste'mol qilinadigan quvvat, kW	750–1350	750–1350
Elektr energiya sarfi, kW · soat/t	400–450	400–430
Ish temperaturasi, °C	720–780	720–780
Unumdorligi, t/soat	2,0–2,5	3,0
Kanal kesimi, mm	60×120	60×120

Bunday tipdagi induksion pechlarda katta temperatura gradiyentida ishlaydigan va yetarli darajada murakkab shaklga ega bo'lgan pech tubi toshi eng og'ir sharoitda bo'ladi. Pech tubi toshini tiqib to'ldirish pechni montaj qilishda eng mas'uliyatli operatsiya hisoblanadi. To'ldiriladigan material sinchiklab tayyorlangan bo'lishi kerak, to'ldirish operatsiyasining o'zini esa tanaffus qilmasdan bajarish zarur.

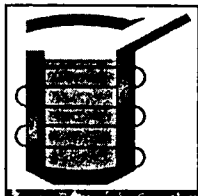
Kanallarni tozalashda mehnatning juda ko'p sarflanishi (bunda «botqoq»ni to'kish zarur bo'ladi), kanallar va induktorlarga yetish qiyinligi, solishtirma quvvat yuqori bo'lganda (10 kW/dm^3 dan yuqori) tub toshi turg'unligining past bo'lishi ikki kamerali induksion pechlarning qo'llanilishini cheklab qo'ydi. Ularni almashtiriladigan qismli induksion pechlar bilan almashtira boshladilar.

Rangli qotishmalarni suyuqlantirib olish uchun olib qo'yiladigan birliklardan bajarilgan kanallari bor kanalli pechlar ham ishlatiladi. Ularning konstruksiyasi 38 va 39- rasmlarda keltirilgan konstruksiyalarga o'xshash.

Tigelli induksion pechlar aluminiy qotishmalarni suyuqlantirishda keng qo'llanila boshlandi. Past navli chiqindilarni qayta suyuqlantirish uchun bunday pechlardan foydalanish juda maqsadga muvofiq bo'ladi. Buni quyidagilar bilan tushuntirish mumkin: induksion pechlarda suyuqlantirishda qaytmas yo'qotishlarning juda kam bo'lishi ta'minlanadi, tigelli pechlarda esa kanallarning shlak va fluslar bilan qoplanish xavfi bo'lmaydi. Shuning uchun tigelli induksion pechlarda cos ϕ ancha past bo'lishi va ancha qimmat hamda murakkab elektr uskunalar talab qilishiga qaramasdan, ularning past navli chiqindilarni qayta suyuqlantirish uchun ishlatilishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu pechlarda past navli shixtada qotishmalar tayyorlanishi (keyinchalik tozalash bilan) fason quymakorlikda quymalar sifatining yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Tigelli induksion pechlarning klassifikatsiyasi va texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari 20- jadvalda keltirilgan.

**Aluminiyni suyuqlantirishda ishlatiladigan sanoat
chastotali tigelli induksion pechlarning xarakteristikalari**

Firma	Pech tipi	Sig'imi, t	Quvvati, kW	700 °C da unumdor- ligi, t/soat	Elektr energiyaning solishtirma sarfi, kW · soat/t
ВНИИЭТО (Rossiya)	ИАТ-0,4	0,4	125	0,28	600
	ИАТ-1,6	1,6	300	0,5	600
	ИАТ-2,5	2,5	700	1,25	564
	ИАТ-6	6	1100	2,0	543
	ИАТ-16	16	2500	4,7	532
	ИАТ-25	25	3500	6,5	530
Braun Boveri (FRG)	—	0,3	110	0,185	585
	—	0,6	160	0,28	570
	—	1,2	260	0,475	550
	—	2,1	480	0,9	540
	—	3,0	700	1,25	540
	—	4,5	1000	1,8	540
	—	0,5	100	0,19	570



QUYMA QOTISHMALARNI SUYUQLANTIRISH

5.1. Shixta materiallari

Metall shixta materiallari

Klassifikatsiyasi va umumiy xarakteristikasi. Metall shixta uchun asos sifatida *birlamchi* va *ikkilamchi* qora va rangli metallar hamda ligaturalardan foydalaniladi. Birlamchi — metallurgiya sanoatining ruda materiallaridan olinadigan va quyma ko'rinishida yetkazib beriladigan mahsulotidir. Ikkilamchi — temir-tersak va metall hamda qotishma chiqindilari, shuningdek, temir-tersak va chiqindilardan suyuqlantirib olingan rangli metallarning qotishmalaridan iborat. Temir-tersak ko'rinishidagi ikkilamchi qora metallardan po'lat va cho'yanni suyuqlantirishda keng foydalaniladi. Ikkilamchi rangli metallar qotishmalarni quyma ko'rinishida chiqaradigan «Vtorsvetmet»ning ixtisoslashtirilgan korxonalarida qayta suyuqlantiriladi, lekin ba'zan mashinasozlik korxonalarida temir-tersak va chiqindilardan bevosita foydalaniladi. Chiqindilar ular hosil bo'ladigan korxonalarda bevosita ishlatilganda iqtisodiy samaradorlik yuqori bo'ladi, lekin buning uchun korxona zaruriy shixta tayyorlash va metallurgiya bo'limlariga ega bo'lishi kerak.

Tayyor qotishmalar ko'rinishida aluminiiy quymalari, bosim ostida quyish uchun magniiy va rux qotishmalari, antifriksion rux qotishmalari, shuningdek, badiiy quymalar uchun bronza, qalayli va qalaysiz quyma bronzalar va qalayli quyma jezlar yetkazib beriladi [7, 35].

Cho'yan quymalari quyiladigan, qayta ishlanadigan va tabiatan legirlangan cho'yanlarga bo'linadi. Quyiladigan cho'yanlar (ГОСТ 4832–80)ning odatdagi (Л) va magniiy bilan tozalangan (ЛП) turlari chiqariladi. Bundan tashqari, quyiladigan cho'yanlar tarkibidagi kremniyga qarab Л1 (Si 3,2–3,6%) ... Л6 (Si 1,2–1,6%) markalarga, tarkibidagi Mn ning miqdoriga qarab I (0,3% gacha) ... IV (0,9 dan 1,5% gacha) gruppalariga va А (0,08% gacha), Б (0,12% gacha), В (0,3% gacha), Г (0,7% gacha), Д (0,12% gacha) klasslarga va tarkibidagi S miqdoriga qarab 1 (0,05%) ... 5 (0,05% gacha) kategoriyalarga bo'linadi.

Qayta ishlanadigan (ГОСТ 805–80) cho'yanning 10 ta markasi chiqariladi: П1 va П2 — qayta ishlab po'lat olish uchun; ПЛ1 (Si 0,8–1,2%) va ПЛ2 (Si 0,5–0,8%) — quymakorlik uchun, ПФ1, ПФ2.

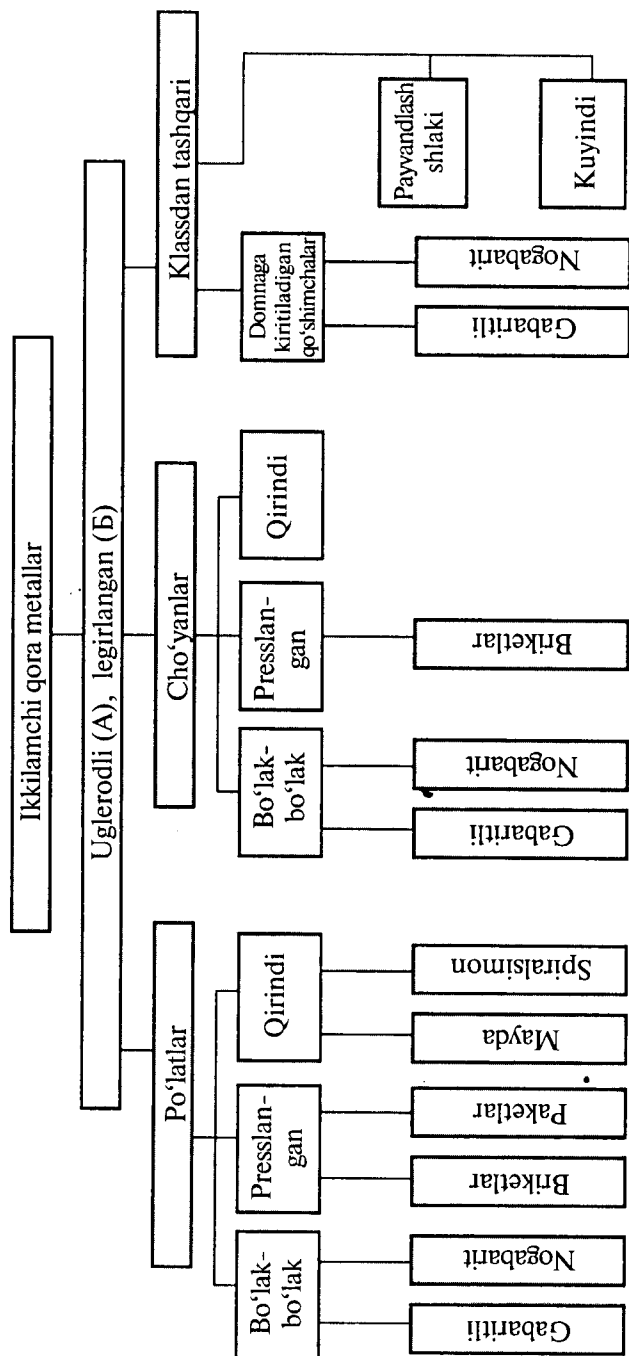
ПФЗ — fosforli, ПБК1, ПБК2, ПБК3 — yuqori sifatli. Marka xuddi quyma cho'yanniki kabi tarkibidagi Si miqdori bilan aniqlanadi, lekin Si qayta ishlanadigan cho'yanlarda ancha kam bo'ladi. Bundan tashqari, qayta ishlanadigan cho'yanlar Mn bo'yicha gruppalariga, P bo'yicha klasslarga va S bo'yicha kategoriyalarga bo'linadi.

Tabiatan legirlangan cho'yanlar uch turga bo'linadi: xrom-nikelli (ТУ 14-15-84-79), titanli va titan-misli (ТУ 14-15-4-74). Xrom-nikelli cho'yanning 10 ta markasi chiqariladi: ЛХН1 (Ni + Co 0,2%; Cr 0,4–1,2%) 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. Ular shixtaga qo'shilsa, kam legirlangan konstruksion cho'yanlarni suyuqlantirib olish uchun imkon tug'iladi.

Ikkilamchi qora metallar (ГОСТ 2787-75). Ular jumlasiga cho'yan va po'latning temir-tersagi, po'lat va cho'yan qirindisi, metall qirq-masi, shtampovka qilingan detal va shunga o'xshashlar kiradi. Ikki-lamchi qora metallar klassifikatsiyasi 51- rasmda tasvirlangan. Ular 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, nogabarit va h.k. Domnaga kiritiladigan qo'shimcha, metall zaki (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 gruppasi bitta yoki bir nechta legirlovchi elementlari bo'lgan temir qotishmalarni 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 ΦM_H 2,0 dan tashqari) bo'ladi. Kam uglerodli ferromarganes markasining raqamli belgisida tarkibidagi uglerodning o'rtacha miqdori ko'rsatiladi (masalan, ΦM_H 1,5 tarkibida 1,5% C bo'ladi). ko'p uglerodlida esa marganesning o'rtacha miqdori (masalan, ΦM_H 75 tarkibida 75% Mn bo'ladi) ko'rsatilgan. Ferromarganes markasida A harfi tarkibdagi fosfor miqdorining kamligini (masalan, ΦM_H 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, ΦM_H 75AC6 tarkibida 6% kremniy bo'ladi).



51 - rasm. Ikkilamchi qora metallar klassifikatsiyasi.

Ferroxrom (ГОСТ 4757-89E) kam uglerodli (0,01–0,5% C), oʻrtacha uglerodli (1–4% C), koʻp uglerodli (6,5–8% C) va markasiga N harf belgisi kiritilgan azotlangan (1–6% N) ferroxromga boʻlinadi. Ferroxromning barcha markalarida xrom miqdori 60–68% boʻladi. Kam uglerodli, oʻrtacha uglerodli va koʻp uglerodli ferroxromning markalaridagi raqamli belgi tarkibdagi C miqdorini koʻrsatadi (masalan, $\Phi X006A$ tarkibida 0,06% C bor). Azotlangan ferroxrom markasidagi raqamli belgi tarkibdagi azot miqdorini koʻrsatadi (masalan, $\Phi XH 200A$ tarkibida 2% azot bor). Ferroxrom tarkibidagi Si miqdori 0,8–2,0% atrofida boʻladi. Markadagi C harfi tarkibdagi Si miqdorining koʻpligini (masalan, $\Phi X800CA$ tarkibida 5,0–10,0% Si bor), A va B harflari tarkibdagi P miqdorining kam yoki koʻp boʻlishini koʻrsatadi (A harfi boʻlsa, tarkibdagi P miqdori 0,02–0,03%; B harfi boʻlsa, P miqdori 0,03–0,05% atrofida boʻladi).

Ferrosilitsiyning (ГОСТ 1415-78) 11 ta markasi chiqariladi. Ferrosilitsiy markasidagi raqamli belgi tarkibdagi silitsiyning oʻrtacha miqdorini koʻrsatadi (masalan, $\Phi C45$ tarkibida 41–47% Si boʻladi).

Ferrotitan (ГОСТ 4761-80)ning 5 ta markasi chiqariladi. $Ti0$, $Ti1$, $Ti2$ markali ferrotitan tarkibida 25–35% Ti, TiB , $TiB1$ markalar tarkibida esa 60% dan ziyod Ti boʻladi.

Ferrovolfraamning (ГОСТ 17293-82) 6 ta markasi chiqariladi. Ular tarkibidagi volfram miqdori 65% ($\Phi B65$) dan 80% ($\Phi B80a$) gachani tashkil qiladi. Markadagi a harfi tarkibda aluminiiy borligini koʻrsatadi.

Ferrobora (ГОСТ 4848-69) ning 4 ta markasi chiqariladi. Ular tarkibidagi bor miqdori 6% ($\Phi B3$ markali) dan 20% gacha va undan yuqori ($\Phi B0$ markali) boʻladi. Turli markadagi ferrobora tarkibidagi kremniy miqdori 2 dan 15% gachani, aluminiiy miqdori esa 3 dan 15% gachani tashkil qiladi.

Ferrosilikoxromning (ГОСТ 11861-77) 6 ta markasi chiqariladi. Ularning turli markalaridagi xrom miqdori 28% ($\Phi CX 48$ markali) dan 55% gacha va undan yuqori ($\Phi CX13$) boʻladi. Ferrosilikoxrom markasidagi raqam belgisi uning tarkibidagi kremniyning oʻrtacha miqdorini koʻrsatadi (masalan, $\Phi XC 33$ tarkibida 30–37% kremniy boʻladi).

Ferromolibdenning (ГОСТ 4759-79) tarkibida 55–58% Mo boʻlgan uchta markasi ($\Phi M1$, $\Phi M2$, $\Phi M3$) chiqariladi.

Ferroqotishmalardan shixtani korrektirovka qilish, choʻyan va poʻlatni legirlash va modifikatsiyalash uchun foydalaniladi.

Birlamchi rangli metallar. Bu shixta materiallari ГОСТ va ТУ ga muvofiq quymalar, yombilar va granullar koʻrinishida yetkazib beriladi. Ular tozalik darajasiga qarab markalanadi. Quyma koʻrinishidagi juda toza birlamchi (ГОСТ 11069-74) aluminiiy A999 (99,95% Al) kabi, texnik toza aluminiiy A85 va h.k. A0 gacha (99% Al) marka bilan belgilanadi. Birlamchi suyuqlantirib olingan quymalar koʻrinishida

silumin (ГОСТ 1571–76) ham yetkazib beriladi. Uning tarkibida 10–13% kremniy bo‘ladi. Harflardan keyingi raqamlar aralashmalardan tozalanish darajasini belgilaydi. Eng tozasi – СИЛ-00. СИЛ-2 tarkibida Fe – 0,7%; Mn – 0,5%; Ca – 0,2%; Cu – 0,3%; Zn – 0,08% bo‘ladi.

Quymalar ko‘rinishidagi birlamchi magniy (ГОСТ 804-72) ham tozalik darajasiga qarab markalanadi – Mr 96 (99,96% Mg) dan Mr 90 (99,9% Mg) gacha.

Mis (ГОСТ 859-78) tayyorlash usuliga qarab markalanadi: kislorodsiz toza mis M0 O6 (99,99% Cu) kabi, kisloroddan tozalangan mis M1p (99,9% Cu), olovda tozalangan mis M2 (99,7% Cu) va M3 (99,5% Cu) kabi belgilanadi.

Boshqa barcha birlamchi rangli metallar ham shunga o‘xshash markalanadi. Rux (ГОСТ 3640–79): ИВ00 (99,99% Zn), ИВ0, ИВ1, ИВ, ИОА, И0, И1, И2, И3 (97,5% Zn). Qalay (ГОСТ 860–75) ОБЧ-000 (99,999% Sn) dan ОЧ (96,43% Sn) gacha. Qo‘rg‘oshin (ГОСТ 3778–77): С000 (99,999% Pb) dan С3 (99,9% Pb) gacha. Nikel (ГОСТ 849–70): Н0 (99,99% Ni) dan НЧ (97,6% Ni) gacha. Xrom (ГОСТ 5905–79): Х00 (99% Cr): Х0, Х2, Х3 (97% Cr) va h.k.

Quyma ko‘rinishidagi rangli qotishmalar. Quyma holatdagi alyuminiy qotishmalarining (ГОСТ 295–79Е) 19 ta markasi chiqariladi. A dan keyingi harflar legirlovchi elementlarni (K – kremniy, M – mis, N – nikel va h.k.), bu harflardan keyingi raqamlar bu elementlarning o‘rtacha miqdorini ifodalaydi. Masalan, AK9 tarkibida 9% Si; AK2IM2, 5H2,5 tarkibida 21% Si, 2,5% Cu va 2,5% Ni bor.

Quyma holatdagi magniy qotishmalari (ГОСТ 2581–78) yuqoridagiga o‘xshash markalanadi: M dan keyin keladigan harflar legirlovchi elementlarni ifodalaydi (M – marganes, A – aluminiiy, И – rux, Иp – seriy, H – neodim va h.k.). Masalan, МА5И1 marka qotishma tarkibida 5% Al va 1% rux borligini ifodalaydi.

Antifriksion rux qotishmalari (ГОСТ 19424–74) qotishmalarning o‘zi kabi markalanadi, quyma ko‘rinishida yetkazib beriladigan antifriksion qotishmalar esa Ч (chushka) harfi qo‘shib markalanadi. Masalan, ИАМ9-1, 5Ч (Al – 9%, Cu – 1,5%).

Quyma ko‘rinishidagi qalayli (ГОСТ 614–73) va qalaysiz (ГОСТ 17328–78) bronza quyiladigan qotishmaning o‘ziga o‘xshash markalanadi: harflardan keyin tarkibidagi elementning o‘rtacha miqdorini ifodalaydigan raqamlar keladi (A – Al, Ж – Fe, Мц – Mn, O – Sn, И – Zn, С – Pb, H – Ni). Masalan, quyma ko‘rinishidagi qalayli bronza quyidagicha ifodalanadi: Бр. 03И8С4Н1 va h.k.

ГОСТ 1020–77 da quyma ko‘rinishida quyiladigan jezga jezning qaysi markasi uchun u yoki bu quyma markasi qo‘llanilishi aniq ko‘rsatiladi. Quyma ko‘rinishidagi jezlarning markasida harflar quyidagilarni ifodalaydi: S – Pb, O – Sn, K – Si, Мц – M, Ж – Fe, A – Al.

Rangli metallar hamda qotishmalarning temir-tersagi va chiqindilari (ГОСТ 1639--78). Rangli metallar va qotishmalarning chiqindilari (bo'lak-bo'lak temir-tersak, qirindi, kukunsimon chiqindilar, sim) u yoki bu metall asosidagi temir-tersak va chiqindilarga bo'linadi (52- ras'm). Fizik alomatlariga ko'ra temir-tersak va chiqindilar klasslarga bo'linadi. A — bo'lak-bo'lak temir-tersak, B — qirindi, sim va mayda 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 chiqindilar navlarga bo'linadi.

Shixta materiallarining fizikaviy xarakteristikalar. Quyiladigan qotishmalarni suyuqlantirib olishda faqat shixta komponentlarining kimyoviy tarkibi emas, balki ularning erish temperaturasi, 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 foydalani-ladi.

21- jad val

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_t , 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 aluminium va aluminium qotishmalari	2500—2700	590—665	0,014—0,025	1000—1500

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
Magniy 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 qo'rg'oshin	11340	327	0,0050—0,01	4500—5500
Quyma ko'rinishidagi qalay	7300	232	0,074—0,013	3500—4200
Mis va quyma ko'rinishidagi mis qotishmalari	7800—8950	900—1150	0,0074—0,013	5000
Mis va mis qotishmalarining temir-tersagi	7800—8950	900—1150	0,005—0,02	1500—3000
Mis 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 KJ1-1, KJ1-2 va KJ1-3 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

80 gacha va 40 dan 60 mm gacha) bo'linadi. Koksning mexanik mustahkamligi ko'rsatkichlari namunani diametri 1000 mm va uzunligi 1000 mm hamda 4 minut davomida $0,45 \text{ s}^{-1}$ chastota bilan aylanadigan maxsus barabanda sinab ko'rilgandan keyin kataklari 40 va 10 mm bo'lgan elakdagi namuna qoldiqlari bilan aniqlanadi.

22-jadval

**Quymakorlikda ishlatiladigan toshko'mir koksining
kimyoviy tarkibi, %**

Ko'rsatkichlari		Marka uchun normalar		
		КЛ-1	КЛ-2	КЛ-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%), CO_2 (qizdirganda bug‘lanib ketadi) va 10% ga yaqin boshqa aralashmalari (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5 , SO_2) bo‘lgan ohaktosh ishlatiladi.

Suyuqlantirishda ohaktoshdan tashqari quyidagi fluslardan foydalaniladi: bo‘r va marmar (tarkibi bo‘yicha ohaktoshga o‘xshaydi), ohak (CaO 88–93%), apatitonefelin ruda $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$ (tarkibida P miqdori ko‘p bo‘lgan cho‘yan olishda foydalaniladi), plavik shpat (tarkibida CaF kamida 75% bo‘ladi), asosiy suyuqlantirish jarayonida ishlatiladigan dolomit (30% CaO , 20% MgO , 45% CO_2).

Elektr shlak texnologiyasida tarkibida oksidlar va fluoridlar 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 fluorli 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:

$$\Delta_1 G = \Delta G_1^\circ - \Delta G_2^\circ, \quad (5.1)$$

$$\Delta_2 G = \Delta G_1^\circ - \Delta G_2^\circ, \quad (5.2)$$

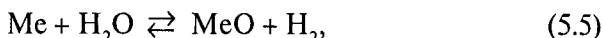
$$\Delta_3 G = \Delta G_1^\circ - \Delta G_1^\circ, \quad (5.3)$$

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

bo'lish ehtimoli haqida to'la tasavvur bermaydi, chunki komponentlarning aktivligi $\Delta G = f(T)$ chiziqlarning joylashishini jiddiy o'zgartirib yuboradi. Ikkita 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 uchinchi 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 atmosferada bajariladi va amalda barcha metallar uchun $\text{Me} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{MeO}$ reaksiyaning ΔG° si noldan kichik (12- rasmga q.).



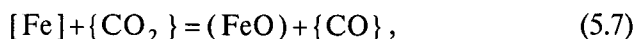
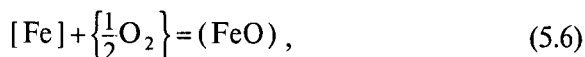
reaksiyalar bo'yicha oksidlanish ancha sust o'tadi. Masalan, Ni bu gazlar bilan oksidlanmaydi. Bundan tashqari, ΔG o'zgarishni a_{Me} , a_{MeO} , p_{CO_2} , $p_{\text{H}_2\text{O}}$ larni hisobga olgan holda suyuqlantirishning konkret shart-sharoitlariga tatbiqan ko'rib chiqish kerak. Masalan, turli 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}			Shlakt tarkibi, %					
	O_2	CO_2	CO	SiO_2	Al_2O_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
Induktsion pech	0,21	0,0003	—	70	5	8	7	2	8

Oksidlanish reaksiyalari:



$$\Delta G_{5.6} = \Delta G_{5.6}^{\circ} + RT (\ln a_{\text{FeO}} - \ln p_{\text{O}_2} - \ln a_{\text{Fe}}), \quad (5.8)$$

$$\Delta G_{5.7} = \Delta G_{5.7}^{\circ} + RT (\ln a_{\text{FeO}} + \ln p_{\text{CO}} - \ln p_{\text{CO}_2} - \ln a_{\text{Fe}}). \quad (5.9)$$

Bor bo'lgan ma'lumotlarga ko'ra ΔG° ni aniqlaymiz [14]. Shu maqsadda (5.7) reaksiyani ketma-ket sodir bo'ladigan jarayonlarning ayirmasi kabi tasvirlaymiz. Masalan, is gazi oksidlanganda hosil bo'ladigan uglerod ikki oksidining hosil bo'lish reaksiyasi



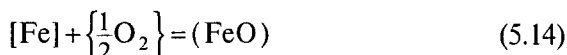
ni uglerod kislorod bilan oksidlanganda karbonat anhidrid va is gazlari hosil bo'lish reaksiyalarining ayirmasi sifatida ko'rib chiqish mumkin:



Binobarin,

$$\Delta G_{5.10}^{\circ} = \Delta G_{5.11}^{\circ} - \Delta G_{5.12}^{\circ}. \quad (5.13)$$

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

$$\Delta G_{5.7}^{\circ} = \Delta G_{5.14}^{\circ} - \Delta G_{5.10}^{\circ} = \Delta G_{5.14}^{\circ} - \Delta G_{5.11}^{\circ} + \Delta G_{5.12}^{\circ}. \quad (5.15)$$

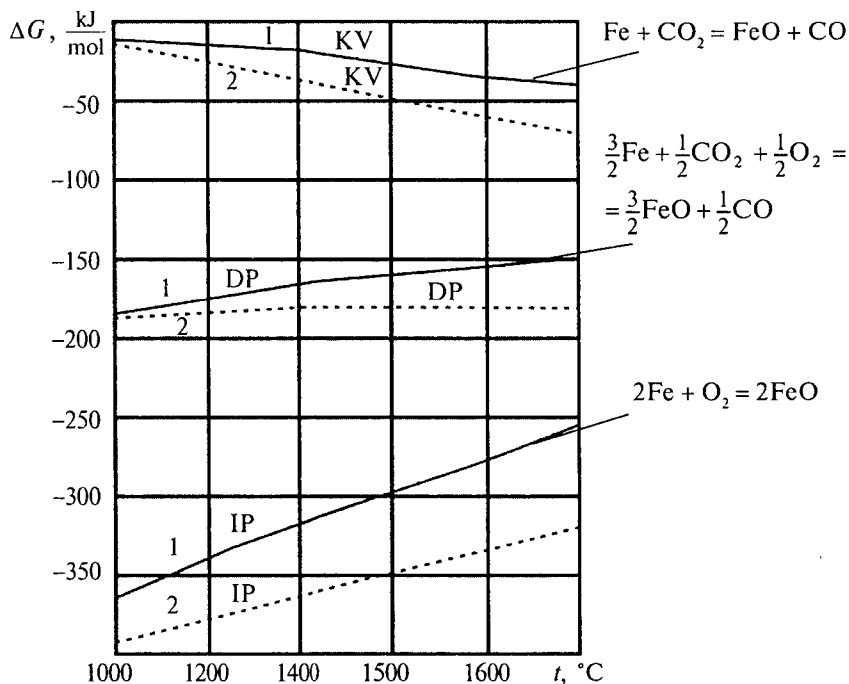
Hisoblash natijalari 53- rasmda keltirilgan. Rasmdan ko'rinishicha, eng oksidlovchi sharoitlar induksion pechda ochiq suyuqlantirishda yaratiladi.

Bitta reaksiyaning o'zini turli sharoitlarda miqdoriy baholash uchun energiya o'zgarishining to'rtinchi ayirmasi tushunchasini kiritish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$\Delta_4 G = \Delta G_{\text{I}} - \Delta G_{\text{II}}, \quad (5.16)$$

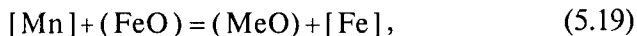
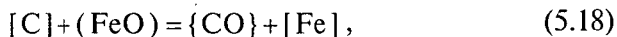
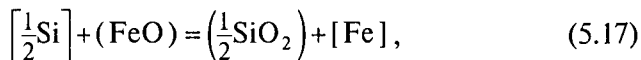
bu yerda: ΔG_{I} – I sharoitlarda Gibbs energiyasining o'zgarishi; ΔG_{II} – II sharoitlarda xuddi shuning o'zi.

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:

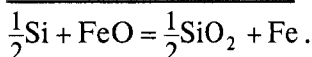


$$\Delta G_{5.17} = \Delta G_{5.17}^\circ + RT \left(\ln a_{\text{Fe}} + \frac{1}{2} \ln a_{\text{SiO}_2} - \ln a_{\text{FeO}} - \frac{1}{2} \ln a_{\text{Si}} \right), \quad (5.20)$$

$$\Delta G_{5.18} = \Delta G_{5.17}^\circ + RT (\ln a_{\text{Fe}} + \ln p_{\text{CO}} - \ln a_{\text{FeO}} - \ln a_{\text{C}}), \quad (5.21)$$

$$\Delta G_{5.19} = \Delta G_{5.19}^\circ + RT (\ln a_{\text{Fe}} + \ln a_{\text{MnO}} - \ln a_{\text{FeO}} - \ln a_{\text{Mn}}). \quad (5.22)$$

(5.17)–(5.19) reaksiyalarni cho‘yanda erigan komponentlarning va temirning sof kislorod bilan oksidlanish reaksiyalarining ayirmasi 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 ehtimolligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi; $a_{\text{FeO}} = 0,02$ bo'lganda $\Delta_3 G = 70$ kJ/mol bo'ladi. Cho'yanni suyuqlantirishda sodir bo'ladigan istalgan 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- rasmga q.) osongina 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.

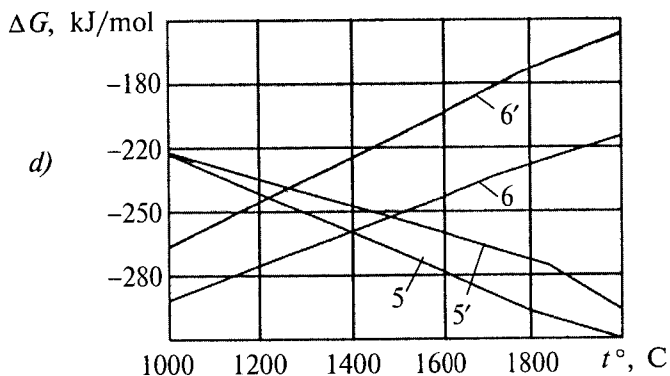
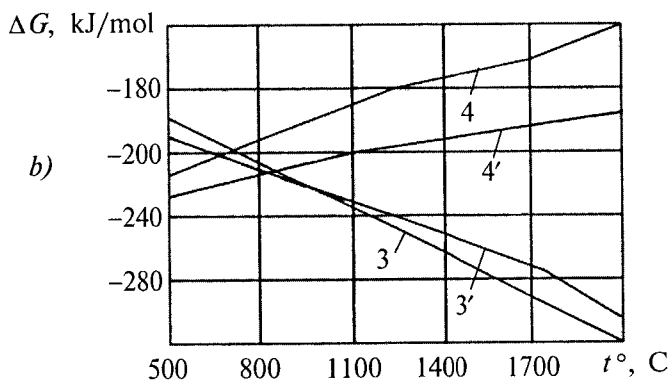
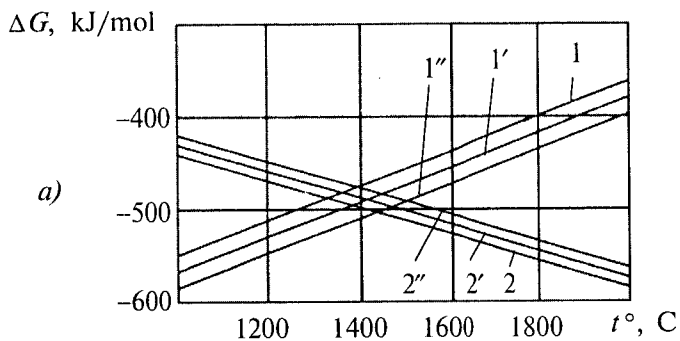
Agar oksid eritmada, masalan, shlakda bo'lsa, u holda uning aktivligini hisobga olish zarur.

Si ning geteregon uglerod bilan qaytarilishi 54- a rasmda ko'rsatilgan. Bu yerda $a_s = 1$, $p_{\text{CO}} = 0,1$ 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. $a_c = 1$ 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 $<\text{MeO}>$ (bunday qavslar bilan futorovkaga tegishlilik belgilanadi; dumaloq qavslar – shlak, kvadrat qavslar – metall) ishlanadigan pech futorovkasi 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 shlakda; 5 – $a_{\text{C}} = 1$; 5' – $p_{\text{CO}} = 1$; 6 – $a_{\text{MnO}} = 1$; 6' – $a_{\text{MnO}} = 1$ И-1 shlakda.

$$< \text{MeO} > + (\text{Me}_{\text{II}}\text{O}) = (\text{MeO} \cdot \text{Me}_{\text{II}}\text{O}), \quad (5.29)$$

$$< \text{MeO} > + [\text{Me}_{\text{II}}] = (\text{Me}_{\text{II}}\text{O}) + [\text{Me}], \quad (5.30)$$

$$< \text{MeO} > + [\text{C}] = [\text{Me}] + \{\text{CO}\}, \quad (5.31)$$

$$< \text{MeO} > \rightarrow [\text{MeO}], \quad (5.32)$$

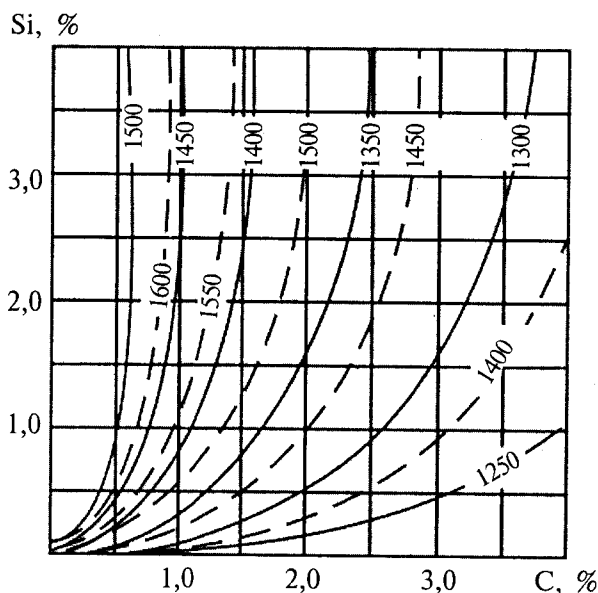
$$< \text{MeO} > \rightarrow (\text{MeO}). \quad (5.33)$$

(5.29) va (5.33) reaksiyalar futerovkaning shlak oksidlari bilan o'zaro ta'sirini tavsiflaydi. Bunda yoxud kimyoviy o'zaro ta'sir (5.29) sodir bo'ladi, yoxud oksid shlakda eriydi (5.33). Bunday o'zaro ta'sir vagrankalarda keng tarqalgan. Vagrankalarning futerovkasi «yonib tushadi», 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'ladigan 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:

$$< \text{SiO}_2 > + [\text{C}] = [\text{Si}] + \{\text{2CO}\}, \quad (5.34)$$

bu metall temperaturasiqarab, $[\text{Si}]$ va $[\text{C}]$ larning muvozanat diagrammalari bilan xarakterlanadi (55- rasm).



55- rasm. Tigel reaksiyasi diagrammasi (tutash chiziq – $p_{\text{CO}} = 0,03$ MPa, punktir chiziq – $p_{\text{CO}} = 0,15$ MPa).

Ushbu diagramma a_{SiO_2} , a_{S} , a_{Si} va p_{CO} larning (5.34) reaksiya-ning muvozanatiga ta'sirini hisobga olib yasaladi. Mazkur reaksiyaning muvozanatda bo'lish konstantasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$K_{\text{M}} = \frac{a_{\text{Si}} \cdot p_{\text{CO}}^2}{a_{\text{C}}^2 \cdot a_{\text{SiO}_2}}, \quad (5.35)$$

$$\lg K_{\text{M}} = -\frac{\Delta H^\circ}{19,155 T} + \frac{\Delta S^\circ}{19,155}. \quad (5.36)$$

Konstantaning har bir qiymatiga ma'lum muvozanat temperaturasi mos keladi:

$$T_{\text{M}} = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ - 19,55 (\lg a_{\text{Si}} + 2 \lg p_{\text{CO}} - 2 \lg a_{\text{C}} - \lg a_{\text{SiO}_2})}. \quad (5.37)$$

Tigel reaksiyasi ikkita rejimda o'tishi mumkin:

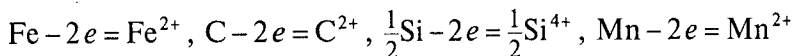
– CO ning mavjud gaz pufakchasida ajralib chiqishi

$$(p_{\text{CO}} = p_{\text{CO pars}} \approx 0,03 \text{ MPa});$$

– 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).

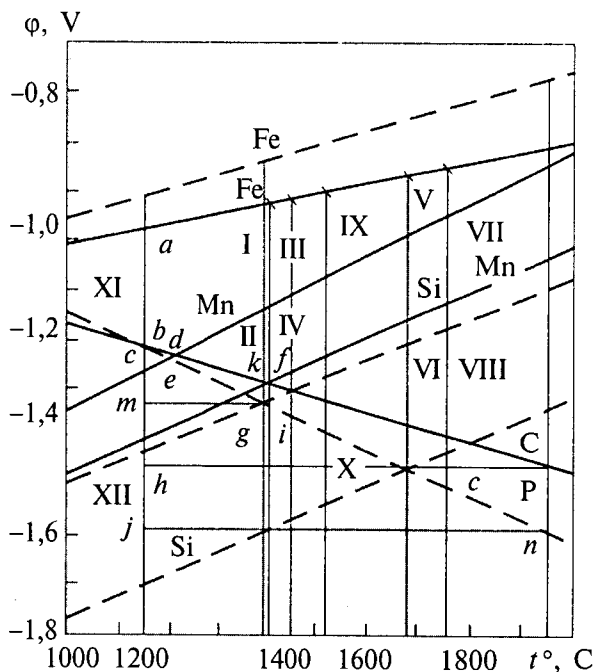
Lekin suyuqlantirib olish shart-sharoitlarini to'la baholash uchun hamma vaqt ham termodinamik analiz o'tkazish yetarli bo'lavermaydi. Masalan, qayta suyuqlantirishda briketlanmagan qirindining yuzasi katta bo'lishi tufayli koks vagrankasining ancha kam oksidlash sharoitlarida ham elektr pechlaridagiga 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 $\varphi^\circ = f(T)$ (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 metallidan 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 $\varphi = -0,98\text{ V}$ va 1400°C da $\varphi = -0,93\text{ V}$.

2. Anodda $\text{C} - 2e = \text{C}^{2+}$; 1150°C da $\varphi = 1,23$ va 1400°C da $-1,30\text{ V}$. Bunda $E_{\min} = -0,92 + 1,22 = 0,3\text{ V}$; $E_{\max} = -0,83 + 1,30 = 0,47\text{ V}$, ya'ni ancha yuqori, bu esa temperatura maydoni notekisligining ta'sirini son jihatdan tasdiqlaydi.

Marganes uchun 1400°C da $\varphi_{\text{Mn}} = -1,14\text{ V}$, cho'yanda eriydigan uglerod uchun $\varphi_{\text{C}} = -1,30\text{ V}$, koks uglerodi uchun $\varphi_{\text{C}} = -1,33\text{ V}$, ya'ni $\varphi_{\text{Mn}} > \varphi_{\text{C}}$. Bundan marganesning uglerod bilan qaytarilishi salt

koloshaning yuqorigi chegarasidan boshlab sodir bo'lishligi kelib chiqadi. $a_c = 1$ da C uchun, ya'ni koks uglerodi uchun va cho'yanda erigan uglerod uchun $\varphi = f(T)$ chiziqlar 1100 °C da bir-birini kesib o'tadi. Bu hol $t > 1100$ °C da temir va boshqa elementlar, asosan, koks uglerodi hisobiga qaytarilishi haqida guvohlik beradi. Marganesning uglerod bilan qaytarilishi bir yo'la uning temir ikki oksidi bilan oksidlanishi bilan sodir bo'ladi. Bu jarayonlarning EYK (elektr yurituvchi kuch)lari bir-biriga teng bo'lgandagina ular muvozanatda bo'ladi. Bu temperaturani grafik (56- rasm) bo'yicha aniqlash mumkin: u 1410 °C ga teng (I va II kesmalar teng). Cho'yanda erigan uglerod uchun 1440 °C temperaturada oksidlanish va qaytarilish ehtimoli bir xil (III va IV kesmalar teng, 56- rasmga q.). Marganesning bir tekis temperatura maydonida qaytarilishi a va e nuqtalarning (mos ravishda erigan ulerod va koks uglerodi uchun) temperaturasidan yuqori temperaturalarda sodir bo'ladi. Notekis temperatura maydonida potentsiali 1,33 V bo'lgan anodda (i nuqta) marganes barcha temperaturalarda qaytariladi, chunki h nuqta marganes chizig'iga yetmaydi.

Bir tekis temperatura maydonida Si ning koks uglerodi bilan qaytarilishi $t > 1360$ °C dan (k nuqta) boshlanadi. Cho'yanda erigan C va Si lar uchun muvozanat temperaturasi 1400 °C ga (f nuqta) teng. Notekis temperatura maydonida cho'yanda erigan uglerod bilan qaytarilish salt koloshaning yuqori qismida $t = 1310$ °C dan (g nuqta) boshlanadi. Koks uglerodi bilan Si ning oksidlanishi va qaytarilishi teng ehtimollik bilan $t = 1680$ °C da (V va VI kesmalarining tengligi) kuzatiladi. Cho'yanda erigan uglerod uchun bu temperatura 1760 °C ga teng. Notekis temperatura maydonida (p va n nuqtalar — potentsiallarning eng manfiy chetki qiymatlari) metallning eng past temperaturasi 1520 °C ga teng. Bu temperaturada qaytarilish jarayoni oksidlanish jarayonidan ustunlik qiladi. Bu — kremniyning vagrankada qaytarilish jarayonining pastki chegarasi.

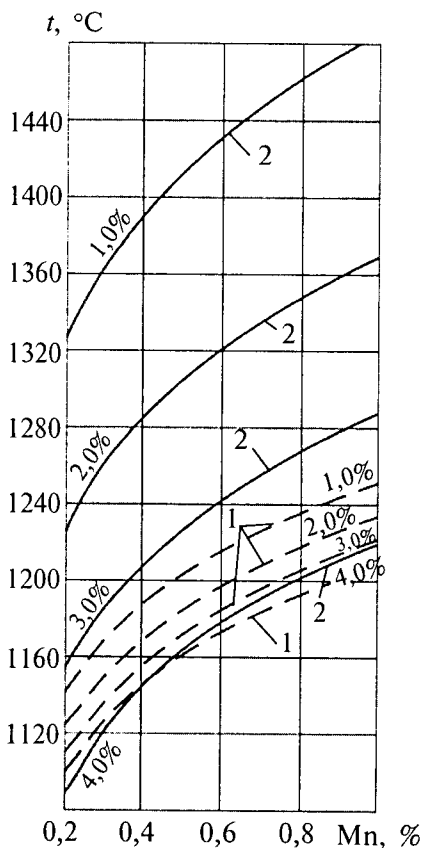
Metall va shlak fazalarida komponentlarning aktivligini hisobga olib aniqlanadigan muvozanat potentsillarining ishlab chiqilgan hisoblash metodikasi notekislik darajasi turlicha bo'lganda bir tekis hamda notekis temperatura maydonlarida elementlarning qaytarilish muvozanat temperaturalarini hisoblab 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 °C chegaralarida bo'lishi mumkin, bu 57- rasmdan ko'rinib turibdi (C element 4% va Mn element 2% bo'lganda $t = 1090$ °C; C — 1% va Mn — 1% bo'lganda $t = 1490$ °C). Bu temperatura shlak tarkibidagi MnO = 1% bo'lganda 1440 °C dan (qaytargich — erigan uglerod, C = 3,2%) tarkibdagi MnO = 15% bo'lganda 1110 °C gacha

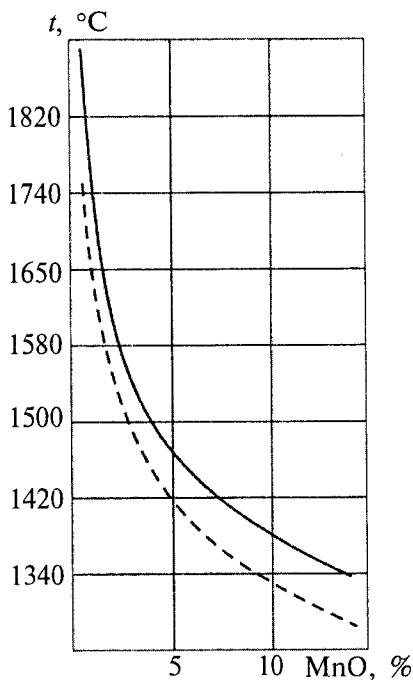
(qaytargich – koks uglerodi) oʻzgaradi. Shlak tarkibida $MnO = 5\%$ boʻlganda MnO dan Mn ni qaytarish uchun koks uglerodi va 4% miqdorida choʻyanda erigan uglerod adekvatdir. Boshqa sharoitlar bir xil boʻlganda choʻyan tarkibidagi Mn miqdori har bir $0,1\%$ Mn ga muvozanat temperaturasini $10\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga oʻzgartiradi. Katta qiymatlar choʻyanda erigan uglerod bilan qaytarishga taalluqlidir.

Kremniy qaytariladigan muvozanat temperaturasi ham shlak tarkibidagi Si , C va SiO_2 miqdoriga ham bogʻliq boʻladi. Muvozanat temperaturasi tarkibdagi $Si = 0,5\%$ boʻlganda $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan (qaytargich – koks uglerodi, $C = 1,0\%$) tarkibda $Si = 3\%$ boʻlganda $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha (qaytargich – erigan uglerod, $C = 1,0\%$) oʻzgaradi. Tarkibdagi SiO_2 miqdoriga qarab koks bilan qaytarishda muvozanat temperaturasi $1440\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan ($SiO_2 = 5\%$) $1330\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha ($SiO_2 = 75\%$; $Si = 1,8$; $C = 3,2\%$) oʻzgaradi. Choʻyanda erigan uglerod bilan qaytarishda bu temperaturalar tarkibdagi C miqdoriga bogʻliq boʻladi.

Ishlab chiqilgan metodika temir ikki oksidi bilan Si va Mn ni oksidlash ehtimoli ularni uglerod bilan qaytarish ehtimoliga teng boʻladigan temperaturani ham aniqlashga imkon beradi. Bu temperaturalar choʻyan va shlakning kimyoviy tarkibiga ham bogʻliq boʻladi. Masalan, Mn uchun bu temperatura (uni oksidlanish va qaytarilish reaksiyalari EYK larining tenglik temperaturasi deb ataymiz – t_{te}) $1270\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan ($Mn = 0,2\%$, qaytargich – koks uglerodi) $1740\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha ($Mn = 1,0\%$, qaytargich – erigan uglerodning 1% i) oʻzgaradi. $1740\text{ }^{\circ}\text{C}$ chamasi temperaturalar faqat temperatura maydonining notekisligini hisobga olish sharti bilan koʻrib chiqilishi mumkin. Masalan, koks sirti $1950\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturaga ega boʻladi. Binobarin, metallning FeO va MnO oksidlar bilan qoplangan



57- ras. Mn koks uglerodi bilan (1) va choʻyanda erigan uglerod bilan (2) qaytariladigan t_{muv} muvozanat temperaturasining Mn va C ning choʻyandagi miqdoriga bogʻliqligi.



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 zonalardagina (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.

tomchilari kontaktlashadigan joyda Mn ning qaytarilish ehtimoli uning temir ikki oksidi bilan oksidlanish ehtimolidan ancha yuqori bo'ladi. Si uchun koks uglerodi bilan qaytarilishda $t_{re} = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan ($Si = 0,5\%$) $1780\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha ($Si = 3,0\%$) va erigan uglerod bilan qaytarilishda $1680\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $1920\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha o'zgaradi. Biroq bunday holda ham notekis temperatura maydoni sharoitlarida kremniyning qaytarilishi sodir bo'ladigan mahalliy zonalar bo'lishi mumkin.

t_{re} ning qiymati shlakning tarkibiga ham bog'liq bo'ladi. Masalan, $SiO_2 = 5\%$ bo'lganda t_{re} kremniy uchun $2040\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga, $Si = 15\%$ bo'lganda esa $1740\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga (cho'yan uglerodi bilan qaytarish uchun $C = 3,2\%$) va $1890\text{ }^{\circ}\text{C}$ ga (koks uglerodi bilan qaytarish uchun) teng.

O'zgaruvchilarni bo'lib, $D\frac{dP}{P} = v_z dz$ ga ega bo'lamiz. Tenglamani integrallab, $D \ln P = z v_z + A_1$ ni hosil qilamiz, bu yerda A_1 — integrallash doimiysi.

$$\text{Bundan } P = e^{\left(\frac{z v_z + A_1}{D}\right)}.$$

Bu ifodani integrallab va $P = \frac{dC}{dz}$ qiymatni o'rniga qo'yib

$$C = f e^{\left(\frac{z v_z}{D} + A_2\right)} dz$$

ga ega bo'lamiz, bu yerda $A_2 = \frac{A_1}{D} = \text{const.}$

$$x = \frac{v_z}{D} \cdot z + A_2 \text{ deylik, unda } dx = \frac{v_z}{D} dz \text{ va}$$

$$C = \int e^x \frac{D}{v_z} dx$$

$$\text{bo'ladi. Bundan } C = \frac{D}{v_z} e^{\left(\frac{v_z}{D} \cdot z + A_2\right)} + A_3. \quad (5.39)$$

Integrallash konstantalarini aniqlaymiz: $z=0$ da $C = C^\omega$, $z=h$ da $C = C^k$.

Bu ma'lumotlar asosida sistema tuzamiz:

$$\left. \begin{aligned} C^\omega &= \frac{D}{v_z} e^{A_2} + A_3, \\ C^k &= \frac{D}{v_z} e^{\left(\frac{v_z}{D} h + A_2\right)} + A_3. \end{aligned} \right\} \quad (5.40)$$

(5.40) sistemani yechib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$A_2 = \ln \frac{(C^k - C^\omega) v_z}{(e^{\frac{v_z}{D} h} - 1) D}; \quad A_3 = C^\omega - \frac{C^k \cdot C^\omega}{(e^{\frac{v_z}{D}} - 1)}. \quad (5.41)$$

Olingan bog'lanishlar statsionar rejim, masalan, uzluksiz miksilash sharoitlarida massa uzatilishini xarakterlaydi. Lekin real sharoitlarda induksion pechlardagi massa uzatish nostatsionar rejimda amalga oshiriladi.

Istalgan pech uchun massa uzatishning matematik modeli massa uzatishning tuyulma koeffitsiyenti (k^v) asosida qurilishi mumkin (II bobga q.).

Vagrankalarda cho'yanni suyuqlantirib olish uchun massa uzatish 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'yandagi o'rtacha konsentratsiyasi, %; ω – shixtaning solishtirma yuzasi, kg/m²; τ – vaqt, s; k^v – massa uzatishning tuyulma koeffitsiyenti, kg/m² · s · %,

$$k_{Fe}^{v(sk)} = k_{Fe}^{vII Ox} + k_{Fe}^{vRed} + k_{Fe[C, Si, Mn]}^{vII Red},$$

$$k_{Fe}^{v(to'p)} = k_{Fe}^{vIII Ox} - k_{Fe[C, Si, Mn]}^{vII Red},$$

Ω_{tom} va ω_{tom} – tomchilardagi umumiy va solishtirma yuza. Indekslar va darajalar quyidagilarni ifodalaydi: sh – shixta; sk – salt kolosha (salt koloshasi bo'lmagan vagrankalar uchun sk o'rnida o'q.k. – o'ta qizdirish kamerasi ko'rsatiladi), to'p – to'plagich, IOx – qattiq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi, II Ox – suyuq metallning gaz fazasi bilan oksidlanishi, III Ox – shlak bilan oksidlanishi, I Red – koks uglerodi bilan qaytarish, II Red – cho'yan elementlari bilan qaytarish.

Indekslashdan ko'rinishicha, model konstruktiv zonalar (shaxta, 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

$$k_i^{v'(sh)} = k_i^{v'IOx} + k_i^{v'II Red};$$

$$K_i^{(sk)} = K_i^{(sh)} \exp \left[k_i^{v'(sk)} \Omega_{(tom)} \tau_{(sk)} \right], \quad (5.43)$$

bu yerda

$$k_i^{v'(sk)} = k_i^{v'II Ox} + k_i^{v'I Red} + k_i^{v'II Red};$$

$$K_i^{(v)} = \frac{1}{k_i^{v'(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}} \left\{ \frac{K_i^{(sk)} k_i^{v'(to'p)} \Omega_{(to'p)}}{\frac{k_i^{v'(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}}{g^{vx} - g^{ux}}} \times \right. \\ \left. \times \left[M_0 + (g^{vx} - g^{ux}) \tau_{(to'p)} \right] \frac{k_i^{v'(to'p)} \Omega_{(to'p)} - g^{vx}}{g^{vx} - g^{ux}} - g^{vx} K_i^{(sk)} \right\}, \quad (5.44)$$

bu yerda

$$k_i^{v'(to'p)} = k_i^{v'III Ox} + k_i^{v'II Red} + k_i^{v'I Red}.$$

Ishlab chiqilgan matematik modelning qo'llanilishi gaz vagrankasidagi massa uzatilishini tajriba ma'lumotlari va ω ning hisob qiymatlari asosida hisoblab topishga imkon berdi. Olingan massa uzatish koef-fitsiyentlari ustida o'tkazilgan analiz shuni ko'rsatdiki, qizdirish va suyuqlantirishda shixtada 20–30% uglerod (jami kuyindidan), 60% ga yaqin Si va 70% Mn kuyadi, bunda marganes bo'yicha olingan ma'lumotlar qarama-qarshi. Olovbardosh nasadkali gaz vagrankasida uglerodning kuyishi shaxtada to'la shakllanadi, to'plagichda esa hatto biroz «qirmoch» hosil bo'ladi. Kremniy esa shaxtada 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 orasidagi yuza olovbardosh salt koloshi bo'lmagan gaz vagrankalariga qaraganda katta bo'ladi. Salt kolosha tarkibiga uglerodli materiallarning kiritilishi Si va Mn lar ozgina 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 unumdorligi 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:

$$(\text{SiO}_2) + < 2\text{C} > = [\text{Si}] + \{2\text{CO}\}, \quad (5.45)$$

$$< 2\text{C} > \rightarrow [\text{C}], \quad (5.46)$$

bular esa uglerodli materiallar gaz vagrankasining nasadkasiga kiritilsa, maqsadga muvofiq bo'lishligi haqida guvohlik beradi.

Yoy pechidagi massa uzatish haqida bajarilgan hisob shixta tarkibining elementlarning kuyishiga ta'sirini aniqlashga imkon berdi. Massa uzatishning tuyulma koeffitsientlarini topish uchun tuzilgan 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 miqdoriga 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 60% 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

$$k_C^{v'II Red} = -0,821, \quad k_{Si}^{v'II Red} = 1,132 \text{ va } k_{Mn}^{v'I Red} = 1,415 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{soat} \cdot \%$$

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

Fizik-kimyoviy xususiyatlari. Vagrankada cho‘yan suyuqlantirishning o‘ziga xos xususiyati fazalarning o‘zaro ta’sir qilish jarayonlarining uzluksizligi va salt koloshaning qalin qatlami hamda ishchi koloshalarning yupqa qatlami ko‘rinishidagi koksning bo‘lishidir [28]. Koks III zonaning (59- rasm) pastki qismida quyidagi reaksiya bo‘yicha yonadi:



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:



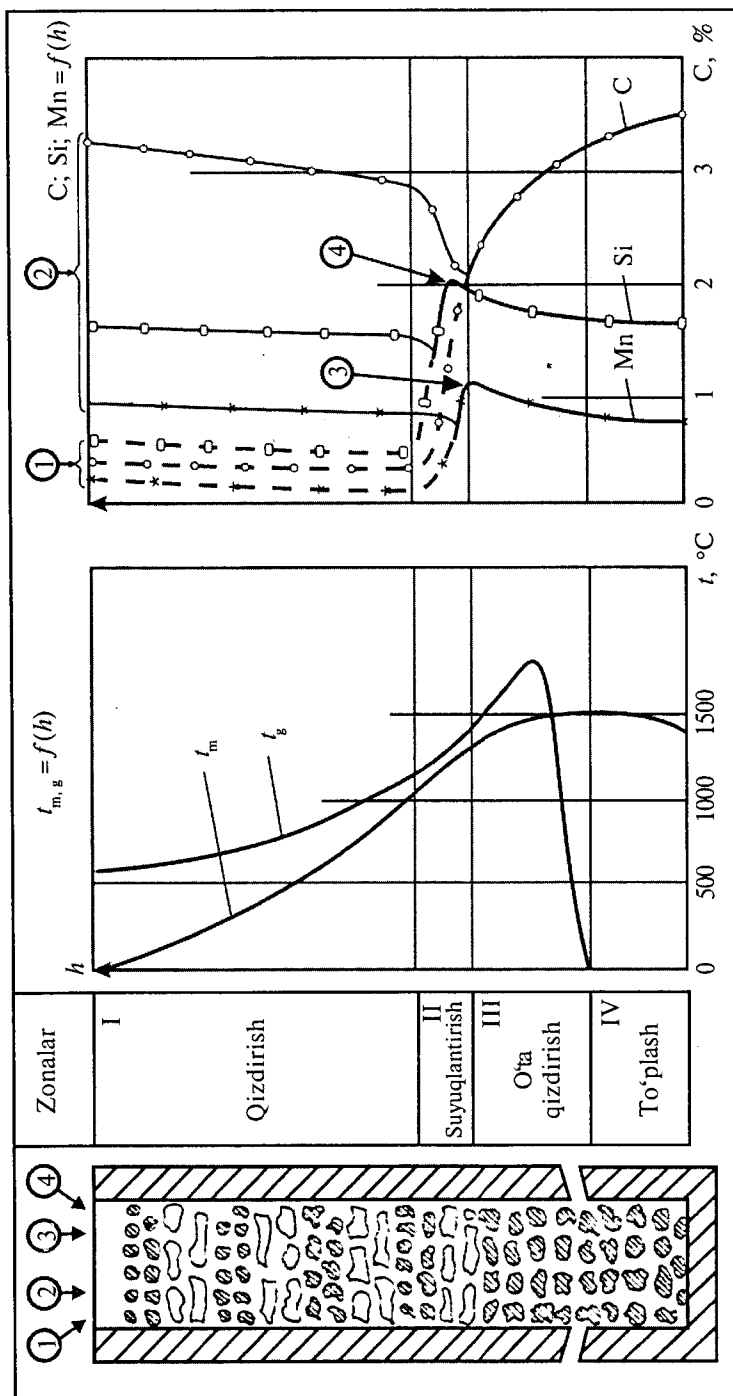
Bu reaksiya endotermik reaksiyadir, shu sababdan gazlarning temperaturasi biroz pasayadi.

Vagrankaga kimyoviy tarkibi bo‘yicha bir-biridan prinsip jihatdan tafovutlanadigan 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 zonalar) 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) temperaturallari hamda metall tarkibining o'zgarishi:
 1 - shixtaning po'lat komponentlari, 2 - shixtaning cho'yan komponentlari, 3 - ferromarganes qo'shimcha, 4 - ferrosilitsiy qo'shimcha.

Suv bilan sovitilmaydigan vagrankalar ish siklining davom etish vaqti — 8 dan 20 soatgacha. Suv bilan sovitish sistemasidan foydalanilganda vagranka ish siklini 1 oygacha yetkazish mumkin.

Olovbardosh futerovka 25–30% olovbardosh gil va 70–75% maydalangan shamot yoki kvars qumdan iborat qorishmada tayyorlangan shamot g'ishtdan terib bajariladi. Vagrankalar futerovkasini tiqma yordamida yoki torkretlab (changlatib) ham amalga oshirish mumkin. Buning uchun vagrankaning tagi (shaxta tubi) kuygan qoliplash tuprog'i, kuyindi (uchqin so'ndirgichda qolgan chiqindilar) va ishlatilmagan yangi qoliplash materiallarining muayyan miqdori bilan tiqib 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 gorelkalari 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 furalarning asosiy qatoridan 1,2–1,5 m baland bo'lishi kerak.

Vagrankada suyuqlantirish texnologiyasi ko'p empirik tavsiyalarga ega. Masalan, salt kolosha balandligining to'g'ri tanlanganligini furalar zonasida cho'yanning birinchi tomchilarining paydo bo'lish vaqti bo'yicha nazorat qilish tavsiya etiladi [38]. Agar havo birinchi ustun to'ldirilgan zamonq berilsa, furalarda 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'lchami 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 sarfi 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, metall koloshaniki esa 270 kg ni, ya'ni vagrankaning bir soatdagi unumdorligining 1/10 qismiga yaqinini tashkil qiladi.

Havo ancha jadal berilganda salt koloshaning ustki sathining pastga tushib ketishiga yo'l qo'ymaslik uchun koksni ko'proq yuklash zarur, aks holda cho'yanning temperaturasi keskin pasayishi va uning sifati yomon bo'lishi mumkin. Ishchi koloshalarda yoqilg'ining ortiqcha bo'lishi natijasida salt koloshaning yuqorigi sathi ko'tarilishi va suyuqlantirish jarayoni sekinlashishi mumkin. Metall va ishchi koks koloshalarining tavsiya etiladigan massalari 25- jadvalda keltirilgan.

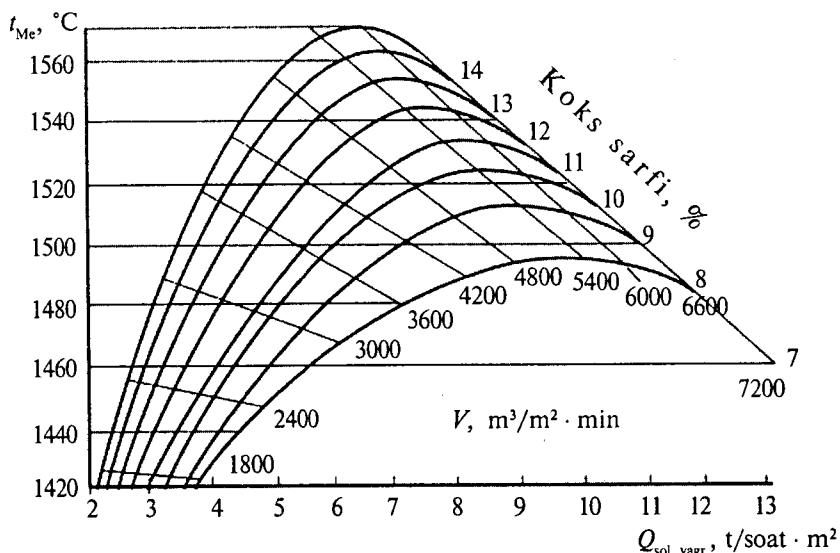
25- jadval

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, nomogrammalar ko'rinishida ifodalanadi. Bunday nomogrammalardan 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, furlmalar shlaklanib



60- rasmi. Vagranka jarayoni parametrlari o'zaro bog'lanishining nomogrammasi (t_{Me} — 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 buzuqliklar 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 sezilarli 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 buzuvchiliklar va ularni bartaraf qilish choralari

Buzuvchiliklar	Sabablar	Bartaraf qilish choralari
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 koloshasi yuklansin; beriladigan havo 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 tagini vagrankaning suv bilan sovutiladigan 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'rilsin
Vagrankada shlak furlariga ko'tarilgan va uning sifonli shlak ajratgich orqali chiqishi to'xtagan	Vagrankadagi havo bosimi yetarli emas; sifonli shlak ajratgich o'lchamlariga 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	Yirik shixta 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 qurilmalar to'xtatilsin va shaxtaning yuqorigi qismidagi luklar ochilsin. Nuqson bartaraf qilingandan so'ng ikki hissa oshirilgan yoqilg'i koloshi 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 koloshi 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 va sulfidlar (FeS va boshq.) kiradi. Lekin shlakning asosiy tashkil etuvchilari — kremniy-yer (SiO_2), glino-yer (Al_2O_3) va kalsiy oksidlari (CaO). Shlak tarkibi qo'llaniladigan futerovkaning tipiga, fluslarning miqdori va tarkibiga bog'liq.

Suyuqlantirishning kislotali va asosli jarayonlari bir-biridan farqlanadi. Kislotali jarayonda vagranka shamot bilan futerovka qilinadi, 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 va 10–30% $\text{CaO} + \text{MgO}$ 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 .

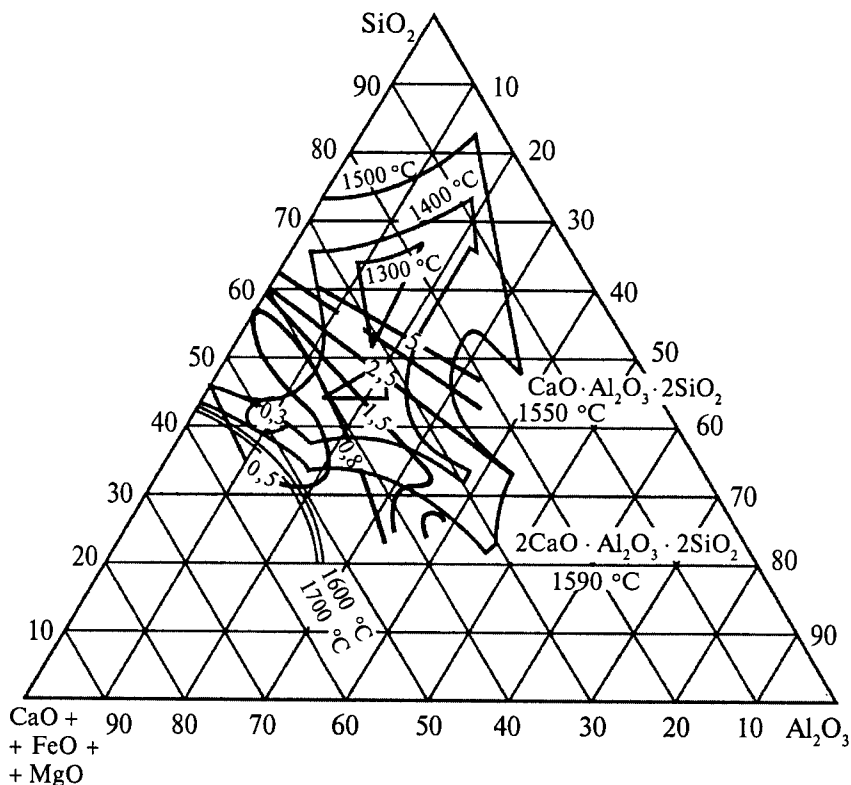
Fizik-kimyoviy jarayonlarning umumiy qonuniyatlariga muvofiq, oksidlanish jarayonida kislotali oksidlar bo'ladigan elementlar asosli shlaklar bilan ancha jadal oksidlanadi. Shu sababli asosli jarayonda kremniy kislotali jarayonga qaraganda ko'p oksidlanadi, marganes esa, aksincha, kislotali jarayonda asosli jarayonga qaraganda ko'p oksidlanadi. Bundan asosli jarayonda olingan cho'yan tarkibida ugle-rod ko'p bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi.

Asosli jarayonning muhim afzalligi metallardan 40–50% oltingugurt ni va 30–40% fosforni 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 furmalar ustida). Qovushoq shlak metallardan 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 temperaturadagi qovushoqligi haqida ma'lu-

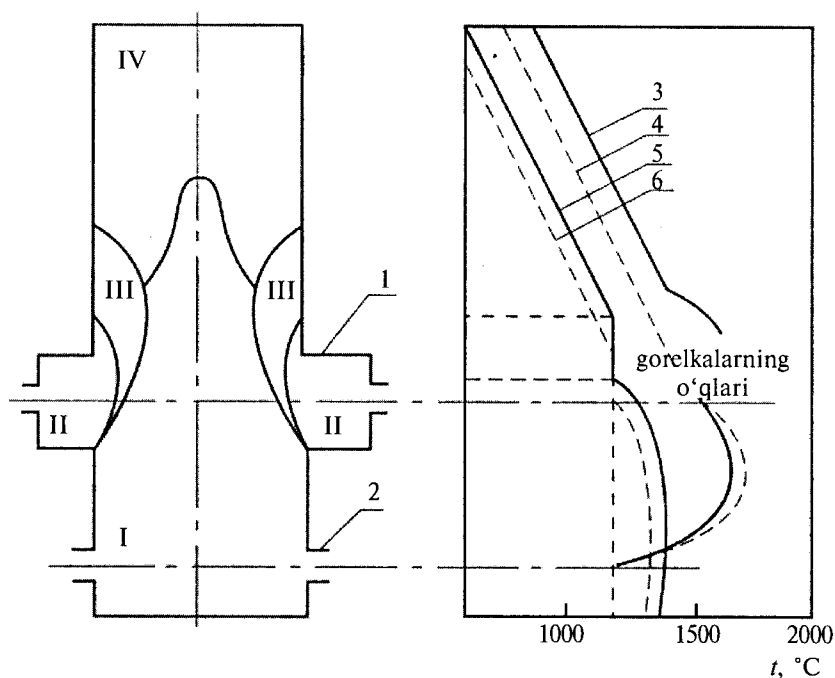


61- rasm. Shlak qovushoqligi va suyuqlanish temperaturasining uning tarkibiga bog'liqligi.

motlar 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.



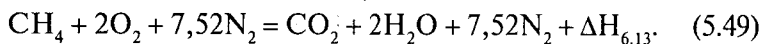
62- rasm. Koks-gaz vagrankasining zonalarga bo'linish sxemasi:

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).

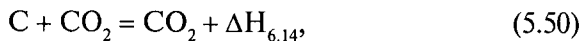
I z o n a . Barcha jarayonlar koks vagrankasida sodir bo'ladigan jarayonlarga o'xshash. Gazning zona oxiridagi o'rtacha tarkibi quyidagicha: CO_2 – 15%, CO – 10% va N_2 – 75%.

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:



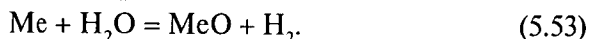
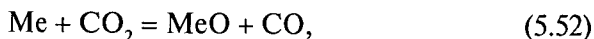
IV z o n a da koks va gaz yonish mahsulotlarining aralashmasi bo'ladi. Gazlar aralashmasining tarkibi taxminan quyidagicha: CO_2 – 7%, CO – 20%, H_2 – 3% va N_2 – 70%. Suv bug'lari ishtirok etishi mumkin.

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.

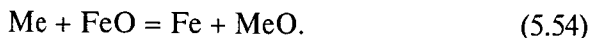
Cho'yanni gaz vagrankalarida suyuqlantirish

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 bassey-niga 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:



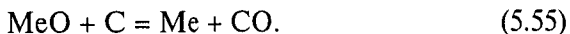
Natijada 8–12% C, 10–15% Si va 15–20% Mn kuyadi. Koks uglerodi ishtirok etmasligi tufayli kuyish yuqori bo'lishi ham mumkin, chunki uglerod qaytarilish jarayonlarining mikrohajmlarda rivojlanishiga yordam beradi.

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:

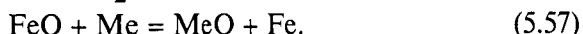


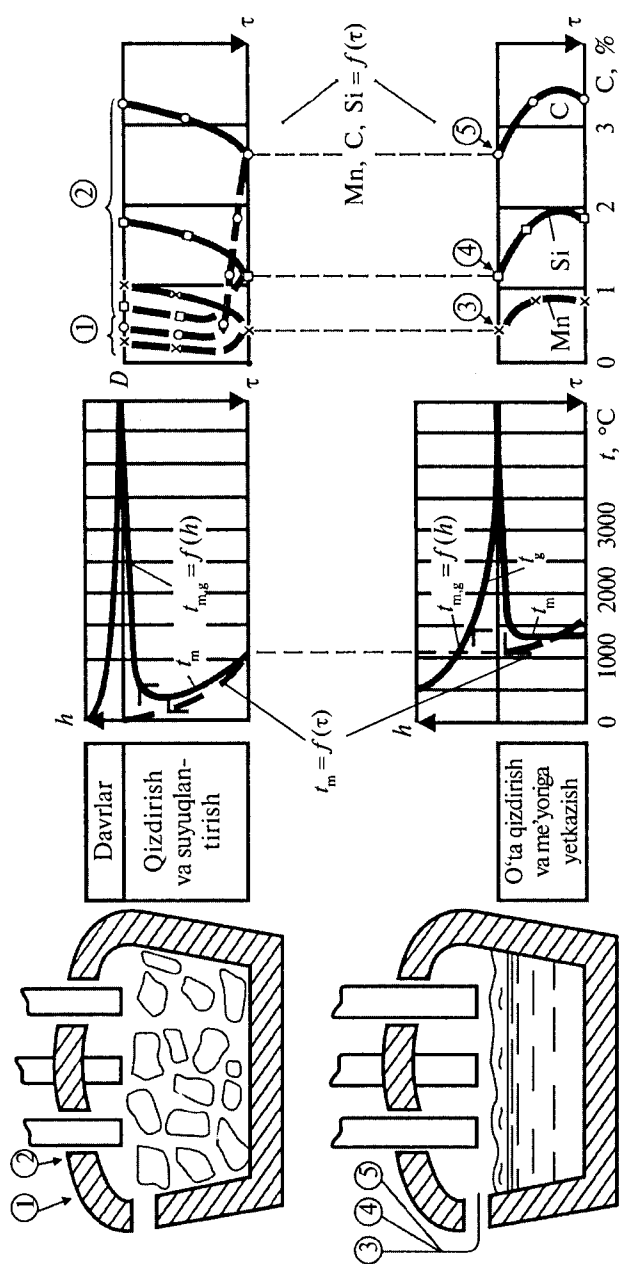
Bunda kuyindilar kamayadi, cho'yan uglerodlanadi, salt koloshaning ishlash sharoitlari yaxshilanadi, chunki uglerodli material bo'laklari o'tga chidamli material bo'laklarini ajratadi va yopishib qolishiga hamda cho'kishiga imkon bermaydi; bundan tashqari, gaz fazasi kam oksidlovchi bo'lib qoladi. Gaz vagrankalarida cho'yanni 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 shlaklarda 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:



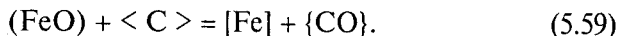


63- rasm. Yoy pechida t_m , t_g va metall tarkibining o'zgarishi (1—4 larni 59- rasmdan qarab oling, 5 — karburizator).

Yoy yordamida cho‘yan suyuqlantirishning o‘ziga xos xususiyati vannaning qaynashiga, ya’ni



reaksiyaning o‘tishiga yo‘l qo‘ymaslik. Shuning uchun shlak tarkibidagi FeO 12% dan ortiq bo‘lmasligi kerak, bunga karbyurizator kiritish hisobiga shlakni muntazam oksidsizlantirib erishiladi:



Shu boisdan taqsimot muvozanati $(\text{FeO}) \rightleftharpoons [\text{FeO}]$ chappa siljiydi va vannaning qaynashi, ya’ni (5.59) reaksiya bo‘yicha CO ning ajralib chiqishi sodir bo‘lmaydi

Yoy pechida cho‘yanni monojarayon yordamida suyuqlantirish texnologiyasi. Shixta sifatida, asosan, cho‘yan yoki po‘lat temir-tersaklari va qaytarilgan metall, shuningdek, biror miqdorda quyma ko‘rinishidagi yangi cho‘yandan foydalaniladi. Shixta mavjud shixta materiallarining kimyoviy tarkibiga va kuyindiga asoslanib hisoblanadi. Odatda, uglerodning kuyishi 10%, kremniyning kuyishi 10% va manganesning kuyishi 20% deb qabul qilinadi. Shixtada qirindidan foydalanilganda elementlarning kuyishi sezilarli darajada ortishini hisobga olish lozim.

Har bir suyuqlantirish oldidan futerovkani mayda ta’mirlash zarur. Shu maqsadda tag va qiyaliklar zapravka qilinadi, ya’ni tag va qiyaliklardagi chuqurchalarga oldingi suyuqlantirish jarayoni tugagan zamonog, 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. Shixtaning hovlisiga massasi pech sig‘imining 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 kontaktlashunga 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

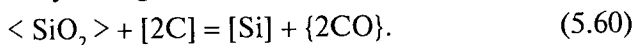
to'kilsin), qotgandan keyin esa yashilroq sirtli zich siniq joyiga (siniqqa) ega bo'lishi kerak. Qattiq holatda shlak singan joyining qora rangli va pufakchasimon bo'lishi uning yuqori darajada oksidlanganligi haqida guvohlik beradi. Bunday holda shlakni qisman chiqarib tashlash va shlak hosil qiluvchi yangi komponentlar qo'shish kerak.

Asosiy shlakni hosil qilish uchun pechga 1 t metallga 0,15 kg miqdorda ohak kiritiladi, natijada 0,001% oltingugurt chiqarib yuboriladi. To'la suyuqlangandan keyin kimyoviy analiz qilish va oqarganligini tekshirish uchun namunalar olinadi, pech esa ikkinchi bosqichga ulanadi va metall 1400–1450 °C gacha o'ta qizdiriladi. So'ngra shlak chiqarib yuboriladi, pechga karbyurizatorning umumiy hisob massasidan 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.

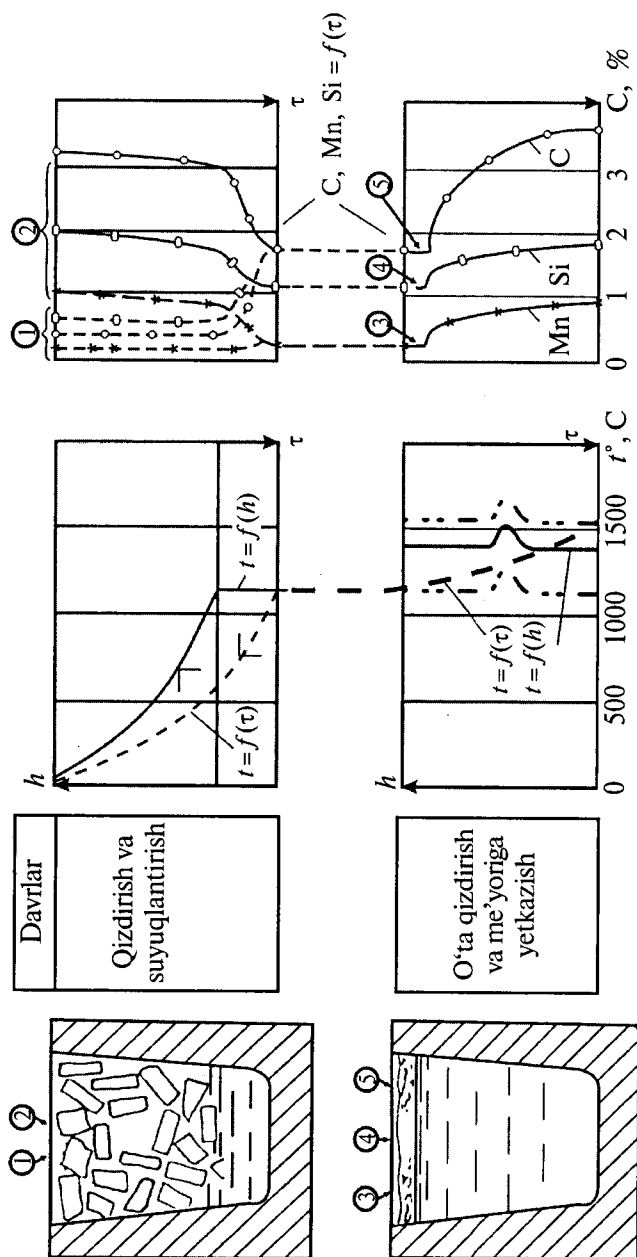
Tigelning o'rta qismida temperaturalarning taqsimlanishiga ta'sir qiladigan devor oldi aralashtirish zonasida yuqorigi va pastki konturlar orasida «o'lik» zona yaratilishi hisobiga temperaturaning mahalliy ortishi sodir bo'ladi (64- rasm). Yuqori temperaturali zonaning mavjudligi tigel reaksiyasining 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)	$\Phi C-75$	-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 ishlov 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 7 t qattiq metall 500 °C gacha qizdirilganda tez suyuqlanadi va 10 minut 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 ham oksidlaydi. Temir, kremniy va marganes oksidlari shlak hosil qiladi.

Induksion pechlarda cho'yanni suyuqlantirishda FeO dan temirni qaytarish uchun karburizator ishlatish va ferroqotishmalarni tejash maqsadga muvofiq bo'ladi. Suyuqlantirishni suyuqlanmadagi kremniy va marganes miqdori kam va uglerod miqdori ko'p bo'lganda bajarish lozim. Buning uchun karburizatorni tigel tubidagi uyumga kiritish, suyuqlangan va o'ta qizdirilgan suyuq cho'yanga esa ferrosilitsiy va ferromarganes kiritish zarur. Tarkibida uglerod bo'lgan $\Phi C 75$ va $\Phi M\text{H}5$ qo'shilmalarni yuklagichga yuklaganda C, Si va Mn larning kuyindilari, tegishlicha, 18–25, 30–32 va 52–55% ni tashkil qiladi. Agar yuklash joyiga karburizator kiritilsa, $\Phi C 75$ va $\Phi M\text{H}5$ esa pech 1550 °C gacha qizdirilib, 1440–1460 °C gacha sovitilgandan keyin qo'shilsa, C ning kuyindisi 30–35% gacha, Si va 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, karbyurizator 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- rasmga q.) 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 oksidlarining 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 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{FeO} \cdot m\text{MnO}$) 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-

rilgan hisob ma'lumotlari bo'yicha korrektirovka qilinadi. Induksion pechda cho'yan suyuqlantirishni yakunlovchi operatsiyasi termovaqt ishlov berishdir. Bu operatsiya suyuqlanmani gomogenizatsiyalash va dastlabki shixta materiallarining zararli irsiy ta'sirini kamaytirish maqsadida bajariladi. Termovaqt ishlov berish tigel reaksiyasining muvozanat temperaturasidan 50 °C ortiq temperaturada tutib turishdan iboratdir. Tutib turish CЧ 18 cho'yan uchun 5 min dan 20 min gacha (CЧ 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. Ikkilamchi 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 BЧ 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.

Birinci dupleks-jarayon uchun vagrankaning yoy pechi bilan birga qo'shilishidan foydalanilgan edi. Uni bir necha o'n yillar muqaddam KЧ 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 (BЧ 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 amaliyotida keng tarqalgan. U Rossiyaning ZIL, GAZ va boshqa zavodlarida joriy qilingan. Bunday suyuqlantirish usulining qoʻllanilishi tarkibi va temperaturasi boʻyicha turgʻun metall katta koʻlamlarda talab etiladigan hollarda, masalan, avtomobillar va traktorlar koʻplab ishlab chiqariladigan sexlarda maqsadga muvofiq boʻladi [40].

Kanalli pechlarda choʻyan, odatda, berilgan tarkibgacha yetkazilmaydi. Undan faqat suyuq choʻyan tarkibini oʻrta hisobga keltirish va qizdirish uchun foydalaniladi. Zarur boʻlganda qoʻshilmalar uzatish kovshlari yoki tarnovga kiritiladi. Choʻyaning tarkibi va temperaturasi boʻyicha oʻrta hisobga keltirilishini taʼminlash uchun uning miqdorini doimo pechning 2/3 hajmi baravarida saqlab turish zarur.

Bunday dupleks-jarayonlarda koʻpchilik 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 oʻrnini bosadi.

Suyuq choʻyanni kanalli induksion pechga uzatishda shlakni yaxshilab ajratib olish kerak. Agar unga shlak tushsa, futerovkaning yeyilishi keskin ortadi. Kanalli pechda toʻplanib qolgan shlakni vaqti-vaqti bilan chiqarib tashlash zarur.

Dupleks-jarayon V—ITP ham mashinasozlik zavodlarining quyish sexlarida keng tarqalgan. Tigelli induksion pechlarning ikkilamchi agregatlar sifatida qoʻllanilishi smena davomida choʻyaning bir nechta markasini olish zarur boʻlgan hollarda maqsadga muvofiq boʻladi. Bu pechlarda ferroqotishmalar, karburizatorlar yoki poʻlat chiqindilar qoʻshib choʻyan tarkibini korrektirovka qilish oson boʻladi.

Dupleks-jarayon ITP—IKP da choʻyan mayda poʻlat siniqlari va chiqindilaridan iborat shixtalardan olinadi. Bu jarayon tigelli induksion pechlarning texnologik afzalliklaridan foydalanishga imkon beradi.

VAZda kulrang choʻyan ishlab chiqarishda sigʻimi 25 t boʻlgan tigelli induksion pechdan va foydali sigʻimi 45 t boʻlgan kanalli pechdan iborat dupleks-jarayondan foydalaniladi [35]. Shixta sifatida temirchilik—presslab ishlab chiqarish chiqindilari, qaytarilgan metall va biroz quyma choʻyandan foydalaniladi. Metall bitta pechdan boshqasiga tarnov yordamida uzatiladi. Shixtaning oʻrtacha 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 oʻtgach, 20 t choʻyan kanalli pechga qayta quyiladi. Bu choʻyaning 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 shlaki tarkibida Fe_2O_3 — 30—42%, SiO_2 — 42—53% va MnO — 4,5—5,2% boʻladi. Saqlab turish kanalli pechida choʻyaning kimyoviy tarkibi koʻp

o'zgaraydi: 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 kanalli pechga quyunga qadar pechda suyuq metall qoldig'i (20 t ga yaqin) bo'ladi.

Dupleks-jarayon DP—ITP ham VAZda qo'llaniladi. Bu yerda qattiq shixta suyuqlantiriladigan 40 t sig'imli yoy pechi o'rnatilgan. Tigelli induksion pechlarda metall zarur bo'lgan kimyoviy tarkibgacha yetkaziladi va quyish jarayonida yuqori temperaturada saqlab turiladi. CЧ, KЧ, BЧ cho'yanlarni suyuqlantirib olish uchun tarkibida, asosan, po'lat chiqindilari va qaytarilgan metall, shuningdek 11% gacha quyma cho'yan (CЧ 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 °C ortiq o'ta qizdiriladi. O'ta qizdirish temperaturasi 1520—1580 °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 korrektirovka 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, CЧ-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/SiO₂ nisbat 0,9—1,2 chegaralarida saqlab turiladi. Cho'yan temperaturasi 1430—1450 °C ga erishganda kimyoviy analiz qilish uchun namuna olinadi. So'ngra cho'yan 1540—1560 °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'shilmalarning 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 choʻyan temperaturasi, uning kimyoviy tarkibi va oqartirilish kattaligi nazorat qilinadi. Pechdan chiqarilayotgan choʻyan temperaturasi 1440–1480 °C, kimyoviy tarkibi esa talab darajasiga mos kelishi kerak.

Amalda suyuqlantirish pechlarining muayyan ishlab chiqarish sharoitlariga ancha toʻgʻri keladigan boshqa birikmalari ham uchraydi. Domna pechi–elektr pechdan iborat dupleks-jarayondan foydalanish eng samaralidir [8].

5.7. Poʻlat suyuqlantirish jarayonining fizik-kimyoviy xarakteristikasi

Termodinamika. Poʻlatni suyuqlantirish uchun boshlangʻich bosqichda oksidlash jarayonlarining jadal oʻtishi (oksidlash davri) va poʻlat olishning yakunlovchi bosqichida metallardan oksidlarni chiqarib tashlash (oksidlantirish) xarakterlidir.

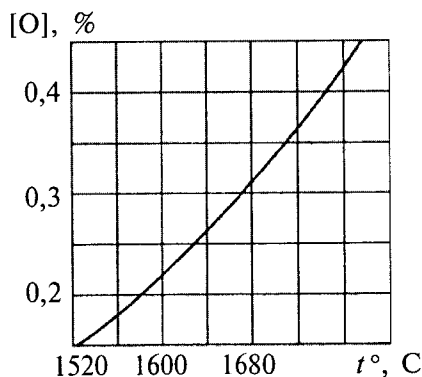
Oksidlash davrini termodinamik analiz qilish uchun 2- § da bayon qilingan metodikani qoʻllash mumkin. Oksidsizlanish reaksiyalari termodinamikasi kislorodning suyuq temirda eruvchanligi va aktivligiga bogʻliq [9, 30].

Kislorodning eruvchanligi toʻgʻrisida turli eksperimental sharoitlarda olingan maʼlumotlar bir-biriga yaxshi toʻgʻri keladi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\lg [\% \text{ O}] = -6320/T + 2,734, \quad (5.61)$$

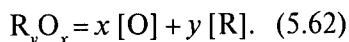
1600 °C da kislorodning eruvchanlik eksperimental qiymatlari 65- rasmda keltirilgan.

Suyuq temir eritmasida kislorod miqdorining kamayish darajasi metallga kiritiladigan elementning oksidsizlantirish qobiliyatiga bogʻliq.



65- rasm. Suyuq temirda kislorodning erishi.

Bu qobiliyat berilgan temperatura-da oksidsizlantirgichning maʼlum konsentratsiyasi bilan muvozanatda boʻlgan kislorod miqdori bilan baholanadi [30]. Kislorodning suyuq temirdagi oksidsizlantirgich element bilan oʻzaro taʼsir reaksiyasini umumiy koʻrinishda quyidagi tenglama bilan tasavvur etish mumkin:



Kislorod va oksidsizlantirgichning muvozanat miqdori orasidagi munosabat (5.62) reaksiyaning

muvozanati konstantasi bilan aniqlanadi. Bu konstanta suyuq temirda hosil 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:

$$f_R = f'_R \quad \text{va} \quad f_O = f'_O f_O^R,$$

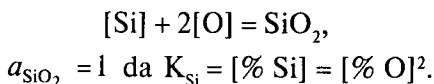
bu yerda: f'_R va f'_O – mos ravishda temir juda ko'p qo'shilgan binar qotishmalarda element-oksidsizlagich va kislorodning aktivlik koeffitsiyenti; f_R^O va f_O^R – uch komponentli suyuqlanma Fe–R–O larda kislorod va oksidsizlantirgichning aktivlikka ularning o'zaro ta'sirini hisobga oladigan aktivlik koeffitsiyenti.

Po'latning asosiy oksidsizlantirgichlari Mn, Si va Al hisoblanadi. Temirni marganes bilan oksidsizlantirish reaksiyasi $(\text{FeO}) + [\text{Mn}] = (\text{MnO}) + [\text{Fe}]$ tenglama bilan, reaksiya muvozanati konstantasi esa quyidagi formula bilan ifodalanadi:

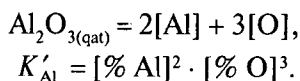
$$K_{\text{Mn}} = \frac{(\text{MnO})}{(\text{FeO})[\% \text{Mn}]},$$

bu yerda: (FeO) va (MnO) – temir ikki oksidi va marganesning 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:



Aluminiy uchun muvozanat konstantasi [30] quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:



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 elektr pechlarida amalga oshiriladi. Yoy pechida suyuqlantirish uchun $\varphi = f(T)$ bog‘lanish 66- rasmda tasvirlangan. Keltirilgan ma’lumotlardan ko‘rinishicha, $t \geq 2100$ °C da komponentlar qaynaydigan temperaturalar zonasi boshlanadi. Yoy pechlari uchun 2000 °C gacha zonada yuqorida keltirilgan barcha mulohazalar haqiqiydir (56- rasm, a, b, c, d, f nuqtalarga q.). Yoy razryadida yuqori temperaturalarining mavjudligi yoy yonidagi bo‘shliqda quyidagi zonalarni ajratishga imkon beradi:

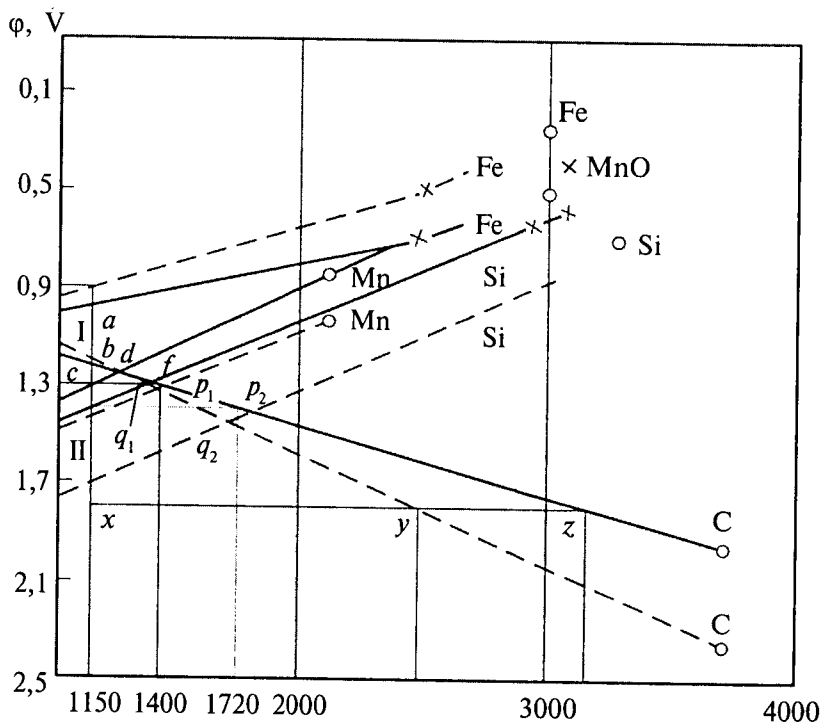
- 1) suyuqlanma barcha komponentlarining bug‘lanish zonasi, $t > 3700$ °C;
- 2) barcha oksidlar bug‘lanadigan zona, $t > 2500$ °C;
- 3) barcha metallar bug‘lanadigan zona, $t > 2100$ °C;
- 4) cho‘yanning barcha elementlarining erigan uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1720$ °C (nuqta p_2);
- 5) barcha elementlarning sof uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1550$ °C (nuqta q_2);
- 6) Fe va Mn larning erigan uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1440$ °C (nuqta p_1);
- 7) Fe va Mn larni sof uglerod bilan qaytarilish zonasi, $t > 1360$ °C (nuqta q_1).

28- jad val

Po‘latni oksidsizlantirish reaksiyalari muvozanat konstantalarining temperaturaviy bog‘lanishi

Oksidsizlan- tirgichlar	Tenglama $\lg K = \frac{A}{T} + B$	K qiymati	
		1550 °C da	1600 °C da
Mn	$\lg K_{Mn} = \frac{10900}{T} + 4,06$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,73 \cdot 10^{-2}$
Si	$\lg K_{Si} = \frac{26050}{T} + 9,51$	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Al	$\lg K_{Al} = \frac{82580}{T} + 33,96$	$4,57 \cdot 10^{-12}$	$7,41 \cdot 10^{-11}$

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) $Me - 2e = Me^{2+}$ ($Me \equiv C, Si, Mn, Fe$) elektrod jarayonlar uchun $\phi^\circ = f(T)$ (punktir chiziq) va $\phi = f(T)$ (tutash chiziq) bog‘lanishlar.

Kinetika. Termodinamikada po‘lat suyuqlantirish jarayonlari kinetikasida 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 konsentratsiyalanganda

uglerodsizlantirish jarayoni oksidlagichning diffuziyalanishi bilan limitlanadi. Bunda sirtiy (pufakchalarsiz) uglerodsizlantirish kuzatiladi. Uglerodning oksidlanish tezligi uning konsentratsiyasi va metall suyuqlanmasining tarkibiga bog'liq bo'lmaydi. Uglerodsizlanish reaksiyaga kirishuvchi uglerod ortiqcha bo'lganda va kislorod yetishmaganda sodir bo'ladi.

Tajriba ma'lumotlari to'g'ri chiziqli tenglamasi bilan yaxshi approxsimatsiyalanadi:

$$-\frac{dC}{d\tau} = 1/V (\eta \omega p_{O_2}),$$

bu yerda: V — metall vannasining hajmi, t ; η — oksidlagichdan 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:

$$-\frac{d[C]}{d\tau} = K [\% C].$$

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 — diffuziyalanadigan zarrachalarning harakatchanligi; v_i — valentliligi; 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. Ikki 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 bosimi bir xil saqlab turiladi. Agar Fik tenglamasida hosilani oxirgi ayirmaga almashtirsak, quyidagiga ega bo'lamiz [8]:

$$P_{(N)} = D_{(N)} \Delta C_{(N)} = D_N (C'_N - C''_N).$$

Lekin (5.63) tenglamaga muvofiq $C_{(N)}$ kattalik p_{O_2} ga bog'liq:

$$C_{(N)} = K p_{N_2}^{1/2} p_{O_2}^{vN/4}.$$

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 bektiladi.

Marten pechida po'lat suyuqlantirishda ishlatiladigan shixta tarkibida 30% gacha qayta ishlanadigan cho'yan va 10–15% po'lat qirindisi, qolgani – po'lat temir-tersaklari va shaxsiy ishlab chiqarishdan qaytgan metall bo'ladi. Shixtani hisoblashda shu narsaga asoslaniladiki, bunda kremniy miqdori eng kam bo'lsin (u me'yoriga yetkazish va oksidsizlantirishda kiritiladi), marganes miqdori 1% ga 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. Shixtada uglerod miqdorining yuqori bo'lishi va qayta ishlanadigan cho'yanning uglerod bilan aniqlanadigan ulushi normal qaynash, oksidlanish davrida yetarli darajada jadal qaynashni ta'minlash uchun zarur.

Metall komponentlarining oksidlanishi shixta qizdirilayotgandayoc 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, shundan 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 gorelkalaridan 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), asosliliği – 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.

U 1 soatga yaqin davom etadi. Bu suyuqlantirish davrining oxirida fosfor miqdori 0,025% gacha pasayadi. $(\text{CaO})_4\text{P}_2\text{O}_5$ bilan boyitilgan shlak so'rib olinadi va pechga qaytadan ohak va boksit qo'shiladi.

Yangi shlakni hosil qilish ham bir soatga yaqin davom etadi. Qaynash kiritilayotgan ruda kislorodi yoki gaz fazasidan kislorodning shlak orqali uzatilishi hisobiga sodir bo'ladi. Yangi shlak hosil qilish tugagach, ruda kiritilmasdan sodir bo'ladigan *sof qaynash* deb ataluvchi qaynash boshlanadi. Bunda shlakdan asta-sekin temir ikki oksidi ishlab chiqiladi, desulfuratsiya uchun sharoitlar yaratiladi, shlakning asosliliği 2,2–3,5 ga yetadi va (1.34)–(1.35) reaksiyalar keta boshlaydi. Ularning ketishi uchun eng qulay sharoitlar oksidsizlanish davri boshida yuzaga keladi, u ikki bosqichda bajariladi.

Birinchi bosqichda uglerodning berilgan miqdoriga erishgach, vannada 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.

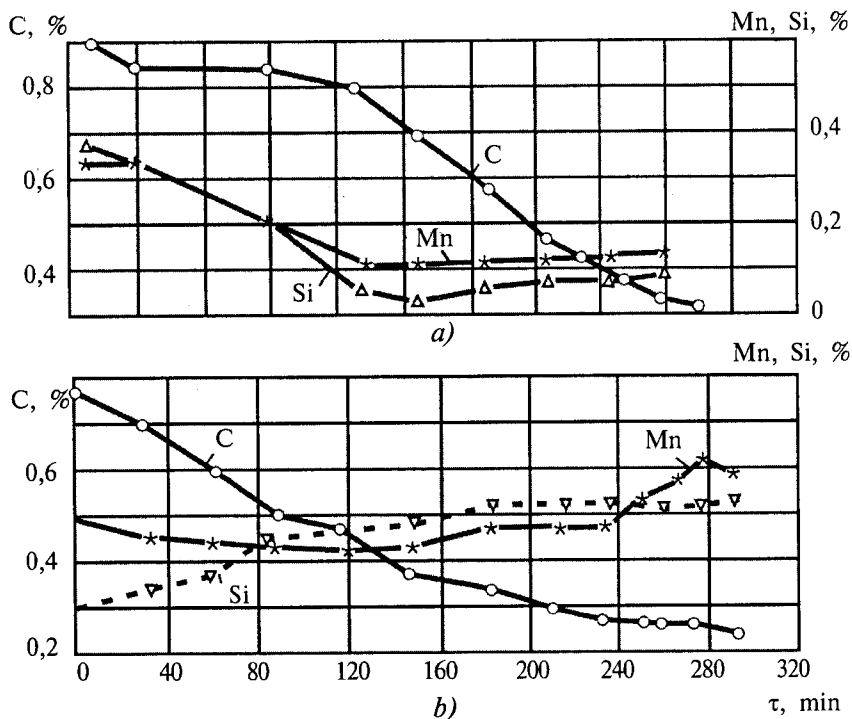
Ferroqotishmalar bilan oksidsizlantirish po'latning kimyoviy tarkibini talab etiladigan darajagacha yetkazish bilan birgalikda bajariladi. Legirlangan po'latlarni suyuqlantirishda legirlovchi komponentlarning bir qismi, masalan, nikel shixta bilan kiritiladi. Ferroxtrom ko'rinishidagi xrom birinchi oksidsizlantirish 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 fosforni 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, asosliliği ohaktosh qo'shib rostlanadi.

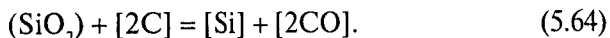
Kislotali jarayon uchun kremniy-qaytarilish reaksiyalarining o'tishi va shlakning oksidlash qobiliyatining pastligi xarakterlidir, shular tufayli metallidagi kislorod konsentratsiyasi ancha past bo'ladi.

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 qaytarilishi 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:



ya'ni kremniyning temir ikki oksidi bilan oksidlanish reaksiyasi o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Bundan tashqari, marganes qaytariladi:



Kremniy qaytariladigan jarayonda po'lat oksidsizlantirgichlar kiritilmagan holda qisman oksidsizlantiriladi. Po'lat pechdan chiqarilayotganda aluminii bilan oksidsizlantiriladi.

5.9. Konvertorda po'lat olish

Barcha po'lat suyuqlantirish jarayonlaridan farqli o'laroq, konvertorda 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.

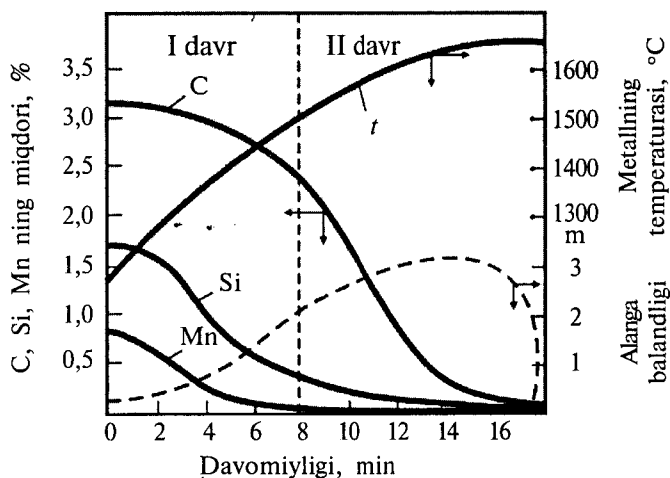
Havo metall bilan kontaktlashib, birinchi navbatda (1.16) reaksiya bo'yicha temirni oksidlaydi. Kremniy va marganes (1.19), (1.22) reaksiyalar bo'yicha kislorodda, shuningdek, temir ikki oksidi bilan (1.28), (1.29) reaksiyalar bo'yicha oksidlanadi. Metallning temperaturasi ko'tarila boshlaydi va (1.25) hamda (1.30) reaksiyalar bo'yicha uglerodning yonishi boshlanadi. Havo berib tozalashning bu davri konvertor og'zidan chala CO ning yonishidan hosil bo'ladigan alanga ajralib chiqishi bilan xarakterlanadi:



Metall va shlak tarkibini, shuningdek, metall temperaturasining o'zgarishi 68- rasmda ko'rsatilgan.

Havo berib tozalash oxirida alanga pasayadi, bu esa metallni 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 va (1.37) reaksiya bo'yicha oksidsizlantirish operatsiyalari bajariladi. Chiqarishdan oldin yoki chiqarilayotgan vaqtda ferrosilitsiy, so'ngra aluminium 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 jiddiy kamchiligidir.

Suyuq cho'yanni tagi ochilmaydigan konvertorda vertikal furma orqali 0,8–1,2 MPa bosim ostida beriladigan kislorod bilan tozalash mumkin. Bu konvertorning asosli futerovkasi oltingugurt va fosforni



68- rasm. Metallni konvertorda havo bilan puflashda kimyoviy tarkibining va temperaturasining o'zgarishi.

chiqarib yuborishga imkon beradi. Kislorodning qo'llanilishi jarayonni jadallashtiradi, po'lat temir-tersaklari qo'shishga imkon beradi, uning cho'yan tarkibiga bog'liq bo'lmashligini 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; 0,4–2,5 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-tersagining 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 ugle-rodli 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 0,2–0,3% yuqori bo'lsin. Yuklashga 3% ohak va 2% temir rudasi uzatiladi. Ular suyuqlantirilgandan keyin, darhol, fosfordan tozalaydigan shlak hosil qiladi, chunki (1.31)–(1.39) reaksiyalar shlakda FeO bo'lishini talab qiladi va nisbatan past temperaturalarda o'tadi. Shlak tarkibidagi fosfor ancha ortadi: suyuqlantirgandan keyin o'q u 1,5% ni (P_2O_5 ga qayta hisoblaganda) tashkil qiladi. Bu shlak chiqarib tashlanadi va pechga qaytadan ohak va ruda yuklanadi. Oksidlanish (1.28)–(1.30) reaksiyalar bo'yicha boshlanadi. CO pufakchalari shlakni ko'pirtiradi, uni uzluksiz chiqarib (yo'qotib) turgan ma'qul. Oksidlanishning boshlang'ich davrida defosforatsiya davom etishi tufayli shlak qaytadan so'rib olinadi. Oksidlanish davrida so'rib olinadigan shlak tarkibida, odatda, 40–50% CaO, 10–25% SiO_2 , 12–15% FeO, 4–10% Mg, 0,5–10% MnO, 2–4% Al_2O_3 , 0,5–2% P_2O_5 bo'ladi.

Oksidlanishni jadallashtirish uchun ba'zan suyuq metall 1 MPa ga yaqin bosim ostida kislorod bilan tozalanadi. Kislorod 15–25 mm diametrli truba orqali kiritiladi, u tashqi tomondan shamot trubkalar bilan himoyalangan (ular po'lat trubaga kiydiriladi). Ruda jarayonida uglerodning yonib tugash tezligi soatiga 0,3 dan 0,6% gacha va kislorod berib tozalashda soatiga 1,5% gacha ortadi.

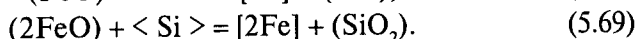
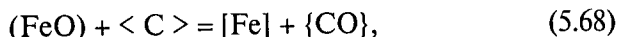
Qaytarish davri desulfuratsiyani, temperatura va po'lat tarkibini berilgan qiymatlargacha yetkazishni va oksidsizlantirishni o'z ichiga oladi. Desulfuratsiya davrida pechga qaytadan ohak kiritiladi. Bunda (1.34)–(1.35) reaksiyalar sodir bo'ladi. Desulfuratsiya uchun shlak hosil qiluvchi aralashma tarkibida 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 sovitilgandan so'ng poroshok bo'lib sochiladi.

Shlak tarkibidagi (29- jadval) temir oksidlarining miqdori ancha kamayadi, chunki ular uglerod va kremniy bilan qaytariladilar.

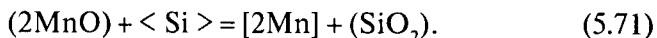
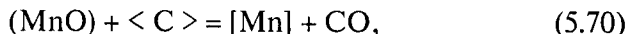
29-jadval

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

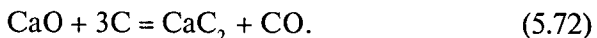


Bunda $[\text{FeO}] \rightleftharpoons (\text{FeO})$ muvozanat buziladi va temir ikki oksidi metallardan shlakka o'tadi va shlakning oksidsizlanishi vaqti-vaqti bilan takrorlanadi. Marganes oksidlari ham qaytariladi:

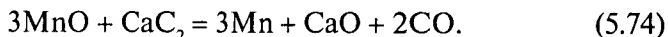
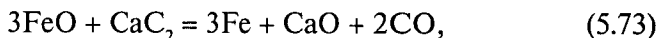


Qaytarish davri vaqtida po'lat berilgan kimyoviy tarkibgacha yetkaziladi, shundan keyin u pechdan chiqariladi va aluminiy bilan oksidsizlantiriladi. Metallning chiqarilishini shlak bilan birgalikda amalga oshirish mumkin. Bunda metall va shlakning aralashishi hisobiga qo'shimcha desulfuratsiya sodir bo'ladi. Shunday qilib, oltingugurt miqdorini 50% ga pasaytirish mumkin [43].

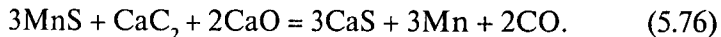
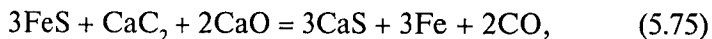
Oq shlakning turlaridan biri karbidli shlakdir (29- jadvalga q.). U koks birmuncha ortiq bo'lganda hosil bo'ladi. Uni yaratish uchun oksidlovchi shlak so'rib olingandan keyin metall massasining 3–4%i miqdorida ohakli shlak (CaO va CaF_2 mos ravishda 80% va 20%) hosil qilinadi, so'ngra shlakka metall 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'lmasligi 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]. Ishlab chiqarish tajribasi shuni ko'rsatadiki, bunda zararli aralashmalar to'planmaydi. Havodan azotni jadal yutadigan yuqori marganesli po'latlar bundan istisnodir, lekin bu po'latlar uchun azot foydali komponent ekan. Yoy pechida aralashmalarni oksidlamasdan po'latni suyuqlantirish texnologiyasi xuddi oksidlashdagidek bo'ladi. U barcha asosiy operatsiyalarni o'z ichiga oladi, faqat oksidlovchi shlaklar hosil qilinmaydi, suyuqlantirish shlaki esa chiqarib tashlanadi va oksidsizlantirishni yo oq shlak ostida, yo ferroqotishmalar yordamida amalga oshiriladi. Ba'zan jarayonni jadallashtirish uchun vanna kislorod berib tozalanadi. Lekin ushbu jarayon endi aralash jarayon hisoblanadi.

Kislotali jarayon xususiyatlari. Bu jarayon eng ko'p tarqalgan 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, kvars 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 aluminii bilan amalga oshiriladi.

Misol sifatida, po'latni ДС5МТ tipidagi kislotali elektr yoy pechda suyuqlantirishni ko'rib chiqamiz. 25Jl 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'yiqli joylar, 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 bekitiladi 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» deydilar), 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 miqdoriga erishilganda vannaga $\Phi C45$ ferrosilitsiy qo'shiladi. Bunda vanna yaxshilab aralashtiriladi. 10–15 minutdan keyin vanna ikkinchi marta aralashtiriladi va oksidsizlanish hamda temperaturani aniqlash uchun namuna olinadi. Kremniy bilan yaxshi oksidsizlantirilgan va stakanga quyilgan metall namunasi uchqunlanmasligi kerak. Qotayotganida metall kichrayishi kerak. Metallni chiqarishdan oldin vannani obdan aralashtirish zarur, yana bir marta oksidsizlanishi va temperaturaga 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 aluminiy 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 pechgga 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 boʻladi. Fosforning qaytarilishini oldini olish uchun shlak chiqarib yuboriladi va yangisi hosil qilinadi.

Shixta toʻla suyuqlantirilgandan keyin isteʼmol qilinadigan quvvat eng yuqori qiymatidan 30–40% gacha pasaytiriladi, bunda oʻta qizishga yoʻl qoʻymaslikka harakat qilish lozim. Metallning analizi olingandan keyin oksidsizlantirish va legirlash boshlanadi.

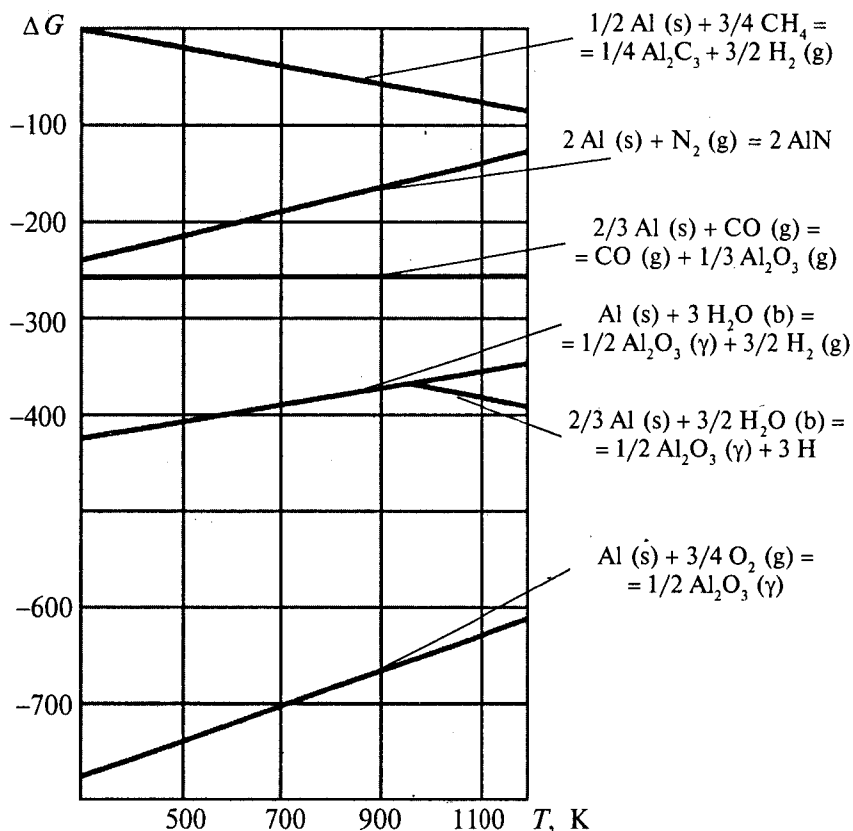
Induksion pechlarda poʻlat suyuqlantirishda ferroqotishmalar maʼlum tartibda qoʻshiladi. Ferrovolfram, ferroxrom va ferromolibdenning asosiy miqdori yuklagichga kiritiladi. Korrektirovka qilish uchun bu qotishmalar chiqarishgacha 20 minutdan ortiq kechiktirmay tigelga yuklanadi, bu esa ularning suyuqlanishi va legirlovchi elementning metall hajmi boʻyicha bir tekis taqsimlanishini taʼminlaydi. Ferromargenes, ferrosilitsiy va ferrovanadiy metallni chiqarishga 10 min qolganda qoʻshiladi. Kuyindini kamaytirish maqsadida ferrovanadiy eng soʻnggi navbatda qoʻshiladi. Metallga aluminiiy va titan bevosita chiqarish oldidan yoki kovshga kiritiladi. Legirlovchi elementlarning kuyishi poʻlatning tarkibi va ularni kiritish usuliga bogʻliq. 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 yoʻqotiladigan holda poʻlatning oʻrtacha va yuqori legirlangan markalarini suyuqlantirishga imkon beradigan tejimli suyuqlantirish agregatlaridan iboratdir.

5.11. Aluminiiy qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Aluminiiy nisbatan oson suyuqlanadigan va yengil metall ($t_{cr} = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$, zichligi $2,7 \cdot 10\text{ kg/m}^3$) boʻlib, yuqori darajada issiqlik oʻtkazuvchanlikka, katta yashirin suyuqlanish issiqligiga ega.

Suyuqlantirish vaqtida aluminiiy gaz fazasining komponentlari bilan (1.42–1.46) tipdagi reaksiyalar boʻyicha reaksiyaga kirishadi. Bu reaksiyalar uchun ΔG ning qiymati manfiy zonada boʻladi (69- rasm), yaʼni barcha bu reaksiyalar chapdan oʻng tomon oʻtadi. Sodir boʻlish ehtimoli eng katta boʻlgan reaksiya (1.42) dir: uning uchun ΔG ning qiymati 600 dan 800 kJ/mol gacha zonada boʻladi. (1.45) reaksiyaning boʻlish ehtimoli juda kam. (1.44) reaksiya 350 dan 420 kJ/mol gacha intervaldagi ΔG ga ega boʻladi. Binobarin, suyuqlantirilgan holatdagi aluminiiy 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-sirkoniyligatura (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

rivojlanishi mumkin, lekin Al_2O_3 pardasi futerovka sirtini o'rab olib, uni himoya qilishi tufayli u tormozlanishi mumkin. Biroq futerovka ishchi bo'shlig'ini parda bosib qolish muammosi vujudga keladi.

Suyuqlanmalarining fluslar va qo'shimchalar bilan o'zaro ta'siri aluminij qotishmalarini tozalash bilan bog'liq.

Tozalash. Aluminij qotishmalarini suyuqlantirishda pechda tozalash usuli ham, turli usullar bilan pechdan tashqarida ishlov berib tozalash ham qo'llaniladi. Aluminij qotishmalarini eng ko'p tarqalgan 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 eng kam gigroskopiklikka ega bo'lishi, metall sathi bo'yicha tekis qatlam bo'lib joylashishi va shlak olinayotganda uning yuzasidan oson ajralishi 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 (30- jadval).

30- j a d v a l

**Aluminij qotishmalarini suyuqlantirishda
foydalaniladigan fluslar**

Flus №	NaCl	KCl	Na_3AlFe_6	CaF_2	MgF_2	$\text{MgCl} \cdot \text{KCl}$	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 kovshi yoki tigelidagi suyuqlanma yuzasiga kiritish mumkin. Lekin bu kam samarali, chunki ular bu holda qoplama fluslar rolini o'ynaydi va suyuqlanmani faqat qisman tozalaydi. Suyuqlanmaga ular qalpoq (9, 10- rasmlarga q.) yordamida kiritilsa, ancha samarali bo'ladi. Masalan, ZILda bu usul bilan 10, 11- suyuq fluslar kiritiladi [34].

Universal fluslar alohida gruppani tashkil etadi. Ularga ishlov berish qotishmani tozalash va modifikatsiyalash operatsiyalarini birga bajarishga imkon beradi (12- va 13- fluslar). Ularning tarkibida, odatda, NaF qatnashadi, flusning modifikatsiyalovchi ta'siri NaF ning bo'lishi bilan tushuntiriladi. Flus tarkibidagi NaF miqdori 60% ga yetishi mumkin.

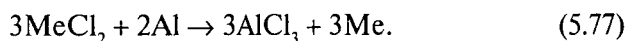
Xlorini gazlar bilan tozalash operatsiyasi 5–20 min davomida 720–730 °C temperaturalarda bajariladi. Bunda inert gaz sarfi ishlov berilayotgan metall massasidan 0,3–1% ni tashkil qiladi. Qotishmani inert gaz bilan ishlash jarayoni metallda erigan gazning pufakchalarda diffuziyanishi, shuningdek, pufakchalarning suyuqlanmada bo'lgan boshqa muallaq metallmas aralashmalarga nisbatan flatatsion ta'siriga asoslangan.

Suyuqlanmani xlor bilan ishlash yuqori darajada tozalashni ta'minlaydi. 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 suyuqlanmalarining xloridlar (xlorli rux, xlorli marganes, geksaхloreтан, 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. Geksaхloreтан zichligi $2,09 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ va suyuqlanish temperaturasi past bo'lgan (186,5 °C) organik moddadir. Geksaхloreтан 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 geksaхloreтан va xlorli bariy bo'ladi (massasidan 10 %).

Suyuqlanmada xlorli birikmalar aluminiy bilan o'zaro ta'sirlashadi:



Pufakchalar ko‘rinishidagi xlorli aluminiy suyuqlanmadan o‘t-yotganida metallmas aralashmalarni o‘zi bilan olib ketadi. Bundan tashqari, suyuqlanmadagi vodorod pufakchaga diffuziyalanadi, natijada metallning metallmas aralashmalaridan tozalanishi ta‘minlanadi.

Aluminiy qotishmalarini tozalash filtratsiyalab ham amalga oshirilishi mumkin. Bu usul metall—filtr ajralish chegarasida suyuqlanmaning 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. Aluminiy qotishmalarini tozalash uchun vakuum, ultratovush va boshqalardan ham foydalaniladi.

Aluminiy qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasi. Shixta materiallari 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 temperaturasiga yaqin bo‘lishi kerak (31- jadval).

Ligaturalarni istalgan suyuqlantirish pechida tayyorlash mumkin. Qiyin eriydigan ligaturalar (Ti, Be, Zr, Cr) grafit tigellarda suyuqlantiriladi. Ligatura quyidagi tartibda tayyorlanadi: avval aluminiy suyuqlantiriladi, so‘ngra uncha katta bo‘lmagan porsiyalar bilan ma‘lum temperaturali legirolovchi qo‘shilma kiritiladi (31- jadval), so‘ngra suyuqlanma aralashtiriladi, bu esa legirolovchi qo‘shilmalarning tez o‘zlashtirilishiga yordam beradi, suyuqlanmani oksidlanishdan saqlaydigan qoplama fluslar kiritiladi, ya 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 temperaturalarda 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 aluminiy ligaturalarining xarakteristikasi

Ligatura	Legirlovchi komponent miqdori, %	Temperatura, °C	
		Ligaturaning suyuqlanishi	Legirlovchi qo'shilma 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

Aluminiy 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

u kanalli induksion mikserga qayta quyiladi. Suyuqlanmani atmosfera bilan o'zaro ta'sirlashishdan №3 tarkibli qoplama flus vositasida himoya qilinadi (30- jadvalga q.).

Ko'pchilik aluminiy qotishmalari ikki komponentli shixta: quyma ko'rinishidagi aluminiy qotishmasi va xususiy ishlab chiqarishdan qaytgan metall asosida suyuqlantiriladi. Masalan, ZILda tarkibida 9% 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 850 °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-sirkoniyan), 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 qoliplarga

quyiladi. Qotishmani qoliplarga quyish quyiladigan buyum devorlarining qalinligiga qarab 660–770 °C temperaturalar oralig'ida bajariladi.

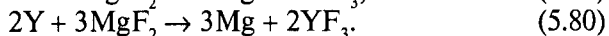
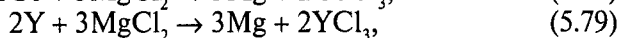
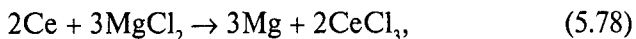
Tarkibida 3–4% dan ortiq magniy bo'lgan aluminiy-magniyli qotishmalar kislorod va vodorodni yutishgagina moyil bo'lmasdan, balki havodagi azot va pech atmosferasi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Azotning magniy bilan reaksiyaga kirishi natijasida nitridlar hosil bo'ladi. Nitridlar hosil bo'lishining oldini olish uchun maxsus fluslar ishlatiladi. Ularning tarkibida boshqa xloridlar bilan bir qatorda magniy xloridi bo'ladi, u magniyning 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 qotishmalari 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 qotishmalarni 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 ishlov 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 ФЛ1 (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 metalldan 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 va qo'shimchalar bo'lgan qattiq fazaning kristallizatsiyalanishi va cho'ki-shi sodir bo'ladi.

Filtratsiya magniy qotishmalarini aralashmalardan tozalashda yaxshi natijalar beradi. Shu maqsadda *donador* va *to'rsimon* filtrlardan foydalaniladi. Eng nafis tozalashni donador filtrlar ta'minlaydi. Ularda filtrlovchi materiallar sifatida magnezit, grafit, koks va ular bilan 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 tarkibidagi 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- rasmga q.) yordamida bajariladi. Mayda quymalar tigelli statsionar pechlarda suyuqlantiriladi. Yirik 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 namunalari olinadi, shundan keyin metall quyish uchun transportirovka qilinadi. Metallni quyishda uni flus bilan ifloslantirmaslik uchun tigelda suyuqlanmaning 20–30% hajmi qoldiriladi. Qolgan iflos metall izlojitsa (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

qotishmalarni tayyorlash). Birinchi holda, quyma ko'rinishidagi magniy qotishmalari shixta materiallari bo'lib xizmat qiladi. Ular pechga qaytarilgan metall bilan birgalikda yuklanadi, atmosfera ta'siridan himoyalangani, suyuqlantiriladi, qotishma talab etilgan temperaturagacha yetkaziladi, so'ngra tozalanadi va modifikatsiya qilinadi, shundan keyin quyishga kirishiladi.

Ikkinchi holda, birlanchi metallar va ligaturalar shixta materiallari bo'lib xizmat qiladi. Shu sababli, oldin shixta hisoblab chiqiladi, so'ngra ligatura tayyorlanadi va dastlabki qotishma suyuqlantiriladi. Uni tayyorlash uchun tozalangan va 500 °C gacha qizdirilgan tigelga 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 kapgir 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 ajralishiga 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 izlojnitsa'(qolip)larga quyiladi.

Ishchi 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 БИ 2 bilan yuviladi. Magniy qotishmalari ma'lum temperaturada quyiladi: МЛ 2 qotishma 720–800 °C da; МЛ 5, МЛ 6 – 690–780 °C da va МЛ 3, МЛ 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 magniy qotishmasining oqimi oltingugurt yoki oltingugurtning bor kislotaga aralashmasi bilan changlatiladi (1 : 1).

5.13. Rux qotishmalarini suyuqlantirish

Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Rux oson eriydigan 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 bilan o'zaro ta'sirlashganda $\text{ZnO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2$ dan iborat zich himoya pardasi bilan qoplanadi. Temperatura ortgan sayin pardaning himoyalovchi qobiliyati pasayadi va ruxning (1.42)–(1.44) reaksiyalar bo'yicha oksidlanishi uchun qulay sharoit yaratiladi.

Oksidlanishni kamaytirish uchun rux va uning qotishmalari himoya yoki sust qaytaruvchi atmosferada suyuqlantiriladi. Suyuqlantirayotganda himoya atmosferasi sifatida azotdan foydalaniladi. Havo so'rilishiga yo'l qo'ymaslik uchun pech bo'shlig'ida azot bosimi 0,12–0,15 MPa chegarasida saqlab turiladi. Suyuqlantirish suyuqlanma temperaturasi 440–480 $^{\circ}\text{C}$ da olib boriladi. O'ta qizdirish 480 $^{\circ}\text{C}$ dan ortmasligi kerak, chunki bu temperaturada jadal oksidlanish va qotishmaning gazlar bilan to'yinishi boshlanadi, cho'yan yoki po'lat tigelda suyuqlantirilganda esa qotishma temirga to'yinishi mumkin.

Tozalash. Rux qotishmalari gazlar aralashmalaridan va metallmas qo'shilmalardan rux xloridi, aluminiy xloridi, geksaxloretan yoki tuzlar kompleksi yordamida tozalanadi. Rux qotishmalari zararli metall 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 qotishmalarini 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-

madan 50% va ishlab chiqarishdan qaytgan materiallardan 50% (litniklar, brakka chiqarilgan quymalar, past sifatli chiqindilarning qayta suyuqlantirmalari) ishlatiladi. Zarur bo'lganda qotishma magniy bilan qo'shimcha shixtalanadi. Shixtaning barcha komponentlari chet aralashmalar (namlik, moy va boshqa qo'shilmalar) dan tozalanadi. Tigelning uchdan bir sig'imini to'ldiradigan suyuq qotishma chiqib ketishining oldini olish uchun shixtani ehtiyotlik bilan yuklash kerak.

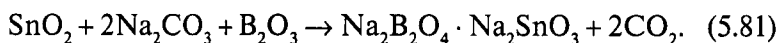
Vannaga dastlab yengil vaznli shixta (qaytarilgan mayda qotishma), so'ngra quyma ko'rinishidagi materiallar yuklanadi. Suyuqlantirish jarayoni jadal olib boriladi. Metall eritiladi va 440–460 °C gacha o'ta qizdiriladi, bundan keyin shlak olib tashlanadi va ekspress-analiz uchun namuna olinadi. Zarur 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% geksaxloretan, 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

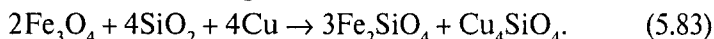
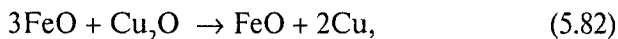
Jarayonning fizik-kimyoviy xarakteristikasi. Misning suyuqlanish temperaturasi 1083 °C, jezniki 950 dan 1050 °C gacha, bronzalarni quyish temperaturasi 1150 dan 1200 °C gacha. O'ta qizdirish qotishmalarining gazlar bilan to'yinishiga olib keladi, qotish jarayonida gazlarning jadal ajralib chiqishi quymalarning g'ovakli bo'lishiga olib keladi, ularning zichligi va germetikligini yomonlashtiradi.

Qotishmalarining 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'zilar 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.

Qotishmalarining 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:

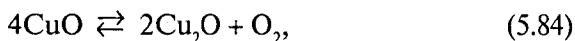


Temir qotishmani kuprit bilan oksidlab tozalash yo'li bilan chiqarib tashlanadi:

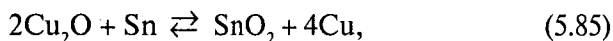


Bronzalarni suyuqlantirishda talab etilgan kimyoviy tarkibni ta'minlash alohida qiyinchilik tug'dirmaydi. Qotishmalarning gazlarga minimal to'yinishini ta'minlash murakkabroq bo'ladi, chunki gazlar suyuqlantirish jarayonida suyuqlanma tomonidan jadal yutiladi va g'ovakliklarning paydo bo'lishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun suyuqlanmani himoyalovchi qoplam tanlash alohida ahamiyatga ega bo'lib qoladi. Himoya qotishmani oksidlanishdangina saqlaydi, lekin suyuq metallda erigan gazlarni chiqarib yubormaydi.

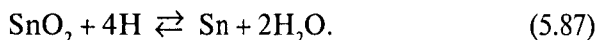
Tozalash. Vodorodni suyuqlanmadan chiqarib yuborishning bir nechta usullari mavjud: vakuumdan foydalanish, metall vannasini kislorod bilan boyitish va suyuqlanmaga degazatsiyalovchi qo'shimchalar kiritish. Vakuumdan foydalaniladigan bo'lsa, qimmatbaho asbob-uskunalar talab etiladi, shuning uchun bu usul 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:

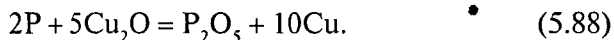


Suyuqlanmadan kislorodni chiqarib yuborish uchun oksidsizlantirishdan foydalaniladi. Fluslar bilan oksidlab tozalash 1180–1200 °C da amalga oshiriladi. Bunda oksidlagichlar sarfi metall massasidan 0,5–1,0% ni tashkil qiladi.

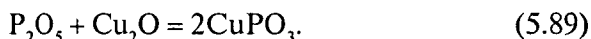
Mis qotishmalarini qo'rg'oshin va qalay bilan suyuqlantirishda keng ko'lamda ishlatiladigan oksidsizlagichlar jumlasiga fosfor kiradi. Tarkibida rux, aluminiy, berilliy va kremniy bo'lgan mis qotishmalari

berilliy bilan oksidsizlantiriladi, chunki bu elementlarning oksidlari fosfor 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 ($t_{er} = 563\text{ }^{\circ}\text{C}$) fosfor besh oksidi suyuqlantirilgan metall vannasining yuzasiga ko'tariladi va suyuqlantirilgan metallardan 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 aluminliy bronzalardan zararli aralashmalarni, chunonchi, aluminliy hamda kremniyni chiqarib yuborish uchun foydalaniladi. Bu maqsadlar uchun, masalan, tarkibida 33% $Na_2B_4O_7$, 33% Cu_2O va 34% SiO_2 bo'lgan flus ishlatiladi.

Qalayli bronzalarning kompleks oksidsizlantirgichlari sifatida litiy 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 diffuziyalanadi. 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 neytral gazlardan qolishmaydi.

Qotishmaning xlor bilan tozalanishi uning aktivligi hisobiga sodir bo'ladi. Metallda erigan gazlar bilan reaksiyaga kirishadigan xlor 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 tozalangandan keyin gaz pufakchalarini yo'qotish uchun u 10–15 min 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'rlardan (masalan, molibdendan) ham foydalaniladi. Suyuqlanmaga kompleks ravishda ham ishlov berish mumkin. 1250 °C da 10 min 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'rib chiqamiz. Pechga aluminiyning hisob miqdoridan taxminan $\frac{2}{3}$ qismi yuklanadi, u suyuqlantiriladi va $800-1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturagacha o'ta qizdiriladi, shundan keyin $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan mis porsiya-porsiyalab yuklanadi. Qotishma yaxshilab aralashtiriladi va barcha mis suyuqlangandan keyin aluminiyning qolgan qismi kiritiladi, qaytadan aralashtiriladi va $720-750\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha tutib turiladi, so'ngra suvsizlantirilgan xlorli rux yoki xlorli marganes bilan tozalanadi. $670-700\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturada tayyorlangan ligatura $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan cho'yan izlojnitsaga 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 u $1130-1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $200-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $1050-1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

IJT-2,5 markali pechda JIC 59-1JI jez quyidagi tarzda suyuqlantiriladi. Pechda oldin suyuqlantirib olingan qotishmadan 30% (botqoq) qoldiriladi. Iflosliklar, namlik, moy va boshqa chet qo'shimalardan 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 $960-980\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha yetkaziladi, shlakdan tozalanadi va ekspress-analiz qilish uchun namuna olinadi. Zarur bo'lganda rux bilan shixtovka qilinadi. Tayyor bo'lgan qotishma $700-800\text{ }^{\circ}\text{C}$ gacha qizdirilgan kovshga quyiladi va qoliplarga quyish uchun transportirovka qilinadi.

Qo'sh jez, masalan, Л 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 xlorli 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 choralari 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 kvarts 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'lakchalari 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 silikokalsiy ishlatilishi ham mumkin. U metall massasidan 0,05–0,1% miqdorda kiritiladi. Murakkab legirlangan qotishmalarni suyuqlantirib olishda 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 saqlab turiladi. So'ngra shlak tigel yoki kovshga magnezit qo'shib (suyuqlanma 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'shimmalar juda kam bo'lgan holda yuqori mexanik hamda maxsus xossali qotishmalar olishga imkon beradi.

Induksion-vakuum pechda suyuqlantirilganda (46-f rasim) 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. Tigel shixta materiallari bilan ma'lum ketma-ketlikda, mumkin qadar, zich va keskin zarbasiz yuklanadi. Tigel 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 tigelga uzatiladi. Yuklangandan so'ng kamera bektiladi 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, tigel 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 aluminium 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 kristallizatsiyalanganida 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. Aluminium, xrom, mis, marganes, vanadiy, sirkoniy, temir va kremniy sof holatda kiritiladi. Aluminiumli ligaturalar binafsha 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 aluminium bo'ladi).

Garnisaj pechidagi ish jarayonini ko'rib chiqamiz (47- *a* rasm). Pech yonidagi olingan qopqoq qo'yiladigan maxsus stendda elektrod tutgichga sarflanadigan elektrod biriktiriladi. Qopqoq stenddan kran bilan olinadi va vakuum kamerasiga o'rnatiladi. Bunda sarflanadigan elektrod tigel o'qi bo'ylab joylashtiriladi. Pechda vakuum yaratiladi, elektrod tutgich va tigelga o'zgarmas tok bilan ta'minlash manbayidan kuchlanish beriladi, elektrod qisqa tutashgunga qadar pastga tushiriladi va yoy razryadi uyg'otiladi. Kichik quvvatda elektrod va tigel biroz qizdiriladi, so'ngra yoy quvvati ishchi parametrlargacha ko'tariladi va elektrod eritiladi.

Suyuqlantirishda chiqindilardan (30% gacha) va xususiy ishlab chiqarishdan qaytarilgan metallardan (litnik sistemasi elementlari, hovuraklar, quymalar braki) foydalaniladi. Sinchiklab tozalangan chiqindilar tigel tagiga yuklanadi, so'ngra elektrod o'rnatiladi. Pech germetizatsiya qilinadi va 1,33 Pa bosimgacha vakuum yaratiladi. Qizdirish past rejimlarda bajariladi. Suyuqlantirish 14–35 kA tok kuchida va 30–50 V kuchlanishda amalga oshiriladi. Avtomatik rejimda 60–80 mm yoy uzunligi saqlab turiladi. Suyuqlantirish jarayonida suyuqlanma solenoid yordamida aralashtiriladi. Qotishmani suyuqlantirish tezligi 8–15 kg/min ni tashkil qiladi. Zarur bo'lgan hajm suyuqlantirilib olingandan keyin metall talab etilgan temperatura-gacha o'ta qizdiriladi va vakuumda qoliplarga quyiladi.

Titan va uning qotishmalarini suyuqlantirish jarayonida elementlarning kuyishi sodir bo'ladi: 0,1–0,2% gacha Ti, 2,0–2,5% gacha Al va 10–15% gacha Mn. Ikkinchi qayta suyuqlantirishda sodir bo'ladigan barcha yo'qotishlar qotishma massasidan 0,3–0,6% ni tashkil qiladi.

Elektron-nur pechlarida (47- *b* rasm) titan chuqur vakuumda (0,013 Pa) suyuqlantiriladi. Metallning suyuqlanishi elektronlar kinetik energiyasining issiqlik energiyasiga o'tishi hisobiga amalga oshiriladi. Katodi volfram yoki tantaldan tayyorlangan, 2000–2500 °C gacha qizdirilgan elektron pushka elektronlar manbayi bo'lib xizmat qiladi. Elektronlar oqimi magnit linzalari yordamida to'planadi va yo'naltiriladi. Bu tipdagi suyuqlantirish qurilmalari suyuqlanmani talab etilgan temperaturagacha qizdirishga va shu temperaturada saqlab turishga imkon beradi. Lekin chuqur vakuum yaratish zarurligi va suyuqlantirish jarayonida ba'zi bir oson eriydigan elementlarning jadal bug'lanishi titanni suyuqlantirish uchun elektron-nur pechlarining qo'llanilishini cheklaydi.

Titan va uning qotishmalarini suyuqlantirishda portlash xavfsizligini ta'minlash uchun alohida ehtiyot choralarini ko'rish talab qilinadi. Suyuqlantirish qurilmalarini ularni vakuum nasoslaridan ajratib qo'yadigan va sovitish uchun beriladigan suv miqdorini kamaytiruvchi, tez ishlaydigan avtomatik sistema bilan ta'minlash zarur. Pechlarni masofadan boshqariladigan maxsus kameralarda joylashtirish lozim.

5.17. Qiyin eriydigan metallar asosida tayyorlanadigan qotishmalarni suyuqlantirish

Qiyin eriydigan metallar jumlasiga xrom, vanadiy, niobiy, molibden, tantal, volfram va boshqa metallar kiradi. Metallarning bu guruhini faqat yuqori suyuqlanish temperaturasi (1860–3400 °C) bilan emas, balki suyuqlantirilgan holatda kislorod, vodorod, azot, uglerod va olovbardosh materiallar bilan oʻzaro taʼsirlashganda katta kimyoviy aktivlikka ega boʻlishi bilan ham xarakterlanadi. Shu sababli qiyin eriydigan metallar va ularning qotishmalari vakuumda yoki neytral gazlar muhitida suyuqlantiriladi.

Suyuqlantirish uchun vakuum-yoy, elektron-nur va plazma pechlaridan (47- rasimga q.) foydalaniladi. Suyuqlanmaning metallmas aralashmalar bilan biroz ifloslanishiga yoʻl qoʻyiladigan hollardagina induksion-vakuum pechlardan foydalaniladi. Tigellarni tayyorlash uchun oʻtga chidamli materiallar sifatida sirkoniy ikki oksidi, yuqori magnezitli oʻtga chidamli materiallar va aluminiy oksididan foydalaniladi.

Qiyin suyuqlanadigan metallar (niobiy, molibden, volfram)ni suyuqlantirishda koʻp umumiylik bor, lekin ular elektrodning suyuqlanish tezligi va sifati yaxshi metall olish uchun zarur boʻladigan siyraklanish darajasi bilan tafovutlanadi. Vakuum-yoy va garnisaj tigelli elektron-nur pechlarida suyuqlantirish juda keng koʻlamda qoʻllaniladi.

Shixta materiallari sifatida poroshok metallurgiyasi metodi bilan tayyorlanadigan shtabiklar (shtabik oʻlchami 16×18×500 mm) ishlatiladi. Sarflanadigan elektrod hosil qilish uchun shtabiklar 1,5–2,5 m uzunlikkacha flus qatlami ostida uchma-uch qilib payvandlanadi, qumqayroq bilan tozalanadi hamda 4–12 donadan (suyuqlantirish agregatining quvvatiga qarab) paket qilib yigʻiladi. Polosalar yoki boʻlakchalar koʻrinishidagi legirovchi elementlar sarflanadigan elektrodlanga ulanadi. Qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish jarayoni titan qotishmalarini suyuqlantirish jarayoniga oʻxshash boʻladi.

Niobiy vakuumda, shuningdek, argon yoki geliy atmosferasida suyuqlantiriladi. Qotishma uglerod, seriy yoki ittriy vositasida oksidsizlantiriladi. Molibden va uning qotishmalari shunga oʻxshash usulda suyuqlantiriladi. Oksidsizlantirish uglerod yoki aluminiy vositasida bajariladi.

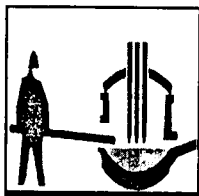
Qiyin suyuqlanadigan metallarni elektron-nur pechlarida suyuqlantirish — eng istiqbolli suyuqlantirish usullaridan biridir. Bu usul vakuum-yoy va induksion usullarga nisbatan afzalliklarga ega: elektron-nurlar yuqori darajada bir joyda toʻplangan isitish energiyasini olishga, suyuqlantirish jarayonini keng chegarada boshqarishga, istalgan koʻrinishdagi shixta komponentlarini ishlatish va qotishmaning tigel

materiali bilan ifloslanishiga yo‘l qo‘ymaslikka imkon beradi, shuningdek, kichik suyuqlantirish tezligi va chuqur vakuumda suyuqlantirilgan metallni o‘ta qizdirishga imkon beradi.

Elektron-nur pechlarida suyuqlantirish niobiy, molibden va ular asosida tayyorlanadigan qotishmalar, shuningdek, boshqa metallardan quymalar olishga imkon beradi, chunki u suyuq vannada fizik-kimyoviy jarayonlarning o‘tishi va qiyin suyuqlanadigan metallarning oksidsizlanishi 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 suyuqlantirish metall tarkibidagi zararli aralashmalar (kislorod, azot, vodorod va metallmas qo‘shilmalar) miqdorini sezilarli darajada kamaytirishga imkon beradi, bu esa metall sifatini ancha yaxshilaydi.

Qiyin suyuqlanadigan metallarni suyuqlantirish uchun plazma pechlari ham ishlatiladi.



QUYMA QOTISHMALARGA SUYUQ HOLATDA ISHLOV BERISH

6.1. Tozalash

Tozalash jarayonlarining fizik-kimyoviy asoslari. Tozalashning termodinamik shart-sharoiti — aralashmani chiqarib yuborish reaksiyasida 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 keskin kamayadi va ular suyuqlanmadan ajralib chiqa boshlaydi. Ya'ni mexanizm usul mohiyatining negizida va uning termodinamik xarakteristikasiga bog'liq. Masalan, desulfuratsiya shunga asoslanganki, desulfuratsiya reaksiyasining natijasida hosil bo'ladigan kalsiy sulfidi barcha 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- a rasmda ichida V hajmni egallaydigan 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 aralashmalar massasi Fik qonuni bo'yicha aniqlanadi:

$$-\frac{dM_{i(\tau)}\omega^2}{d\tau} = -k \cdot \Omega (K_i - K_i^\omega), \quad (6.1)$$

yoki

$$\frac{dI_{i(\tau)}}{d\tau} = -\beta \cdot \Omega (C_i - C_i^\omega), \quad (6.2)$$

bu yerda: $M_{i(\tau)}$ — τ vaqt ichida chiqarib yuborilgan i -komponent massasi, kg; k — massa uzatish koeffitsiyenti, $\text{kg/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \%$; K_i va K_i^ω — hajmda va ajralish sirtida i - aralashma konsentratsiyasi, massadan % hisobida; Ω — ajralish sirti yuzasi, m^2 ; I_i — vaqt τ_0 ichida chiqarib yuborilgan i - komponent moddalari miqdori, mol; β — massa uzatish koeffitsiyenti; C_i va C_i^ω — i - komponent konsentratsiyasi, mol/m^3 .

Tozalash jarayonining bunday tipi *kinetik tip* deb atalgan [31].

Amaliy hisoblashlar uchun (6.1) va (6.2) ifodalarni $\left(1 - \frac{C^0}{C}\right) = \text{const}$ deb qabul qilib, soddalashtirish mumkin. U holda:

$$\frac{dI_{i(\tau)}}{d\tau} = -\beta^e \cdot \Omega \cdot C_i. \quad (6.3)$$

$V = \text{const}$ da $0 - \tau_t$ va $C_i^0 - C_i$ chegaralarida integrallagandan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz:

$$C_i = C_i^0 \exp\left(\beta^e \frac{\Omega}{V} \tau_t\right), \quad (6.4)$$

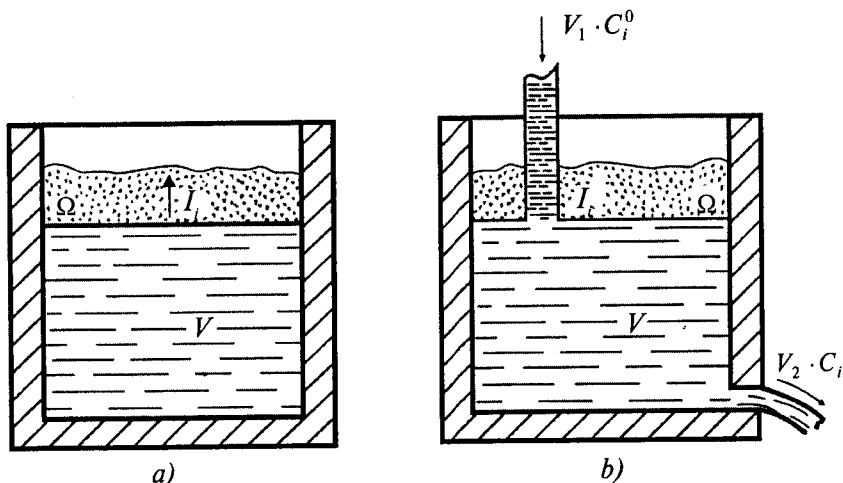
bu yerda: τ_t – tozalash vaqti, s; C_i^0 – i - komponentning boshlang'ich konsentratsiyasi, %.

Oqim massasini kg/s da ifodalab $\left(M_i = \frac{M_{i(\tau)}}{\tau}\right)$, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{dM_{i(\tau)}}{d\tau} = -k^v \cdot \Omega \cdot K_i, \quad (6.5)$$

$$K_i = K_i^0 \exp\left(k^v \frac{\Omega}{M_0} \cdot \tau_t\right), \quad (6.6)$$

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 tip* deb atalgan [31]. U uzluksiz amalga oshiriladi, ya'ni metall uzluksiz tozalash sig'imiga — reaktorga tushib, o'zi bilan v_1 tezlikda C_i^0 aralashma oqimini olib kiradi va aralashmaning C_i qoldiq miqdorini olib, v_2 tezlikda 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 ega bo'lamiz:

$$\frac{C_i^0}{C_i} = 1 + \frac{\beta^e \Omega}{v}. \quad (6.9)$$

v/Ω nisbat solishtirma unumdorlik, ya'ni reaksiya sodir bo'ladigan yuza birligi 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 o'zgartirib 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:

$$N_i^{\omega} = N_i + \omega \cdot \Gamma_i, \quad (6.11)$$

bu yerda: Γ_i — adsorbsiyalangan modda miqdori (2.43 formulaga q.); N_i^{ω} va N_i — yuza va hajmdagi i - komponentning mol ulushi; $\omega_{i, \text{max}} = 1$ molga to'g'ri keladigan sirt yuzasi, m^2/mol .

Masalan, oltingugurt uchun uning hajmiy konsentratsiyasi 0,05 bo'lganda, sirtiy konsentratsiya 20% ga yetadi [9].

Agar jarayon diffuziya bilan limitlansa, unda sirtiy aktiv moddalar uning tezligiga ta'sir qilmaydi. Shu holning o'zida sirtiy aktiv moddalarning o'zi ajralish sirtida reaksiyaga kirishsa, jarayon ikkita variantga ega bo'lishi mumkin:

– kimyoviy akt bilan limitlanish (kinetik tenglamaga adsorbsiyani hisobga olib sirtiy konsentratsiya qiymati qo'yiladi);

– diffuziya bilan limitlash (yuqori darajadagi sirtiy konsentratsiya ishlab chiqiladi va C^∞ kattalik hajmdagi konsentratsiyaga qaraganda past bo'ladi).

Shu boisdan bittasi sirtiy aktiv modda hisoblangan komponentlarning o'zaro ta'sirlashish katta tezliklari diffuzion tormozlash uncha sezilarli bo'lmagan hollarda kuzatiladi.

Metallmas qo'shilmalarning hosil bo'lishi va chiqarib tashlanishi. Qo'shilmalarning hosil bo'lish jadalligi vaqt birligi ichida hajm birligida ularning hosil bo'ladigan miqdori bilan baholanadi [9]:

$$I = \left[n^\infty \left(\frac{\sigma_{m-q}}{kT} \right) \cdot \left(\frac{2V}{9\pi} \right)^{1/3} n \frac{kT}{h} \right] e^{-\frac{\Delta G}{kT}}, \quad (6.12)$$

bu yerda: I – qo'shilmalarning hosil bo'lish jadalligi, dona/ $m^3 \cdot s$; n^∞ – kritik o'lchamli qo'shilma sirtidagi atomlar soni; n – dastlabki fazaning hajm birligidagi atomlar soni; σ_{m-q} – metall-qo'shilma chegarasidagi fazalararo taranglik; V – hosil bo'ladigan fazaning mol hajmi; ΔG – kritik o'lchamli kurtaklar hosil bo'layotganida erkin energiyaning o'zgarishi:

$$\Delta G = \frac{16 \pi \sigma_{m-q}^3 V^2}{3 (kT)^2 (\ln \alpha)^2}. \quad (6.13)$$

α – o'ta to'yinish darajasi (element-oksidsizlantirgich va kislorodning amaldagi konsentratsiyasi ko'paytmasining muvozanat konsentratsiyaga nisbati).

Qo'shilmalar suyuqlanmadan ikkita bosqichda: qo'shilmalarni hajmdan ajralish sirtiga ko'chirishda va ularning fazalararo chegaradan o'tishida chiqarib yuboriladi. Qo'shilmalarning fazalar orasidagi chegaraga ko'chirilishi suzib chiqish va konvektiv oqimlar, shuningdek, gaz pufakchalari hisobiga amalga oshirilishi mumkin. Birinchi va uchinchi yo'llar qaytmasdir. Konvektiv ko'chirish esa qaytar yo'l-dir, ya'ni konvektiv oqimlar metallmas qo'shilmalarni suyuqlanmaga faqat kiritishi emas, balki chiqarishi ham mumkin. Masalan, induksion pechlarda aluminiy qotishmalarini suyuqlantirishda jadal aralashtirish himoya pardasi Al_2O_3 ni ilib ketishi mumkin. Qo'shilmalarning suzib chiqishi Stoks qonuniga bo'ysunadi:

$$v = \frac{2}{9} \cdot g \cdot r^2 \frac{\rho_m - \rho_q}{0,1\eta}, \quad (6.14)$$

bu yerda: v – suzib chiqish tezligi, m/c; r – qo‘shilishlar radiusi, m; ρ_m va ρ_q – metall va qo‘shilmalar zichligi, kg/m³; η – qovushoqlik, Pa · s.

Fazalarning ajralish chegarasidan o‘tishi sirtiy hodisalarga bog‘liq. Metalldan shlakka o‘z-o‘zidan o‘tish sharti quyidagidan iborat:

$$\sigma_{m-q} + \sigma_{m-sh} > \sigma_{sh-q}. \quad (6.15)$$

Yomon ho‘llanadigan qo‘shilmalar (Al₂O₃, ZnO₂ va boshq.) ajralish chegarasini qarshiliksiz o‘tadi. Metall bilan yaxshi ho‘llanadigan qo‘shilmalar (po‘lat uchun bu FeO, MnO, SiO₂) ajralish chegarasida to‘planishi mumkin, u yerdan konvektiv oqimlar ularni qaytadan suyuqlanma hajmiga olib ketishi mumkin. Bunda konvektiv oqimlarning tezligi jiddiy ahamiyatga ega. Bu tezlik induksion pechlarda juda yuqori (3–8 m/s) va alanga pechlarida juda kichik (0,1–1 m/s) bo‘ladi.

Suyuqlanmalarda gaz pufakchalarining hosil bo‘lishi va undan chiqarib yuborilishi sirtiy hodisalarga hamda ko‘rib o‘tilayotgan sistemada bosim kattaliklariga bog‘liq. Suyuqlanma ichida radiusi r bo‘lgan pufakchaga gazning ajralib chiqishi uchun zarur bo‘lgan eng kichik bosim quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$p_{\min} = p_{\text{at}} + \gamma_m h_m + \gamma_{sh} h_{sh} + \frac{2\sigma}{r}, \quad (6.16)$$

bu yerda: γ_m va γ_{sh} – metall va shlakning solishtirma og‘irligi, g/sm³;

$$\gamma_m (\gamma_{sh}) = \rho_m (\rho_{sh}) \cdot 9,8 \frac{N}{m^3};$$

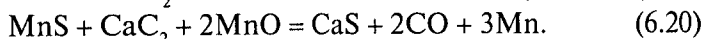
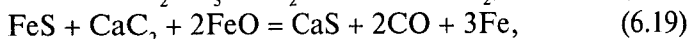
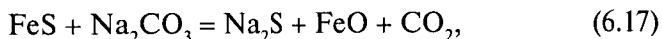
ρ_m va ρ_{sh} – metall va shlak zichligi, g/sm³; h_m va h_{sh} – metall va shlak qatlamining balandligi, m; p_{atm} – 98065 Pa – atmosfera bosimi; σ – sirt taranglik, N/m.

Pufakchalarning hosil bo‘lishi va ularning chiqarib yuborilishi bilan, masalan, po‘latning $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ reaksiya bo‘yicha qaynashi va aluminiy qotishmalarining xloridlar bilan tozalanishi $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ xarakterlanadi, bunda gazzimon AlCl₃ ning suzib chiqadigan pufakchalari tozalagich rolini bajaradi.

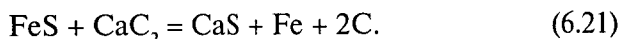
Tozalash samaradorligi termodinamik va kinetik faktorlar qanchalik to‘g‘ri hisobga olingan va tanlangan tozalash usulida jarayon mexanizmi qo‘yilgan masalaga qanchalik javob berishiga bog‘liq bo‘ladi.

Pechdan tashqarida tozalash metodlari va usullari. Pechdan tashqarida tozalash zararli qo‘shilmalardan ancha chuqur tozalashga yordam beradi. Cho‘yanni suyuqlantirishda pechdan tashqarida

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:

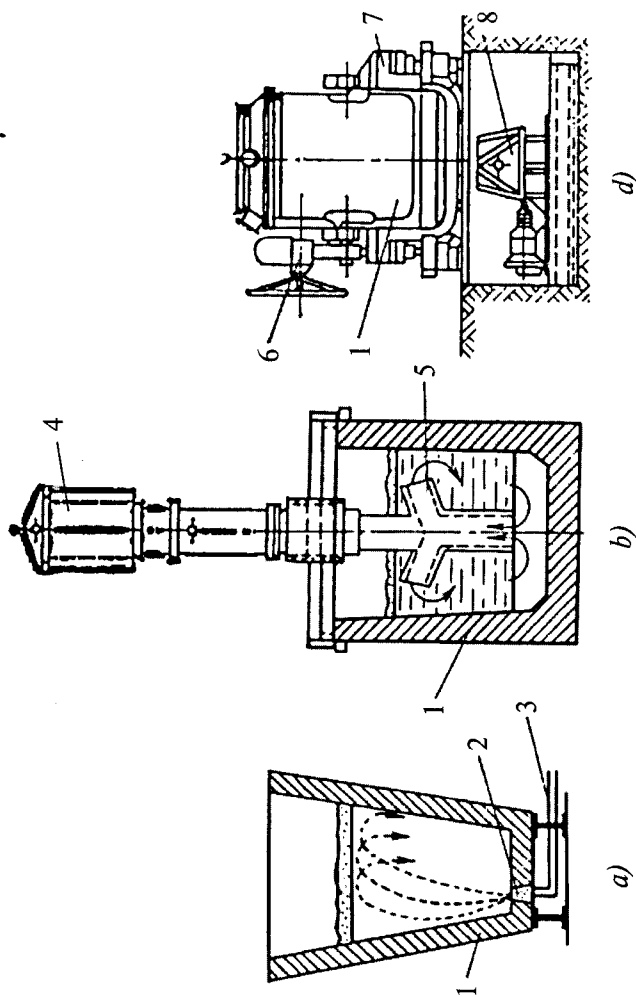


Chet el firmalarining tajribasi shuni ko'rsatadiki [17], cho'yan kovshda tozalanganda (71- a rasm) uning tarkibidagi oltingugurt ni 0,1% dan 0,005% gacha kamaytirish mumkin. 3 min davomida tozalash sharsimon grafitli juda puxta cho'yan olish maqsadida keyinchalik modifikatorlar bilan ishlov berish uchun 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 °C. Sintetik shlaklar bilan ishlangandan keyin kislorod miqdori 0,003% gacha, oltingugurt esa 0,005–0,01% gacha kamayadi [40].

Ishlov berish uchun yangi soʻndirilgan ohak (80%) va plavik shpati (20%) poroshoklari aralashmasidan ham foydalaniladi. Aralashma 2–3% miqdorida poʻlat oqimiga beriladi. Bunda oltingugurt miqdori 1,5–2 marta kamayadi. Lekin bu holda chiqarilayotgan poʻlatning temperaturasini 20–30 °C ga oshirish zarur.

Poʻlatga neytral gazlar bilan ishlov berish pech tubida oʻrnatilgan oʻtga chidamli gʻovak magnezit quyma-bloklar, soxta stopor yoki oʻtga chidamli material bilan qoplangan maxsus choʻktirma furmalar 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 poʻlatning mexanik xossalari sezilarli darajada yaxshilanadi. Nisbiy uzayish va siqilishi 10–25% ga, zarbiy qovushoqligi 15–30% ga ortadi [45].

Poʻlatning sifatini yaxshilash uchun vakuumdan foydalanish. Bu maqsadda vakuumda suyuqlantirish va pechdan tashqarida vakuumlash usullaridan foydalaniladi. Pechdan tashqarida vakuumlash shundan iboratki, istalgan poʻlat suyuqlantirish pechida olingan suyuq poʻlat 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 poʻlat tarkibida boʻlgan kislorod va uglerod oʻzaro toʻlaroq taʼsirlashadi. Hosil boʻladigan uglerod oksidi $[C] + [O] = \{CO\}$ gaz fazasiga oʻtadi. Bu reaksiyaning muvozanati umumiy bosimning pasayishi hisobiga oʻng tomonga siljiydi. Bu reaksiyaning muvozanat konstantasi quyidagi koʻrinishga ega:

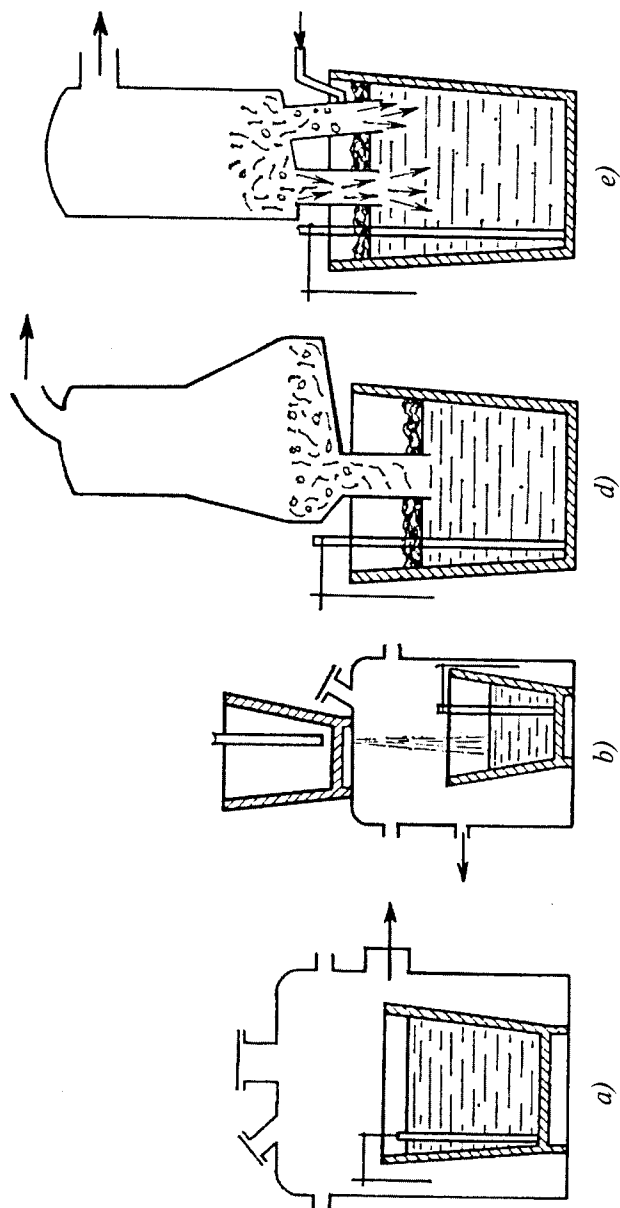
$$K_m = \frac{p_{CO}}{a_C \cdot a_O},$$

bu yerda: p_{CO} — CO ning parsial bosimi (parsial bosim umumiy bosimdan ulush koʻrinishida aniqlanadi, shuning uchun vakuumlashda p_{CO} keskin pasayadi).

Poʻlatni pechdan tashqarida vakuumlashning toʻrtta usuli mavjud:

1) maxsus kamerada kovshda (poʻlatli kovsh kameraga joylashtiriladi, u germetik bektiladi va unda vakuum yaratiladi, 72- a rasm);

2) metallni kovshdan kovshga quyishda (boʻsh kovsh kamerada oʻrnatiladi, u yerda vakuum yaratiladi va saqlab turiladi, 72- b rasm); metall toʻkib boʻshatiladigan kovsh tegishlicha zichlanib, vakuum kamerasi ustida oʻrnatiladi;



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) sirkultatsion 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'shilmalar miqdorini kamaytirishga imkon beradi. Po'latni vakuumda ishlash natijasida uning elastikligi, zarbiy qovushoqligi, sovuqqa chidamliligi ortadi va darzlar hosil bo'lishga moyilligi pasayadi.

Agar barcha suyuqlantirish jarayoni vakuumda sodir bo'lsa, vakuumda ishlov berish samaradorligini oshirish mumkin [25]. Bu jarayon induksion vakuum pechlarida (IVP) amalga oshiriladi. Po'lat chuqur degazatsiyalanadi, vakuumda 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 vakuumda 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 metallardan 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 oksidsizlantirganda 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 metallardan eriydigan gazlar, uglerod va oltingugurtning 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 metallardan 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 fluorli 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 katagining 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
Xrom*	Bor		Rux
Kremniy*			Kadmiy
Surma*	Uglerod*		Qo'rg'oshin
Titan*	Oltinugurt*		
Seriy*	Fosfor*		
Berilliy*	Kislorod		
Qalay*	Azot*		
Vanadiy	Vodorod		
Sirkoniy*	Mishyak*		

* Temir bilan kimyoviy birikma hosil qiladi.

** Ancha yuqori temperaturalaridagi 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 suyuqlanmagan titan, aluminiy va ba'zi boshqa elementlar kislorod, azot, oltinugurt va boshqalar bilan o'zaro ta'sirlashadi. O'zaro ta'sirlashmaydigan elementlarga 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 ko'rinishida 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 nisbatan 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 qotishmalar 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 strukturasiga 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 strukturasiga; noyob-yer elementlariniki po'latning strukturasiga; III grupp elementlari (Sc, Y, La) ning qo'shimchalari cho'yan strukturasiga ijobiy ta'sir qiladi.

Eng maqsadga muvofiq'i — kompleks modifikatorlardan foydalanishdir. Bunda qo'shimcha yoki bir nechta qo'shimcha (tayyor ligatura ko'rinishida) bir yo'la I va II tur modifikatorlar tipi bo'yicha qotishmaga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Kompleks modifikatorlar eng samarali modifikator sifatida sanoatda keng qo'llaniladi (masalan, kulrang cho'yanlarni modifikatsiyalash uchun qo'llaniladigan Fe—Si—Ca asosida 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 ortadi. 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 $\Phi C75$ ko'rinishida Si (kulrang cho'yan uchun), Mg, Ce va boshqa. (B Ψ uchun), Bi, B, Al, Te va boshq. (K Ψ 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 vagranka 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 tarnovdan 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 qurilma 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 (to'siqli) 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 sarflab foydalanilganda optimal natijalarga erishiladi. Bunda quymalarni oqartirish amalda bajarilmaydi, qattiqligi esa 197–218 HB ni tashkil etadi.

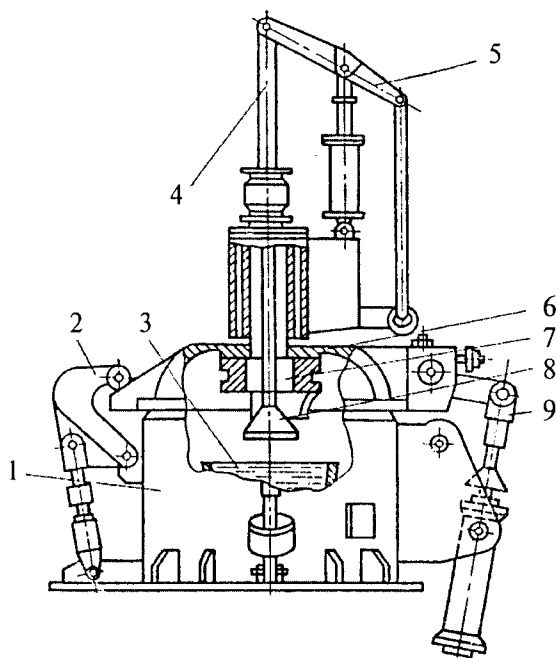
Kimyoviy tarkibi turlicha bo'lgan ikkita suyuq cho'yanni yoki cho'yanni suyuq po'lat bilan birga quyganda modifikatsiyalashga o'xshash murakkab jarayonlar sodir bo'ladi, bu esa strukturaning maydalanishiga va mexanik xossalarning yaxshilanishiga yordam beradi. Ba'zan cho'yanga gazlar, uglevodorodlar va chang gaz aralashmalari bilan ishlov berish usuli qo'llaniladi. Bu maqsadda kislorod, azot, argon, karbonat angidrid gazi va uglevodorodlar ishlatiladi. Gaz oqimiga kukunsimon qo'shimchalar ham kiritilishi mumkin. Cho'yanga kislorod kiritib tozalash usulining qo'llanilishi uning kimyoviy tarkibi va xossalari sezilarli ta'sir qiladi. Cho'yanni boshqa gazlar kiritib tozalashda uning tarkibidagi gaz miqdori o'zgaradi. Gaz miqdori, o'z navbatida, uning xossalari 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 evtektiv dona o'lchamlariga 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 effektiv dona yiriklashadi: vodorod, karbonat angidrid 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 aralastiriyotganda 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% Φ C-75 bilan modifikatsiyalab hamda C_3H_8 propan kiritib, birgalikda ishlov berish ancha samaralidir. Propan bilan ishlov berilmagan, 0,8% Φ 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 Φ C-75 bilan modifikatsiyalaganda mustahkamligi 10–15% ortadi. Bunda perlitli dispers sistema hosil bo'ladi va grafit propan bilan tozalanmagan cho'yanga qaraganda ancha tekis taqsimlanadi.

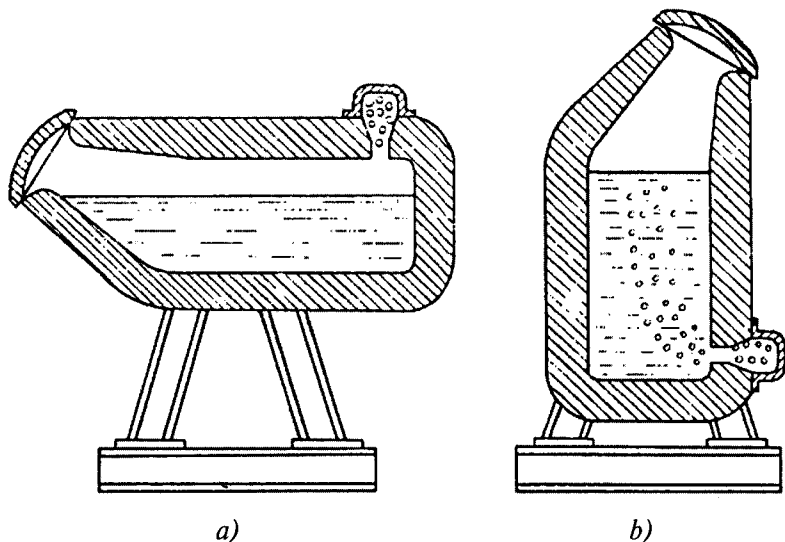
Tarkibida oltingugurt miqdori kam bo'lgan suyuq cho'yanni ba'zi uglevodorodlar bilan ishlaganda grafit sharsimon shaklda kristallizatsiyalanishi mumkin. Bunda ishlatiladigan uglevodorodlarda C : H nisbat qanchalik katta bo'lsa, kristallizatsiyalanish shunchalik yuqori darajada bo'ladi. Cho'yan naftalin ($C_{10}H_8$) bilan ishlanganda eng yaxshi natijalarga erishiladi, lekin grafitning to'la sharsimon shakli faqat 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 quymalarda grafit spelini topish mumkin [17].

Piroeffekt beradigan qo'shimchalar (masalan, Mg) maxsus qurilmalarda kiritiladi (9- rasmga q.). Qo'shimchalar qalpoqqa joylashtiriladi, so'ngra u metallga maxsus avtoklavdagi kovshda (73- rasm) yoki yig'gichda kiritiladi. Cho'yanni magniy bilan modifikatsiyalash uchun ЦНИИТМАш 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.

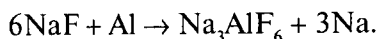
Po'latlarni modifikatsiyalash. Zamonaviy po'lat metallurgiyasida modifikatsiyalash jarayonlari nihoyatda katta rol o'ynaydi. Modifikatsiyalash suyuqlantirishni me'yoriga yetkazish va uni oksidsizlantirish bilan uzviy ravishda birga qo'shib, kristallizatsiyalanish xarakteri hamda po'latning kompleks xossasini 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 aluminiy 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'rqiqlashni bir joyga to'playdi va mikrodarzlarning hosil bo'lishiga qulaylik yaratib beradi, bu esa metall matritsaning mo'rtlashishiga sabab bo'ladi. Quyilgan po'latda

qo'shilmaning eng yaxshi shakli — mikrodarzlarning vujudga kelishini so'ndiradigan 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 istiqbolli — kislorod, oltingugurt, azot va boshqa elementlarga kimyoviy jihatdan nihoyatda yaqinligi bilan xarakterlanadigan ishqoriy-yer hamda noyob-yer metallaridir. Po'lat quymakorligida 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 evtektiv qotishmalar (AJ12, AJ14, AJ19, AK9 va boshq.) suyuqlanmaga natriy yoki stronsiy kiritib modifikatsiyalanadi. Natriydan natriy tuzi sifatida 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 6 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:



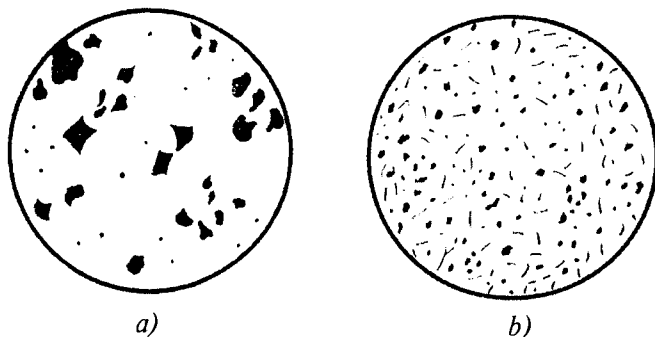
Modifikatsiyalash jarayoni tugagach, shlak natriy fluoridlari va xloridlari qo'shib quyultiriladi va chiqarib tashlanadi, shundan so'ng namuna olinadi hamda ularning singan joyiga qarab modifikatsiya effekti aniqlanadi. Olingan suyuqlanma 25–30 min davomida qoliplarga quyilgan bo'lishi kerak, chunki modifikatsiyalash effekti vaqt jihatdan cheklangan. Modifikatsiyalovchi effektini 2–3 soat davomida saqlab qolish uchun stronsiy, itriy 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 maydalash uchun
«Zernolite» (55% K_2TiF_6 + 3% K_2SiF_6 + 27% KBF_4 + 15% C_2Cl_4) Flus (35% NaCl + 35% KCl + 20% K_2TiF_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_3AlF_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 –	Evtektivga qadar aluminiy-kremniy qotishmalarining evtektivlarini modifikatsiyalash uchun Evtektiv siluminlar uchun
20% qizil fosforning 10% K_2ZnF_6 va 70% KCl bilan aralashmasi 58% Li_3PO_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	



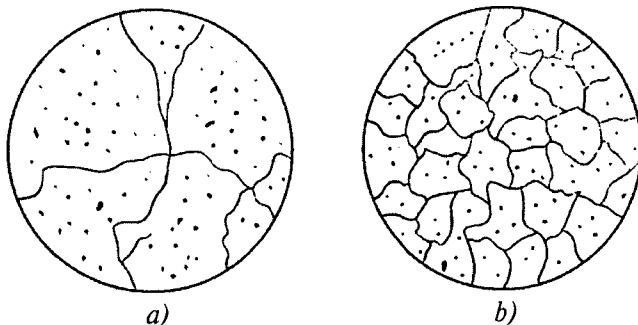
75- rasml. Evtektiv orti siluminining (20% Si)×90) mikrostrukturasi:

a – modifikatsiyalanmagan; *b* – fosfor bilan modifikatsiyalangan.

quyiladi. Ikkinchi usul suyuqlanmaga ishlov beriladigan metall massasidan 0,3–0,6% miqdorda tarkibida uglerod bo‘lgan va boshqa maxsus qo‘shimchalarni kiritishdan iborat. Modifikatorlar sifatida bo‘r, marmar, magnezit, geksaxloretan, karbonat angidrid gazi va asetilendan foydalaniladi. Qattiq modifikatorlar kukunsimon holatgacha maydalaniladi, quritiladi va suyuqlanmaga yo qalpoqda, yo aluminiy folgada, yoki gaz oqimi bilan kiritiladi. Modifikatsiyalashdan oldin qotishma 720–780 °C gacha o‘ta qizdiriladi. Modifikator kiritilgandan keyin qotishma 5–12 min davomida yaxshilab aralashtiriladi, 15–40 min davomida tindiriladi va quyish temperaturasisigacha 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 ftorsirkonatidan foydalaniladi. Sirkoniy bilan modifikatsiyalanaganda qotishma 850–930 °C gacha, kalsiy bilan modifikatsiyalanganda 770–780 °C gacha o‘ta qizdiriladi. Modifikator kiritilgandan 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. MJ5 qotishmani modifikatsiyalashdan oldingi va undan keyingi tipik strukturasi 76- rasmda keltirilgan [23]. Eng ko‘p qo‘llaniladigan moddalar bilan modifikatsiyalash rejimlari 37- jadvalda keltirilgan.

Mis qotishmalarini modifikatsiyalash. Tarkibida aluminiy bo‘lgan qotishmalar (БрАЖМц, БрАЖ, ЛАЖ, ЛАЖМц va boshqa tipdagi) qiyin eriydigan elementlar Ti, V, Zr, B, W, Mo qo‘shib modifikatsiyalanadi. Lekin qiyin suyuqlanadigan elementlar qo‘shimchasining modifikatsiyalovchi ta’siri ko‘p jihatdan qotishmada temirning boryo‘qligi bilan aniqlanadi. Tarkibida temir bo‘lmagan qotishmalarda titan, bor va volframning modifikatsiyalovchi ta’siri namoyon bo‘lmaydi [23].



76- rasm. Magniyli MJI5 ($\times 90$) qotishmaning mikrostrukturasi:
a – modifikatsiyalanmagan; *b* – geksaxloretan bilan modifikatsiyalangan.

37- jadv al

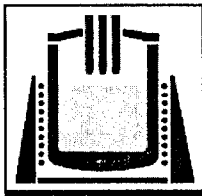
**Modifikatorlar va magniy qotishmalarini
 modifikatsiyalash rejimlari [23]**

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 Ligatura Mg+12% Zr	0,5–0,8 10	– 5–10	– 850–900	– 19–20	– 10–15	Tarkibida aluminium bo'lmagan qotishma- lar uchun
Kaliy ftorsir- 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 (BpC30, Bp06U6C3, jez J168) ko'rsatilgan modifikatorlardan 0,05% iga 0,02% bor qo'shib birgalikda kiritib modifikatsiyalanadi. Ba'zi mis qotishmalari uchun modifikatorlarning optimal konsentratsiyasi 38- jadv alda keltirilgan.

**Metall izlojnitsalarga (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



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, xossalarini yaxshilaydigan va stabilashtiradigan 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 GOCTlarga muvofiq namunalar olib hamda namunalarni kimyoviy analiz qilib nazorat qilinadi. Ularning xarakteristikalarini GOCTning 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 asboblarda, masalan, uglerodni ekspress-analiz qilish uchun mo‘ljallangan AH-29 bilan amalga oshiriladi. Kremniyni TEДC 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.

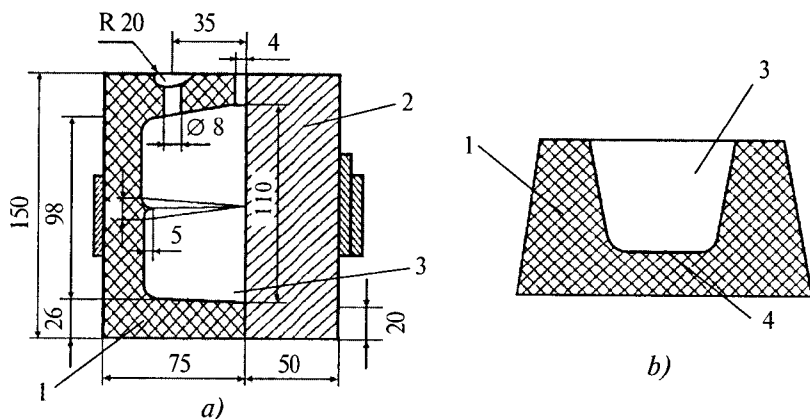
Suyuqlantirishda kutiladigan mexanik xossalarning nazoratini namuna metallning oqarish kattaligi va qattiqligi bo‘yicha amalga oshirish mumkin. 77- rasmda oqarish kattaligi va qattiqligini aniqlash uchun mo‘ljallangan namunalar, 39- jadvalda esa kulrang cho‘yanning eng ko‘p tarqalgan markalari uchun oqartirish chuqurligi va qattiqligi haqidagi ma’lumotlar keltirilgan. Suyuq cho‘yanning temperaturasi botiriladigan optik pirometrlar va termoparalar yordamida nazorat qilinadi.

39- j a d v a l

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* – qattqlikni tekshirish ponasi;
1 – sterjen, 2 – metall plastina, 3 – namuna, 4 – qattqlikni o‘lchash joyi.

Cho'yanni modifikatorlar va boshqa qo'shimchalar bilan ishlash 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-yer 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 qiymatgacha rostdanlashishi emas, balki ancha murakkab, modifikatsiyalashga o'xshash jarayonlarning sodir bo'lishi kuzatilgan. Bu jarayonlar strukturaning maydalanishiga va mexanik xossalari 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 xossalari sezilarli darajada ta'sir qiladi. Cho'yan boshqa gazlar kiritib tozalansa, cho'yan tarkibidagi gaz miqdori o'zgaradi, bu ham uning xossalari 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'shimchalarining 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.

Quyimakorlikda 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 $\Phi C75$ va grafit aralashmasi kiritiladi.

Modifikatsiyalash bo'yicha eng yaxshi natijalarga ΦC75 (0,15–0,6%), 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 СЦЕМШ va СИИТМШ) 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'shimcha 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 o'rtirilgan miqdoridan foydalaniladi.

Yuqori darajada mustahkam cho'yan olishda cho'yan elektr pechlarda 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, ferrosilitsiy, ferromarganes kiradi. Cho'yan induksion pechgga 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), МЦ40, МЦ65, МЦ75 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 МЦМ-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; 0,003 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 $\Phi C75$ 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 legirolovchi 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 dozlash 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

sof magniy ko‘rinishidagi modifikator kiritilganda magniy sarfi cho‘yan temperaturasi qarab 0,4–0,7% ni tashkil qiladi, bunda metallning 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; ≤ 0,06 S va P; ≤ 0,05 Sr; ≤ 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 siniqlaridan 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 Φ P-B 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‘shilmalar hisoblanadi: 0,02–0,0004% Bi; 0,01–0,02% Al va 0,002–0,004% B, shuningdek, Te – Cu, Te – S, Te – H₂, 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 vagranka shixtasida legirlovchi elementlarning dastlabki miqdoriga qarab 7 dan 10% gacha JXH va BTMJ dan foydalaniladi. Suyuq cho'yan vagrankadan elektr pechga qayta quyiladi, bu pechda u o'ta qizdiriladi va, agar zarur bo'lsa, kimyoviy tarkibi korrektirovka 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 pechlarda suyuqlantirilsa, maqsadga muvofiq bo'ladi.

40-jadval

Legirlangan cho'yanlarni suyuqlantirishda legirlovchi elementlarni kiritish bo'yicha tavsiyalar

Legirlovchi element	Legirlanish darajasi	Legirlovchi qo'shimchalar	Kiritish usuli	Suyuqlantirish usuli	O'zlashtirish koef-ti
1	2	3	4	5	6
Cr	Past O'rtacha va yuqori	Tabiatda legirlangan cho'yan Ferroxrom	Shixtaga —//— Suyuqlantirish oxirida pechga	Vagranka, elektr pechi Vagranka Elektr pechi	0,8–0,9 0,8–0,85 0,9–0,95
Ni	Past O'rtacha va yuqori	Tabiatda legirlangan cho'yan LXN Ferro-nikel ligaturalar, barcha markadagi metall nikel	Shixtaga —//— —//—	Vagranka, elektr pechi Vagranka Elektr pechi, vagranka	0,9–0,95 0,88–0,92 0,92–0,96
Cu	Past O'rtacha va yuqori	Tabiatda legirlangan cho'yan Barcha markadagi metall mis	Shixtaga —//— —//—	Vagranka, elektr pechi Elektr pechi, vagranka	0,9–0,95 0,9–0,95

1	2	3	4	5	6
Ti	Past Past va o'rtacha	Tabiatda legirlangan cho'yan Ferrotitan	Shixtaga Suyuqlan-tirish oxi-rida pechgga yoki kovshga	Vagranka, elektr pechi Elektr pechi	0,6–0,7 0,45–0,55
Mo	Past va o'rtacha	Ferro-molibden	—//—	Elektr pechi	0,92–0,97
Al	Past Yuqori	Metall aluminiy —//—	Kovshga Suyuqlan-tirish oxi-rida pechgga yoki kovshga	Elektr pechi, vagranka Elektr pechi	0,7–0,75 0,7–0,75
W	Past O'rtacha	Ferrovol-fram Ferrovol-fram	Kovshga Suyuqlan-tirish oxi-rida elektr pechgga	Vagranka, elektr pechi Elektr pechi	0,92–0,96 0,92–0,96
V	Past O'rtacha	Ferrova-nadiy Ferrova-nadiy	Kovshga Suyuqlan-tirish oxirida pechgga	Elektr pechi, vagranka Elektr pechi	0,88–0,92 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 fosforni 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.

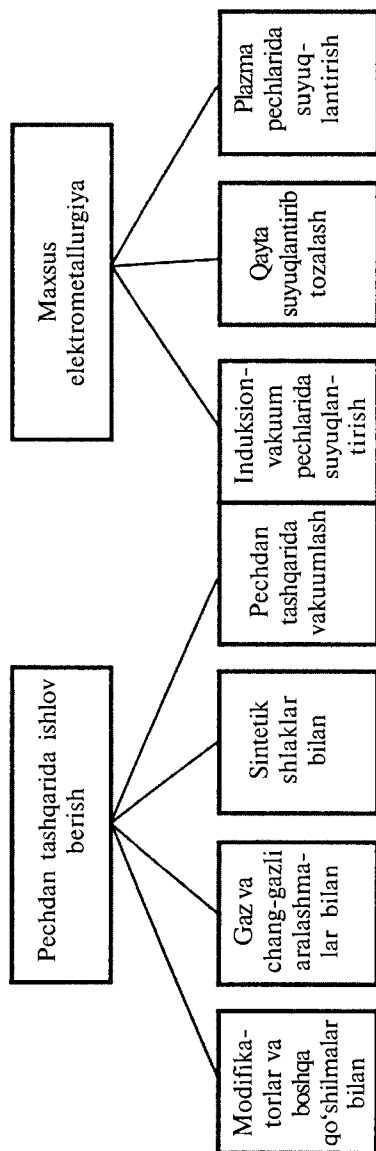
Po'latning sifatini yaxshilashda po'latni modifikatsiyalash, zararli aralashmalar miqdorini kamaytirish va metallmas qo'shilmalarning miqdori, tarkibi, shakli hamda taqsimlanishiga jiddiy ta'sir ko'rsatishga imkon beruvchi pechdan tashqarida ishlov berish usuli katta ahamiyatga ega.

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'xshash, lekin elektrodlar o'rniga ularning gumbazida plazmatron o'rnatilgan. Bu pechlarning odatdagi yoy pechlariga nisbatan afzalliklaridan biri — grafit elektrodلarning bo'lmashligidir, 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 oraliq'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 qilnadigan 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 elementلarning, 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.

Leकिन plazma pechlarida argon ishlatilishi va elektr energiyaning 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 elementلarning 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 elektrodلarning bo'lishi elektrod bilan qattiq shixta orasida puxta elektr kontakti ta'minlanishi zaruriyatini yaratadi. Gumbaz yopiladi va pechga plazmatronlar shunday tarzda kiritiladiki, bunda soplo uchi va shixta orasida millimetrning yuzdan bir necha ulushlari qadar oraliq o'rnatilsin. Pechga kuchlanish beriladi va elektrod bilan plazmatronلarning 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 vaqtda 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)

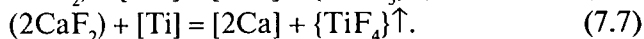
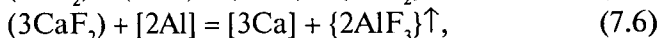
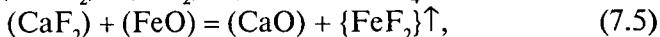
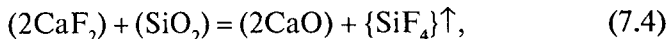
Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish VDP, ELP va PDP bilan bir qatorda, yuqori sifatli po'lat olishning zamonaviy metodi hisoblanadi. *Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirish (EShQS)* shundan iboratki, sarflanadigan elektrod ko'rinishidagi qayta suyuqlantiriladigan po'lat elektr o'tkazuvchi 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-

ruvchan 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 fluoridlar ajralib chiqadi va bundan tashqari, kislorodning atmosferadan shlak orqali o'tishi yengillashadi. Bu kamchiliklar tarkibida fluor bo'lmagan fluslar, masalan, AH-209, AH-292 da bo'lmaydi.

Elektr shlak yordamida qayta suyuqlantirishda oltingugurtning 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 asosililigi va reaksiyaga kiradigan yuzaning rivojlanganligi tufayli samarali o'tadi.

O'zgarma 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.

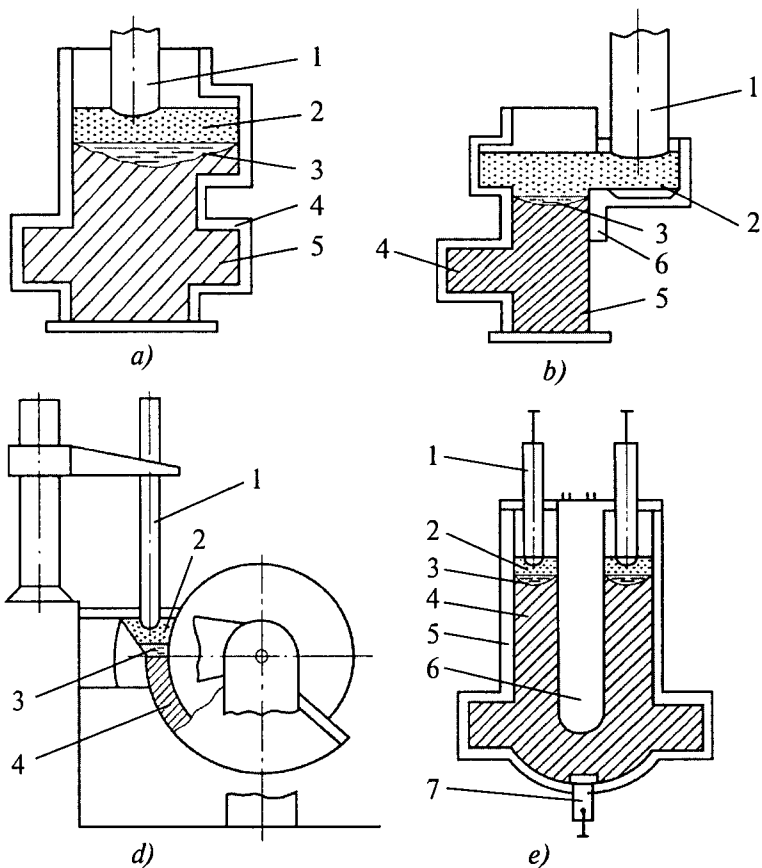
Metallmas qo'shilmalarni effektiv chiqarib yuborish uchun kichik radiusli qo'shilmalar bo'lishi, shuningdek, shlakning sirt tarangligi yuqori va ular shlakni yaxshi ho'llashi zarur.

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'qdosh 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 kristallizatorida: 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]), kristallizatorida sovitish va quymani chiqarib olish. Bu – quyma pechdan «chiqarib olinadigan» yagona jarayondir.

Sarflanadigan elektrodnlarni tayyorlash uchun metall odatdagi po‘lat suyuqlantiriladigan pechlarda suyuqlantirib olinadi. Elektrodlar tayyorlashning eng ilg‘or usullaridan biri – uzluksiz quyib chiqishdir. Sarflanadigan elektrodلarga 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].

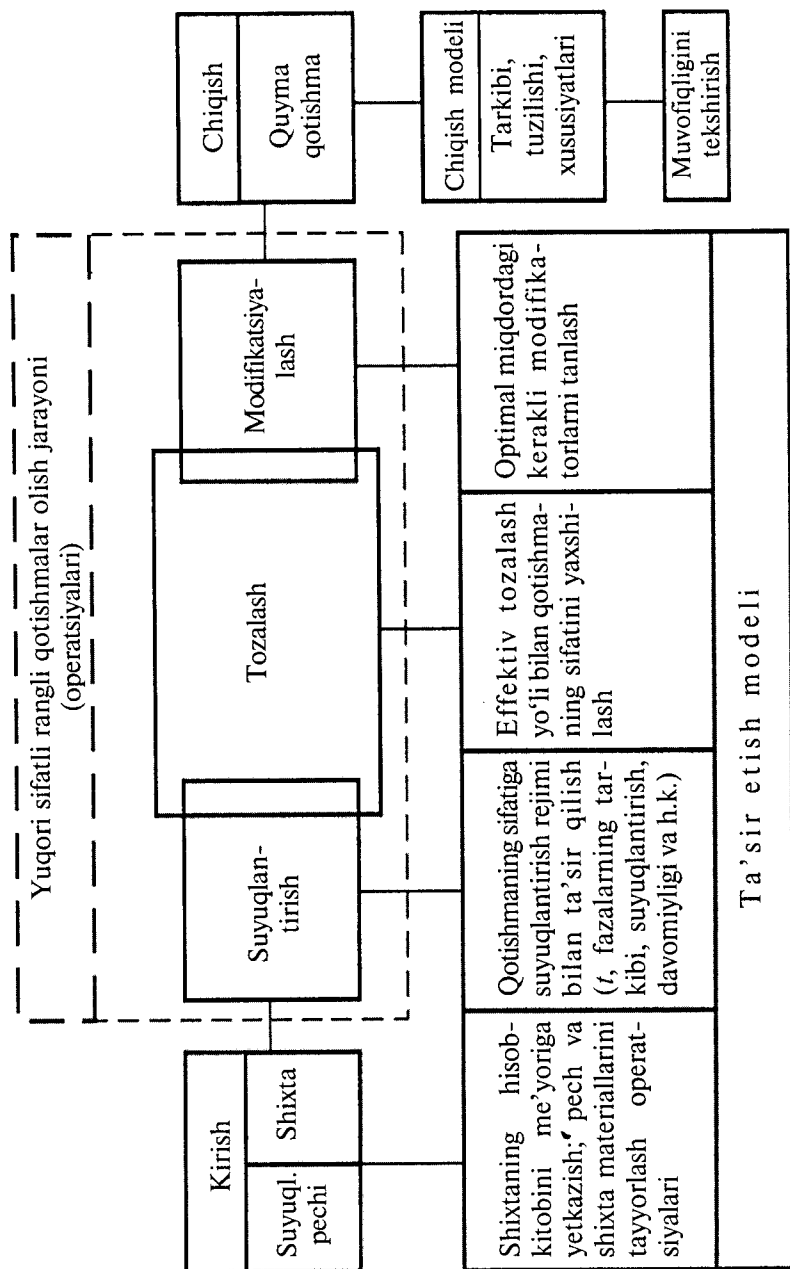
Suyuqlantirish qattiq yoki suyuq holatda bo'lishi mumkin bo'lgan startdan boshlanadi. Qattiq startda shlak vannasi hosil qilish bevosita kristallizatorida start ekzotermik aralashmasini suyuqlantirib bajariladi. Suyuq startda shlak maxsus shlak suyuqlantiriladigan pechda suyuqlantiriladi. Jarayonni barqarorlashtirish 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 analiz sxemasi.

qaytgan metallardan tashkil etish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki temir-tersak va chiqindilar muqarrar qotishma sifatini yomonlashishiga olib keladi.

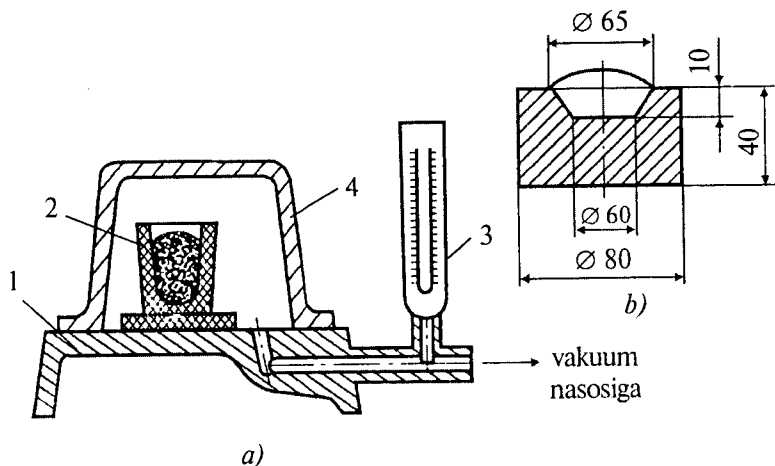
2. Suyuqlantirishning texnologik rejimiga rioya qilish (temperatura, fazalar tarkibi, jarayonning va ayrim operatsiyalarning davomiyligi). Rangli qotishmalar o'ta qizdirishga sezgir bo'ladi (qotishma «keragidan ortiqcha qizishi» mumkin, bu esa sifatning yomonlashishiga olib keladi). Yuqori temperaturalarda 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 metallmas 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 tigel, 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.

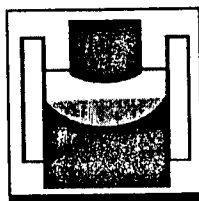
4. Modifikatorlar tanlash. Modifikatsiyalash qotishmalar sifatini yaxshilash uchun (VI bobga q.) bajariladi. Yuqori sifatli istalgan qotishma (xoh po'lat, cho'yan yoki rangli qotishma bo'lsin) modifikatsiyalanadi.

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'shimchalar 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 magniyning 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 quyib tayyorlanadigan 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:

$$\sigma = 1,66X_1 - 0,4X_2 - 5X_3 - 2,333X_4 + 13,567, \quad (8.2)$$

$$\delta = 0,695X_1 - 0,6X_2 - 3,6067X_3 - 1,233X_4 + 2,245, \quad (8.3)$$

$$\text{HB} = 0,25X_1 + 5,75X_2 + 1,667X_3 + 1,667X_4 + 59,6587, \quad (8.3)$$

bu yerda X_1, X_2, X_3, X_4 – qotishmadagi kremniy, mis, magniy va marganes konsentratsiyasi.

Chekhlashlar (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, aralashmalarining 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:

$$K_{i(s)}^n \leq \sum_{j=1}^n K_{i(j)}^{\text{kel}} \cdot x_j \leq K_{i(s)}^v, \quad (8.7)$$

$$K_{S(s)} \leq \sum_{j=1}^n K_{S(j)} \cdot x_j \leq \frac{100 - U_s}{100}, \quad (8.8)$$

$$K_{P(s)} \leq \sum_{j=1}^n K_{P(j)} \cdot x_j \leq \frac{100 - U_p}{100}. \quad (8.9)$$

(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 ferro-qotishmalarda elementlarning kuyishi (dastlabki miqdoridan % hisobida)

Elementlar	Yoy pechi		Induksion pech	
	metall shixtadan	ferro-qotishmadan	metall shixtadan	ferro-qotishmadan
Uglerod	25	10–20	10	10–20
Kremniy	$\frac{40^*}{100}$	10	20	5
Marganes	$\frac{20}{70}$	5–10**	20	10
Xrom	$\frac{15^*}{20}$	5	15	5
Nikel	5	3	3	1
Vanadiy	$\frac{15^* - 50^{***}}{50 - 80}$	10	15	5
Volfram	10	5	5	5
Molibden	5	3	3	1
Mis	5	3	3	1
Titan	$\frac{90^*}{100}$	50	50	10
Kobalt	5	3	5	3

Izoh: * suratda – aralashmalarni oksidlamadan 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-ning 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 foydalanadigan turlari bor. Lekin suyuqlantirish agregatlaridan istalganining asosiy vazifasi — metallni mumkin qadar kam xarajat qilib, unga qo'yiladigan talablarni qat'iy muvofiqlashtirib 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 smeta-normativ yoki tayyorlovchining hisobot kalkulyatsiyasi bo'yicha qabul qilinadi.

Vagrankalar 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.

Loyihalanayotgan 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 xarajatlariga 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:

$$C_{suyuq} = C_{mp} + C_{tp}, \quad (8.19)$$

bu yerda: C_{mp} — 1 t suyuq metallga ketadigan qo'shimcha materiallar (shixtadan tashqari) narxi, so'm/t; C_{tp} — 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):

$$C_{tp} = C_{zp} + C_{ap} + C_{rp} + C_{ep} + C_{vp} + C_{kp} + C_{pp}, \quad (8.20)$$

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'yanning texnologik tannarxini solishtirib ko'rish quyidagi

Kulrang cho'yan (Cʻ) suyuqlantirish uchun shixtaning tavsiya etiladigan tarkibi

Cho'yan markasi	Suyuqlantirish agregati	Komponentlar sarfi, massadan %						I z o h	
		domna cho'yani		chetdan keltirilgan temir-tersak		qirindi			korxonadan qaytgan metall
		quyiladigan	qayta ishlanadigan	po'lat	cho'yan	cho'yan	po'lat		
Cʻ 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	
Cʻ 20	—//—	25—40	5 gacha	10—20	10—25		15—30		
Cʻ 25 va Cʻ 30	—//—	23—35	5 gacha	15—35	10—20		10—25		
Cʻ 10 va Cʻ 18	Issiq havo beriladigan vagranka	20—40	5—10	4—10	10—20		20—40		
Cʻ 20	—//—	20—30	5—10	10—20	10—25		10—25		
Cʻ 25 va Cʻ 35	—//—	15—25	—	20—60	5—25		5—20		
Cʻ 10	Elektr pechi (yoyli, induktsion, tigelli)	—	10—25	20—40	25—35	5—10	5 gacha	Karbyurizatorlar va ferroqotishmalar hisob bo'yicha 100% dan yuqori	
Cʻ 25 va Cʻ 30	—//—	—	10—25	30—35	15—30	5—10	—//—	20—30	
Cʻ 35	—//—	—	5—10	70—80	—	—	5 gacha	10—20	
Cʻ 40 va Cʻ 45	—//—	—	—	95—100	—	—	5 gacha	10—20	

sarf-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-uskunalariga 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- j a d v a l

Oq (bolg'alanuvchan) cho'yan suyuqlantirish uchun tavsiya etiladigan shixta tarkibi

Shixta tarkibi	Komponentlar sarfi, massadan %				Qaytarilgan xususiyl 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.

44-jadval
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	
		qaytiladigan	qayta ishlanadigan	cho'yan	po'lat	cho'yan	po'lat		
B4 45-5 dan B4 50-2 gacha B4 45-5 dan B4 60-2 gacha	Sovuq havo beriladigan vagranka	20-60	10-50	20-30	5-10	0	0	30-35	Yagona va kam seriyali ishlab chiqarishda og'ir va qalin devorli quymalar uchun ishlatilsin
	Kislotali jarayonda ishlaydigan issiq havo beriladigan vagranka	20-50	10-50	20-30	5-10	5-10	0	30-35	
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	30-35	Perlit va ferrit klassli cho'yan quymalarini ko'plab uzluksiz ishlab chiqarishda ishlatilsin
B4 80-2	Kislotali yoy pechi	10-40	10-40	50 gacha	5-10*	15 gacha	0	70 gacha	Ferrit klassli cho'yanni suyuqlantirishda tozalangan quyma cho'yanlar ishlatilsin
Hamma markalar	Asosli yoy elektr pechi	10-40	10-40	50 gacha	5-10*	15 gacha	5 gacha	70 gacha	Tozalangan quyma cho'yanlar ishlatilsin
	Induktsion tigel pechi	0-15	0-15	50 gacha	60 gacha	50 gacha	5 gacha	70 gacha	Ferrit klassli cho'yanni suyuqlantirishda ko'proq konvertordan olingan tunukastimon po'lat va elektrotexnika po'lati chiqindilari ishlatilsin

Izoh. * Shixta materiallari tarkibida titan, aluminii, 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, mishyak, 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	Xususi ishlab chiqarish qaytargan	Ferro- qotishmalar	
Futrovkasi kislotali elektr yoy pechi	97	—	Shixta hisobiga muvofig 3% pechga va kovshga	Tozalangan cho‘yandan foydalanilsin
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	—//—

Eslatma. 1. Shixta materiallari tarkibida mikroqo‘shilmalar (xrom, titan, alumiiniy, 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-uskunalariga sarflangan kapital mablag'lar: so'm; N_a — amortizatsion chegirmalar normasi, %.

Suyuqlantirish asbob-uskunalarini ta'mirlash. Asbob-uskunalarni ishlatishga yaroqli holatda saqlash uchun planli-ehtiyot ta'mirlash o'tkaziladi. Ta'mirlashga sarflanadigan xarajatlar miqdori asbob-uskunalarni 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 atrofdagi 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 pechgga 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 aluminiy 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 olina- digan 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

Eslatma. 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., Коидаков 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. Кудрямов А.В., Пикунов 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.Н. 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. Хабаши 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 eriydigan 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.

Quyimakorlik 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