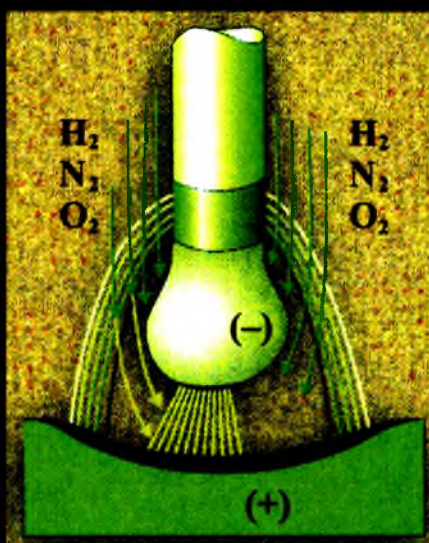
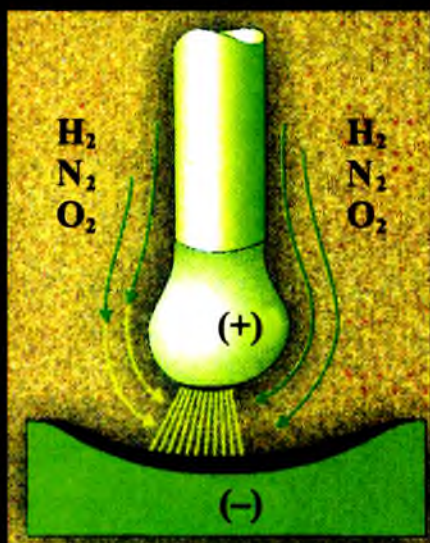


Abralov M.A., Abralov M.M.

PAYVANDLASH JARAYONLARINING NAZARIYASI



Toshkent 2015

438

621.784(075)

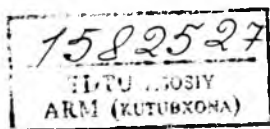
A18

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

M.A. ABRALOV, M.M. ABRALOV

PAYVANDLASH JARAYONLARINING NAZARIYASI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligining muvofiqlashtiruvchi Kengashi tomonidan
darslik sifatida tavsiya etilgan*



«Nashirlik yog'dusi»
Toshkent – 2015

U O'K: 62 (075)

KBK: 30.61

A 18

Abralov M. A.

Payvandlash jarayonlarining nazariyasi. Darslik. / M. A. Abralov, M. M. Abralov. – Toshkent: «Nashrlik yog'dusi», 2015 – 280 b

KBK30.61

“Payvandlash jarayonlari nazariyasi” fani payvandlash va payvandlash texnikasi bilan birgalikda rivojlanib kelayotgan fan hisoblanib, bu jarayon hozirda ham davom etib kelmoqda.

Ushbu darslik payvandlash sohasi bo'yicha muhandis mexaniklarni tayyorlashda qo'llanilishi sababli “Fizik-kimyo asoslari” bo'limi kiritilgan.

Курс “Теория сварочных процессов” создавался одновременно с развитием сварочной техники и в настоящее время продолжает непрерывно развиваться.

Настоящий учебник рассчитан для подготовки бакалавров по сварки, поэтому в него введен раздел “Основы физической химии”.

The course “Theory of welding processes” was created simultaneously with the development of welding technics and now it continues to develop incessantly.

The present manual is expected for preparation of engineers (bachelors) on welding, therefore the section “Bases of physical chemistry” is introduced in it.

Taqrizchilar:

M. A. Abdullayev – Toshkent davlat texnika universiteti «Payvandlash ishlab chiqarish mashinalari va texnologiyasi» kafedrasining katta o'qituvchisi.

A.T. Yo'ldoshev – Mexanika va qurilishlar seysmik mustahkamligi instituti katta ilmiy xodimi, t.f.n.

ISBN 978-9943-4562-9-7

© «Nashrlik yog'dusi» nashriyoti, 2015.

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2015.

KIRISH

Payvandlash texnikasi va texnologiyasi hozirgi ishlab chiqarishda yetakchi o'rinlardan birini egallaydi. Ulkan supertankerlarning korpusi va inson ko'zining to'r pardasi, yarim o'tkazgich asboblarning kichkina detallari va jarrohlik operatsiyalarida odamning suyaklari payvandlanadi. Hozirgi mashinalar va inshootlarning ko'pgina konstruksiyalarini, masalan, kosmik raketalarni, suv osti kemalarini, gaz va neft quvurlarini payvandlash yordamisiz tayyorlashning iloji yo'q. Texnika taraqqiyoti ishlab chiqarish usullariga, jumladan payvandlash texnologiyasiga tobora yangi talablar qo'ymoqda. Kecha yaqindagina g'alati hisoblangan materiallar payvandlanmoqda. Bularga titan, niobiy va berilliyli qotishmalar, molibden, volfram, o'ta mustahkam turli qo'shilmalar (birikmalar) kiradi. Elektronikaning bir necha metr qalinlikdagi detallari va og'ir jihozlarning bir necha metr qalinlikdagi detallari payvandlanadi. Payvandlash ishlari bajariladigan sharoitlar doimo murakkablashib bormoqda: suv ostida, yuqori haroratlarda, yuqori vakuumda, radiatsiya oshgan sharoitda, vaznsizlikda payvandlashga to'g'ri keladi. Payvandlashning yig'ishdan keyingi ikkinchi texnologik jarayon bo'lib qolgani bejiz emas, buni kosmonavtlarimiz dunyoda birinchi bo'lib kosmosda sinab ko'rdilar.

Mehnat unumdorligini oshirish zaruriyati payvandlash ishlab chiqarishining mexanizatsiyalashtirilish va avtomatlashtirish darajasini yuksaltirishga uning yangi murakkab mashinalar va agregatlar bilan jihozlanishiga olib keladi, bularsiz hozirgi kunda mahsulotlarning ko'pgina turlarini seriyalab ishlab chiqarishni tasavvur qilib bo'lmaydi. Bunga avtomobil zavodlaridagi avtomatik payvandlash liniyalari yaqqol misoldir. Payvandlash ishlab chiqarishiga robotlar faol joriy etilmoqda, bu esa detallarni payvandlash ishlarini payvandlovchi ishchining ishtirokisiz to'la avtomatlashtirishga imkon beradi.

Ushu darslikda issiqlik tarqalish nazariyasi va ularni payvandlash jarayonlarida qo'llanishiga doir misollar keltirilgan. Payvandlashda metallurgik jarayonlarni tushunish uchun kerak bo'lgan kimyoviy termodinamika, fizikaviy kimyo va diffuziyalar haqida asosiy ma'lumotlar berilgan. Sanoatda va ishlab chiqarishda keng qo'llaniladigan konstruksion materiallarning payvandlanuvchanligining asosiy masalalari ko'rib chiqilgan.

1-BOB. PAYVANDLASH JARAYONLARINING ISSIQLIK ASOSLARI

1.1. PAYVANDLASH JARAYONLARI HAQIDA

Metallarni elektr yoyi yordamida va gaz alangasida payvandlash sanoat hamda qurilishning hamma tarmoqlarida keng qo'llaniladi. Hozirgi vaqtda payvandlash metallar va qotishmalarni birlashtirishning asosiy texnologik jarayoni hisoblanadi.

Payvandlash unumdorligi va payvand birikmalar sifatini belgilab beruvchi metallardagi payvandlash jarayonlari manbalari: payvandlash yoyi, gaz alangasi yoki Djoul-Lents issiqligi (masalan, yoy yordamida dastaki payvandlashda elektrodlar tok bilan qizdirilganda hamda flyus ostida va himoya gazlari muhitida, avtomatik payvandlashda elektrod simi qiziganda chiqadigan issiqlik) ta'sirida kechadi. Eritib payvandlashdagi payvandlash jarayonlari haroratning keng doirasi: sovuq paytda payvandlashda minus 30-40 °C metallning parchalash haroratigacha (po'lat uchun 3000 °C) o'zgarish oralig'ida (intervalida) kechadi. Bunda payvandlanayotgan metall payvandlash zonasida faza va tuzilma o'zgarishlariga duchor bo'ladi.

Payvandlashdagi issiqlik jarayonlari nazariyasi payvandlashda metallning qizish jarayonlarini bayon etadi. Nazariya va tajriba ma'lumotlari asosida issiqlik jarayonlarini hamda metallarni payvandlashning oqilona rejimlari va texnologiyasini muhandislik yo'li bilan hisoblash usullari ishlab chiqilgan.

Akademik N.N Rikalinning ilmiy asari asosida tuzilgan ushbu bo'limda eritib payvandlashdagi issiqlik jarayonlarini hisoblashning asosiy sxemalari ko'rib chiqiladi, issiqlik jarayonlarini, metallni eritish unumdorligini va payvand birikmalarining eng maqbul xossalari ta'minlovchi payvandlash rejimlarini hisoblashga misollar keltiriladi.

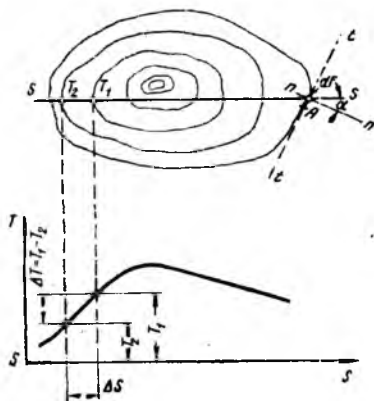
1.2 HISOBLAB ANIQLANADIGAN ASOSIY DASTLABKI SHART-SHAROITLAR

1.2.1. Harorat maydonining tavsifi

Payvandlash jarayoni uchun haroratning metallda notekis taqsimlanishi xosdir. Vaqt o'tishi bilan jismining ko'proq qismlari issiqlikni kamroq qizigan qo'shni qismlariga berishi natijasida harorat tekislanadi. Issiqlik berishning bu turi issiqlik o'tkazuvchanlik deyiladi. Qattiq jismlarda issiqlik o'tkazuvchanlik issiqlik uzatishning yagona mexanizmi hisoblanadi (vaholanki, suyuqlik va gazlarda konvektiv hamda nurli issiqlik almashish ko'proq uchraydi).

Harorat maydoni ko'rib chiqilayotgan jismining hamma nuqtalaridagi haroratning ayni paytdagi qiymatlari to'plamidan iborat. Harorat maydoni muayyan koordinatalar tizimiga, masalan, to'g'ri burchakli $T = T(x, y, z)$ tizimga keltirilgan tenglamalar bilan bayon etiladi.

Jismdagi harorat maydonini jismining harorati bir xil bo'lgan nuqtalari geometrik o'rnidan iborat bo'lgan izotermalar yoki izotermik sirtlar bilan tasvirlash qulaydir (1.1 - rasm).



1.1-rasm. Harorat maydonining izotermalar bilan tasvirlanishi:
nn – harorat maydonining A nuqtasidagi tt urinmaga normal.

Harorat maydonida harorat istalgan yo'nalishda, masalan, SS yo'nalishda siljiganda o'zgarib, uning ikki izoterma o'rtasidagi o'rtacha qiymati $\frac{T_1 - T_2}{\Delta S} = \frac{\Delta T}{\Delta S}$ tenglik bilan aniqlanadi; chegarada. $\Delta S \rightarrow y0$, deb taxmin qilib maydonning ushbu nuqtasidagi harorat gradiyentini hosil qilamiz. Maydonning istalgan A nuqtasida izotermaga nn normal bo'yicha gradiyentning qiymati eng katta darajada bo'ladi:

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1.1)$$

Normal bilan α burchakni hosil qiluvchi berilgan SS yo'nalishda

$$\frac{\partial T}{\partial S} = \frac{\partial T}{\partial n} \cos \alpha \quad (1.2)$$

Izotermaga tt urinma bo'yicha gradiyent hamisha nolga teng bo'ladi.

Issiqlikning tarqalish jarayoni vaqtning hamma paytlari uchun oniy harorat maydonlari to'plamidan iborat bo'lib, $T=T(x, y, z, t)$ tenglama bilan bayon qilinadi. Bu tenglama haroratning fazoviy koordinatalar va vaqtga bog'liqligini ifodalaydi. Jismning istalgan nuqtasida haroratning vaqt bo'yicha o'zgarishi grafiklar ko'rinishida (1.2 - rasm) tasvirlanadi, uning o'zgarish tezligi esa haroratdan vaqt bo'yicha $\frac{\partial}{\partial t} T(x, y, z, t)$ xususiy hosilaning tegishli qiymati bilan ifodalanadi.



1.2-rasm. Jismning istalgan nuqtasida vaqt bo'yicha harorat o'zgarishining grafik tasviri

1.2.2. Metallning issiqlik-fizik koeffitsientlari

Hamma qattiq jismlar ularga xos issiqlik – fizik xossalarga ega bo'ladi. Masalan, jismni berilgan T haroratgacha qizdirish uchun unga ma'lum miqdorda (Q kal) issiqlik berilishi kerak. T

haroratgacha qizdirishda qattiq jismga uning massa birligiga (bo'lingan) issiqlik miqdori issiqlik saqlash S kal/g deyiladi.¹ Jismning issiqlik saqlashi, o'z navbatida, uning issiqlik sig'imi C kal/g °C bilan aniqlanadi. bu issiqlik sig'imi jismga berilgan issiqlik miqdori ΔS ning uning harorati tegishli o'zgarishi ΔT ga nisbati chegarasidan iborat: bu nisbat cheksiz kamaytirilganda $c = \frac{ds}{dT}$

bo'ladi. Issiqlik sig'imining jism solishtirma oraliqiga ko'paytmasi hajmiy issiqlik sig'imi $c\gamma$ kal/sm³ °C deyiladi.

Jismning issiqlik o'tkazish qobiliyati issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ kal/sm sek °C bilan tavsiflanadi. Issiqlik jarayonlarini hisoblashda ko'pincha murakkab parametr – issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ sm²/sek dan foydalanish qulay

bo'ladi. Bu koeffitsient issiqlik o'tkazuvchanlik λ ning hajmiy issiqlik sig'imi $c\gamma$ ga nisbatidan iborat. Moddaning elektr o'tkazish qobiliyati uning solishtirma qarshiligi ρ omsm bilan tavsiflanadi. Metallarning issiqlik o'tkazuvchanligi λ va elektr o'tkazuvchanligi $\sigma = \frac{1}{\rho}$ 1/omsm asosan bir xil mexanizm –

haroratlar yoki elektr potentsiallar farqi ta'sirida erkin elektronlarning siljishi bilan bog'liq bo'lib. Lorens qonuni asosida o'zaro bog'langandir:

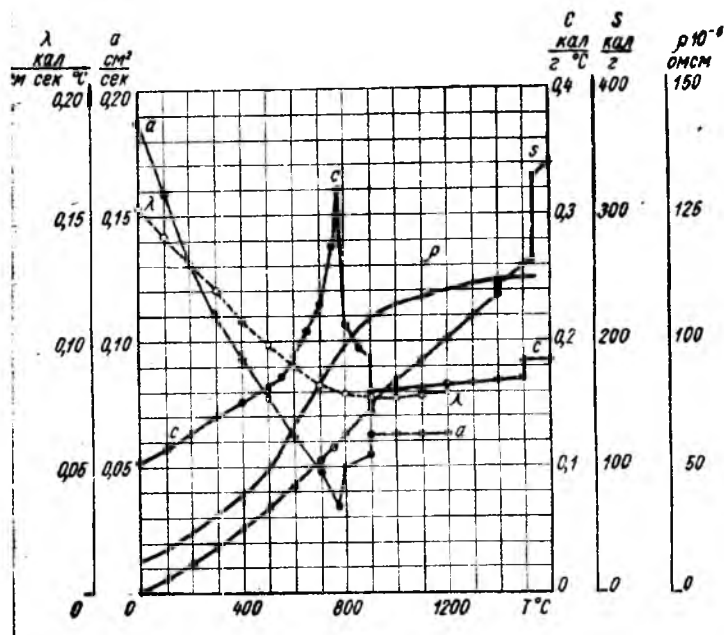
$$\lambda/\sigma = L (T+273)^\circ \quad (1.3)$$

Rangli va qora metallar uchun L koeffitsient deyarli doimiy (o'zgarimas) bo'lib, $L = (5 - 7) \cdot 10^{-4} \frac{\text{omkcal}}{\text{cek}^\circ\text{C}}$ ni tashkil etadi. Bu

nisbatdan solishtirma qarshilik ρ ni o'zgartirish tajribasidan osongina aniqlanadigan issiqlik o'tkazuvchanlik λ ni baholash uchun foydalanish mumkin.

Barcha issiqlik-fizik koeffitsientlar S , λ , c , a va ρ odatda harorat bilan o'zgaradi (1.3 - rasm).

Hamma kattaliklar o'lchamligi fizik birliklar tizimida qabul qilingan: kal. g. °C, sek.



1.3-rasm. Kam uglerodli (0.10% C) po'latning issiqlik-fizik xossalari

Qizdirish vaqtida po'latning allotropik haroratlarida issiqlik yutiladi, sovish vaqtida esa ajralib chiqadi. shu bois issiqlik saqlashi sakrashsimon o'zgaradi, bu esa o'z navbatida issiqlik sig'imi s va issiqlik o'tkazuvchanlik a ning sakrashsimon o'zgarishiga olib keladi. Yoy yordamida payvandlashdagi issiqlik jarayonlarini hisoblashda metallning issiqlik-fizik koeffitsientlari ko'rib chiqilayotgan haroratlar oralig'ida (intervalida) o'rtacha qilib olinadi; kam uglerodli po'lat uchun. masalan, ularning $0+(1000+1200\text{ }^{\circ}\text{C})$ haroratlar oralig'idagi o'rtacha qiymati yoki ularning $400+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratdagi o'rtacha qiymati, ya'ni $a = 0.08\text{ sm}^2/\text{sek}$; $C\gamma = 1,25\text{ kal}/\text{sm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ va

$\lambda = 0,1\text{ kal}/\text{sm sek }^{\circ}\text{C}$ olinadi. Gaz alangasida payvandlash uchun ularning $300 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratdagi qiymatlari olinadi.

1.3. FUR'ENING ISSIQLIK O'TKAZUVCHANLIK QONUNI

Notekis qizigan jismda, issiqlik o'tkazuvchanlik tufayli issiqlik ko'proq qizigan joylardan kamroq qizigan joylarga tarqaladi; bunda harorat berilgan yo'nalishda qancha keskin o'zgarsa, shu yo'nalishda shuncha ko'p miqdorda issiqlik o'tadi. Izotermik sirtning dF yuzi elementi orqali dt vaqt ichida o'tuvchi issiqlik miqdori dQ teskari ishora bilan olingan shu yo'nalishdagi harorat gradiyentiga mutanosib bo'ladi:

$$dQ = \lambda \left(-\frac{\partial T}{\partial n} \right) dF dt \quad (1.3.1)$$

Bundan berilgan izotermik sirt orqali o'tuvchi solishtirma issiqlik oqimi q (x, y, z, t) $\text{kal}/\text{sm}^2 \cdot \text{sek}$ ning ifodasini hosil qilamiz, u elementar maydoncha dF (1.1-rasm) orqali elementar vaqt oralig'i dt da o'tuvchi issiqlik miqdori dQ ga nisbatidan iborat:

$$q = \frac{dQ}{dF dt} \quad (1.3.2)$$

(1.3.1) ifodaga dQ qiymatini (1.3.2) ifodadan olib qo'yib shuni hosil qilamiz:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1.3.3)$$

Bu Fur'ening issiqlik o'tkazuvchanlik qonuni bo'lib, unga ko'ra, berilgan nuqtadagi izotermik sirt orqali o'tuvchi solishtirma issiqlik oqimi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientining shu nuqtadagi teskari ishora bilan olingan issiqlik o'tkazuvchanlik gradiyentiga ko'paytmasiga teng.

1.3.1 Sirtqi issiqlik berish

Payvandlash jarayonida buyumga kiritilgan issiqlik tarqalib buyum ichidagi haroratni tekislaydi va ayni paytda uning yon sirlari vositasida atrof muhitga beriladi. Qizigan jismning atrof muhit bilan issiqlik almashishi ikki yo'l bilan amalga oshadi:

a) Konvektiv issiqlik almashish, bunda qattiq jismdan issiqlik suyuqlik yoki gaz zarralari tomonidan, ular har xil qizigan

qismlarning zichligi turlicha ekanligi tufayli (tabiiy konveksiya) erkin harakatlanganda amalga oshadi.

Vaqt birligi ichida yuza birligi orqali o'tuvchi suyuqlik yoki gazga qattiq jism beradigan konvektiv issiqlikning solishtirma issiqlik oqimi q_k kal/sm² sek Nyuton qonuni bilan ifodalanadi:

$$q_k = \alpha_k(T - T_0), \quad (1.3.4)$$

bunda: T – qattiq jism sirtining harorati, °C;

T_0 – suyuqlik yoki gazning harorati, °C;

α_k – konvektiv issiqlik berish koeffitsienti, kal/sm² sek °C

b) Nurli issiqlik almashish. Qizigan jismning uning sirti orqali o'tuvchi solishtirma nurlanish oqimi q_r kal/sm² sek Stefan-Boltsman qonuni bilan ifodalanadi:

$$q_r = C \left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 \quad (1.3.5)$$

bunda: T – jism sirtining harorati, °C;

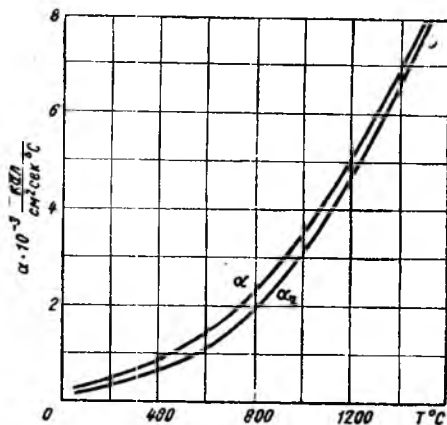
C – jism sirtining holatiga bog'liq bo'lgan mutanosiblik koeffitsienti.

O'ziga tushayotgan hamma nurni yuta olishga qodir mutlaqo qora jism uchun $C_0 = 1,378 \cdot 10^{-4}$ kal/sm² sek °K bo'lsa, kulrang jismlar uchun $C = \varepsilon C_0$ dir, bunda ε - 0 dan 1 gacha o'zgaruvchi qoralik koeffitsienti.

Hisoblash vaqtida, odatda, yon sirlarning to'liq issiqlik berishi inobatga olinadi:

$$q = q_k + q_r = (\alpha_k + \alpha_r) (T - T_0) = \alpha (T - T_0) \quad (1.3.6)$$

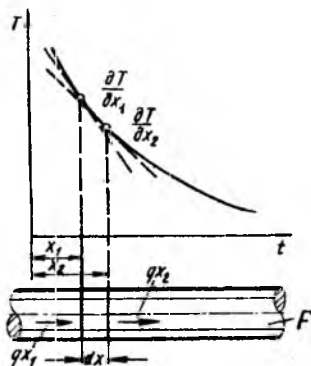
bunda α - to'liq issiqlik berish sirti bo'lib, jismning atrof muhitga issiqlik berish qobiliyatini tavsiflaydi. α va α_r koeffitsientlar jismning harorati, shakli hamda fazodagi vaziyatiga bog'liq. Vertikal listlar uchun ularning qiymatlari 1.3.1 – rasmda ko'rsatilgan.



1.4.1-rasm. Haroratga bog'liq bo'lgan vertikal listlar issiqlik berish to'liq sirtining koeffitsienti α va nurli issiqlik almashish koeffitsienti α_r

1.4. Issiqlikning differensial o'tkazuvchanlik tenglamasi

Cheklanmagan qattiq jismda har bir elementar hajmda va istalgan vaqtda issiqlik tarqalish jarayoni energiyaning saqlanish qonuniga bo'ysunadi.



1.5-rasm. Chiziqli issiqlik tarqalish jarayonida dx elementda issiqlik to'planishini hisoblashga oid sxema.

Eng oddiy holda, kesimi $F = 1 \text{ sm}^2$ bo'lgan notekis qizigan sterjenda (1.5 - rasmda) chiziqli issiqlik taqsimlanish jarayonida elementar hajm dx dan chap tomonda gradiyent o'ng tomondagidan

katta bo'ladi, binobarin, issiqlikning kelishi q_{x1} uning ketishi q_{x2} dan katta bo'ladi. Ko'rib chiqilayotgan hajm elementida $\Delta q_x = q_{x1} - q_{x2}$ issiqlik to'planadi, bu issiqlik uning haroratini ko'taradi.

Fazoviy issiqlik tarqalish jarayonining umumiy holda issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = a \nabla^2 T, \quad (1.4.1)$$

bunda: $\frac{\partial T}{\partial t}$ - berilgan nuqtada haroratning oniy o'zgarish tezligi;

$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T$ - koordinatalar o'qlari bo'yicha ikkinchi xususiy hosilalar $T(x, y, z, t)$ yig'indisi bo'lib, u Laplas operatori deb ataladi.

(1.4.1) Issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi berilgan nuqtada haroratning o'zgarish tezligini uning atrofiga haroratning taqsimlanishi bilan bog'laydi. Bu tenglama Fur'e qonuni asosida olingan bo'lib, jismdagi issiqlik oqimi bilan haroratning taqsimlanishi o'rtasidagi bog'lanishni aniqlaydi.

1.4.1. Hisoblashning chegaraviy shart-sharoiti va usullari

Jismda istalgan nuqtada va vaqtda issiqlik tarqalish jarayoni (1.4.1) **issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasini** qanoatlantiradi. Biroq issiqlik tarqalish jarayonlarini hisoblash uchun jismda haroratning boshlang'ich taqsimlanishini va uning chegaralarida issiqlik almashish shart-sharoitlarini ham bilish zarur.

a) Jismda haroratning boshlang'ich taqsimlanish jarayoni muayyan payti $t=0$ da butun hajmda beriladi, bu vaqtni hisoblashning boshi sifatida qabul qilinadi, $T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z)$.

b) **Chegaraviy shart-sharoit** issiqlik o'tkazuvchi chegaralangan jism sirtining atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlashuvini ifodalaydi. Amaliy hisoblash uchun odatda chegaralarda issiqlik almashishning quyidagi shart-sharoiti qabul qilinadi.

1-tur shart-sharoiti. Bu shart-sharoitda chegaraviy nuqtalar harorati, jism ichida harorat qanchalik o'zgarmasin, berilgandek qoladi. Ushbu shart-sharoitning xususiy holi sifatida jism chegarasidagi harorat o'zgarmas $T = \text{const}$ deb qabul qilinadi (izotermik chegara).

2 - tur shart-sharoiti. Jism sirti orqali solishtirma issiqlik oqimi taqsimlanishi beriladi, ya'ni chegaradagi harorat har qanday bo'lishi mumkin, ammo bunda gradiyent o'zgarmas holda saqlanmogi zarur. Bu shart-sharoitning xususiy holi adiabatik chegara bo'lib, bunda chegara orqali o'tuvchi issiqlik oqimi nolga teng bo'ladi. Atrof muhit bilan issiqlik almashish jism ichidagi issiqlik oqimlariga nisbatan juda oz bo'lganda, chegara issiqlikni deyarli o'tkazmayapti deb hisoblash mumkin.

3-tur shart-sharoiti. Mazkur shart-sharoit eng umumiy bo'lib, chegarada berilgan haroratdagi atrof-muhit bilan issiqlik almashishni ifodalaydi.

Hisoblash usullari. Issiqlik o'tkazuvchanlik masalalarini yechish uchun tahliliy (analitik) va sonli usullar qo'llaniladi.

Tahliliy usullar chiziqli chegaraviy shart-sharoitda chiziqli differensial tenglamalar bilan ifodalanuvchi jarayonlar uchungina, ya'ni issiqlik-fizik koeffitsientlarni haroratga bog'liq bo'lmagan koeffitsientlar, deb hisoblash mumkin bo'lgan hol uchungina echimlar olish imkonini beradi. Eng oddiy hollarda tahliliy usullar tutash shaklda ifodalangan jarayonlarning umumiy tenglamalarini beradi; murakkabroq hollarda esa yechimlar muayyan integrallar yoki cheksiz qatorlar bilan yoziladi. Tahliliy usullarda **Fur'e** usuli, manbalar usuli va operator usuli qo'llaniladi. **N.N. Rikalin** ishlab chiqqan issiqlik tarqalish jarayonlari nazariyasida eng oddiy va payvandlash paytida metallning qizish hollarida haroratning taqsimlanishini qoniqarli ifodalovchi usul bo'lgan manbalar usuli qo'llanilgan.

Manbalar usuli payvandlashda metallning qizish va sovish masalalarini yechish uchun qulaydir, bunda issiqlikning tarqalish

sohasi cheklanmagan, manba esa hajmning nihoyatda kichik elementida to'plangan bo'ladi.

Oniy nuqtaviy manba. Boshlang'ich payt $t = 0$ da, boshlang'ich harorat $T_0 = 0$ da bo'lgan cheklanmagan issiqlik o'tkazuvchi jismning cheklanmagan hajmda Q kal miqdordagi issiqlik jamlangan bo'ladi. Jismning issiqlik fizik koeffitsientlari butun qizish vaqti mobaynida o'zgarmas bo'lib qoladi va haroratga bog'liq bo'lmaydi. U holda to'plangan oniy manba Q issiqligining tarqalish jarayoni, koordinatalar boshi manba qo'yilgan nuqtaga mos keladi, deb faraz qilgan holda, ushbu tenglama bilan ifodalanadi:

$$T(R,t) = \frac{Q}{c\gamma(4\pi at)^{3/2}} e^{-\frac{R^2}{4at}} \quad (1.4.2)$$

bunda $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$ - jismning 0 nuqtasidan (manba qo'yilgan nuqtadan) x, y, z koordinatali A nuqtagacha bo'lgan oralig'ning kvadrati. (1.4.2) Tenglama issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi (1.4.1) ning echimi hisoblanadi. Bu holda issiqlik tarqalish jarayoni koordinatalar boshining 0 nuqtasiga nisbatan simmetrikdir, istalgan nuqtaning harorati uning sferik radius-vektori R bilan aniqlanadi, izotermik sirtlar esa R radiusli sferalar hisoblanadi.

Oniy chiziqli manba. Q_1 kal/sm issiqlik jismga uzunligi cheklanmagan, asosi cheksiz kichik bo'lgan va o'qi cheklanmagan issiqlik o'tkazuvchi jismning z o'qi bilan mos keladigan prizma orqali kiritiladi:

$$T(r,t) = \frac{Q_1}{c\gamma 4\pi at} e^{-\frac{r^2}{4at}} \quad (1.4.3)$$

Jarayon OZ o'qqa nisbatan simmetrikdir, istalgan nuqtaning harorati yassi radius - vektor $r^2 = x^2 + y^2$ bilan aniqlanadi. Izotermik sirtlar OZ o'qli doiraviy silindrlardan iborat.

Oniy yassi manba. Q_2 kal/sm² issiqlik cheklanmagan issiqlik o'tkazuvchi jismning YOZ tekisligiga qo'yilgan holni ko'rib chiqamiz:

$$T(x,t) = \frac{Q}{c\gamma(4\pi at)^{1/2}} e^{-\frac{x^2}{4at}} \quad (1.4.4)$$

Jarayon YOZ tekislikka nisbatan simmetrikdir va chiziqli jarayon sanaladi. Harorat faqat x koordinataga bog'liq, izotermik sirtlar esa YOZ tekislikka paralleldir.

Issiqlik o'tkazuvchanlik masalalarini yechishning **sonli usuli** issiqlik tarqalish jarayonini haroratning boshlang'ich taqsimlanishidan kelib chiqqan holda qadam baqadam hisoblashga imkon beradi. Bu holda issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamasi oxirgi farqlardagi tegishli tenglama bilan almashtiriladi.

Metallning qizishini hisoblash usullarini yoy yordamida va gaz alangasida payvandlashda metallarning qizishiga tatbiquan mufassalroq ko'rib chiqamiz.

1.5. METALLNI PAYVANDLASH YOYI BILAN QIZDIRISHNI HISOBLASH

1.5.1. Yoyning issiqlik manbayi sifatidagi tavsifi

Yoy yordamida eritib payvandlashda buyum elektr yoyi bilan payvandlanadi, u tokning yuqori darajada zichligida gazdagi qattiq elektrodlar o'rtasidagi turg'un elektr razryadidan iborat. Yoyda ajralib chiqayotgan issiqlik metall chetlarini erish haroratigacha tez qizdiradi. Metallning issiqlik o'tkazuvchanligining yuqoriligi natijasida manba issiqligi metallning sovuq massasiga jadal o'tib uning haroratini ko'taradi. Yoy ishlatadigan elektr energiyasi UI asosan issiqlik energiyasiga aylanadi. Yoy elektr quvvatining issiqlik ekvivalenti ushbu ifoda bilan aniqlanadi:

$$q = 0.24UI \left[\frac{\text{kal}}{\text{sek}} \right]. \quad (1.5.1)$$

bunda: U – yoyning kuchlanishi, V ; I – tok, A ;

$0,24 \text{ kал/Вт}$ sek – elektrotexnik birliklardan issiqlik birliklariga o'tkazish koeffitsienti.

Yoyning issiqlik energiyasi payvandlanayotgan buyumning o'zini qizdirishga faqat qisman sarflanadi. Yoy energiyasining ma'lum qismi elektrod metallini eritishga sarflanadi hamda konveksiya va nurlanish hisobiga atrofdagi bo'shliqqa o'tib yo'qoladi. Bevosita buyumning qizishiga sarflanadigan issiqlik quvvati yoyning samarali issiqlik quvvati q_u deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$q_u = \eta_u 0,24 UI, \quad (1.5.2)$$

Bunda η_u - yoy buyumni qizdirishining samarali **f.i.k.** bo'lib, yoy vositasida buyumga kiritilgan issiqlik miqdorining yoy elektr quvvatining issiqlik ekvivalentiga nisbatidan iborat.

Kalorimetrik o'lchash ma'lumotlariga ko'ra, samarali **f.i.k.** har xil payvandlash yoylari uchun quyidagi chegaralarda o'zgaradi:

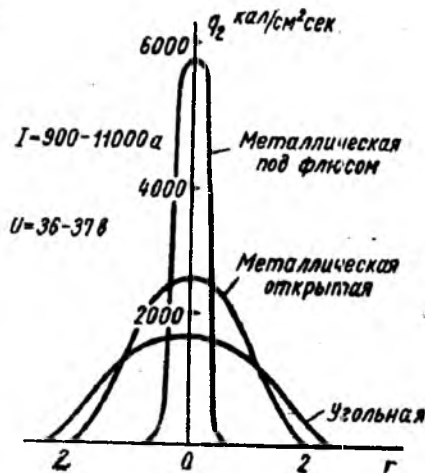
a) eruvchi elektrodlar bilan flyus ostida avtomatik payvandlashda $\eta_u = 85 - 95 \%$;

b) eruvchi elektrodlar bilan ochiq yoy yordamida payvandlashda $\eta_u = 70 - 85 \%$;

v) erimaydigan elektrodlar (ko'mir, volfram elektrodlar) bilan yoy yordamida payvandlashda $\eta_u = 40 - 60 \%$.

Eruvchi elektrodlar bilan payvandlashda samarali **f.i.k.** ning qiymatlari katta bo'lishiga sabab shuki, elektrod va flyusning erishiga sarflanadigan yoy energiyasining bir qismi buyumga erigan metall tomchilari bilan birga, shuningdek, flyusdan metallga issiqlik uzatilishi orqali o'tadi va bu bilan buyumdagi umumiy issiqlik miqdorini oshiradi.

Payvandlash yoyi taqsimlangan issiqlik manbayi hisoblanadi va solishtirma issiqlik oqimi $q_2 \text{ kal/sm}^2$ cek va to'planganlik koeffitsienti $K \text{ 1/sm}^2$ bilan tavsiflanadi. Solishtirma issiqlik oqimining dog'da qanday taqsimlanishi 1.6 - rasmda ko'rsatilgan.



1.6-rasm Qizish dog'ida payvandlash yoyi issiqlik oqimining nisbiy taqsimlanishi.

Kichik va o'rtacha quvvatli sirtqi yoylar uchun u (amaliyot uchun) yetarlicha aniqlik me'yorida taqsimlanish qonuni (Gaus ehtimollik egri chizig'i) bilan bayon qilinadi. Manbaning bunday me'yorida taqsimlanishi issiqlik oqimi qizish dog'i markazidan [bu yerda uning qiymati eng katta ($q_{2 \max}$) bo'ladi], $r = \infty$ radiusda 0 gacha uzoqlashilgan sari kamayib boradi:

$$q_2(r) = q_{2 \max} e^{-Kr^2} \quad (1.5.3)$$

Flyus ostida payvandlash yoyining issiqlik oqimi eng yuqori va yoylarning boshqa turlariga nisbatan bir joyga ko'proq to'plangan bo'ladi. SHu bois metallning flyus ostida qizishi ochiq yoylar bilan qizishidan jadalroq amalga oshadi. Bunda flyus ostida yoy bilan qizdirish jarayonining samarali f.i.k. ochiq yoylar bilan qizdirishga qaraganda katta ekanligi inobatga olinmog'i lozim.

Yoy yordamida payvandlashda metallning qizish va sovish jarayonlarini hisoblash uchun to'plangan va me'yorida taqsimlangan manbalar sxemalarining ikkalasidan ham foydalaniladi. Birinchi sxema hisoblash uchun qulay va osondir.

Payvandlanuvchi buyumlarning geometrik shakliga qarab, to'plangan issiqlik manbayining mos keluvchi sxemasi tanlanadi. Bunda nuqtaviy, chiziqli yoki yassi manba, deb faraz qilinadi. Bu sxemalar manbaga qo'shni, ammo 1000–1200°C dan past haroratgacha qizdiriladigan sohalarda, shuningdek, manba bevosita ta'sir qiladigan sohada (bu soha ko'rsatilgan haroratdan past haroratgacha soviganda) haroratning o'zgarishini ishonchli hisoblash imkonini beradi. Payvandlashning mavjud sharoitida bu – chok metallining sovish jarayoni hamda asosiy metallning termik ta'sir zonasi qismlarining qizish va sovish jarayonlariga mos keladi. Hisoblar termik ta'sir zonasining qizish va sovish jarayonlarini parametrlari bilan bu zonada metall tuzilmasining o'zgarishi orasidagi bog'liqlikni aniqlash, uning oxirgi tuzilmasi va xossalarini aniqlash hamda shuning asosida payvand birikma xossalari tuzilmasining ham eng qulay uyg'unligini ta'minlovchi payvandlash rejimini tanlash imkonini beradi.

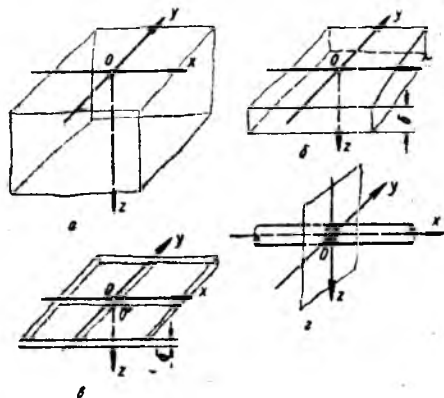
Me'yorida taqsimlangan manbalar sxemalari ancha aniq bo'lishi bilan birga ko'pincha murakkabroqdir ham. Ular yoy yordamida payvandlashda payvandlash vannasiga bevosita tutashuvchi qismlarda metallning qizishi va sovishini hisoblash, xususan, erish zonasining enini, metallning chok yaqinidagi zonada donalarning jadal o'sish haroratida (po'lat uchun 1000 – 1200 °C dan yuqori) bo'lish davomlilikini va hokazolarni aniqlash uchun qo'llaniladi. Jism sirtida yoki hajmida me'yorida taqsimlangan, shuningdek, istalgan tarzda taqsimlangan issiqlik manbalarini to'plangan nuqtaviy, chiziqli yoki yassi manbalar to'plami deb tasavvur qilish mumkin. Uzluksiz ta'sir qiluvchi (ishlovchi) manbalarni ularning ta'siri vaqtida tegishli taqsimlangan oniy manbalar to'plami, deb ham tasavvur qilsa bo'ladi. Taqsimlangan va uzluksiz ta'sir qiluvchi manbalar issiqligining tarqalish jarayonlari tenglamalarini chiqarishda mos ravishda, to'plangan va nuqtaviy manbalar harorat maydonlarining qo'shilish tamoyilidan foydalaniladi. Bu holda, har bir elementar manbaning issiqligi, jismda boshqa manbalar ta'sir qilish – qilmasligidan qat'iy nazar, tarqaladi, deb faraz qilinadi.

Alohida manbalar issiqligining tarqalish jarayonlari bir-biriga ta'sir ko'rsatmaydi, balki bir-biriga qo'shiladi. Qator manbalar birgalikda ta'sir qilgandagi jismning harorati har bir manba alohida – alohida ta'sir qilganda hosil bo'luvchi haroratlar yig'indisi sifatida qaraladi. Agar: a) issiqlik – fizik koeffitsientlar $\lambda, c\gamma, a$ va α haroratga bog'liq emas, deb faraz qilinsa:

b) jismda sodir bo'luvchi, issiqlik yutilishi va ajralib chiqishi bilan bog'liq bo'lgan agregat holatdagi o'zgarishlar inobatga olinmasa, qo'shilish tamoyilidan foydalanish mumkin.

1.6. ISSIQLIK MANBALARI SXEMALARI VA QIZISHNI HISOBLASH SXEMALARI

Yoy yordamida payvandlashdagi issiqlik jarayonlari juda xilma-xil bo'lib. payvandlash rejimlari va texnologiyasiga, payvandlanadigan buyumlarning o'lchamlari hamda shakllariga, payvandlanadigan metallarning issiqlik – fizik xossalari va atrof muhit bilan chegarada issiqlik almashish shart – sharoitiga, payvandlash yoyining samarador issiqlik quvvatiga, uning issiqlik oqimi taqsimlanishi va buyumda ko'chish turiga bog'liq.



1.7-rasm. Yoy bilan qizdirishda issiqlik o'tkazuvchi jismni va issiqlik manbalarini hisoblash sxemalari:

a – yarimcheksiz jism sirtidagi nuqtaviy manba; b – yassi qatlam sirtidagi nuqtaviy manba; v – plastinadagi chiziqli manba 00; g – sterjendagi yassi manba.

Payvandlash vaqtida issiqlikning metallda tarqalish jarayonlarini hisoblash orqali ana shu jarayonlarning yuqorida aytilgan omillarga bog'liq bo'lgan asosiy qonuniyatlari aniqlanadi.

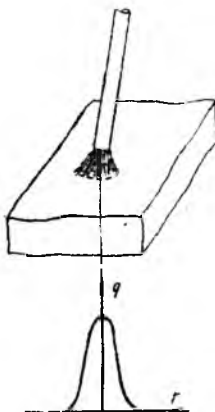
Yoy yordamida payvandlashda issiqlikning tarqalish jarayonlarini hisoblashda quyidagi asosiy sxemalardan biri tanlanadi:

a) Qiziydigan sirti XOY ($z = 0$) yassi bo'lgan yarimcheksiz jism; bu sxemaga o'lchamlari OX, OY va OZ yo'nalishlarida ancha katta bo'lgan yirik jism mos keladi (1.7 - rasm, a).

b) **Yassi qatlam**, ya'ni $z = 0$ va $z = \delta$ li tekisliklar bilan chegaralangan jism; ayni sxemaga qalinligi o'rtacha va o'lchamlari ancha katta bo'lgan list to'g'ri keladi (1.7 - rasm, b).

v) **Plastina**, ya'ni qalinligi δ kichik bo'lgan. OX va OZ yo'nalishlarda cheksiz ravishda cho'zilgan yassi qatlam (1.7 - rasm, v). Ushbu sxemaga harorat qalinligi bo'yicha bir tekis taqsimlangan, deb hisoblash mumkin bo'lgan yupqa list to'g'ri keladi.

g) Ko'ndalang kesimi F bo'lgan sterjen, unda harorat kesimi bo'yicha to'liq tekislangan, deb faraz qilinadi.



1.8-rasm Payvandlash yoyida issiqlik oqimining taqsimlanishi.

Ta'kidlash joizki, harorat maydoni manba egallagan joy o'lchamlariga teng masofadagina manbaning qanday

taqsimlanishiga ko'p darajada bog'liq. Bundan uzoqda harorat maydoni deyarli o'zgarmaydi (basharti taqsimlangan issiqlik manbai uning o'rtasiga qo'yilgan, teng quvvatli to'plangan manba bilan almashtirilsa). Yoy yaqinida harorat maydoni istalgan shaklli va o'lchamli buyumdagi fazoviy maydon hisoblanadi va yoy issiqligining qanday taqsimlanishiga (1.8 - rasm), yoydan uzoqda esa buyumning shakliga bog'liq bo'ladi. Shu munosabat bilan, yoy dog'iga uncha yaqin bo'lmagan sohalarda issiqlik manbalarining mahalliy ta'siri tamoyilini hisobga olgan holda issiqlikning tarqalish jarayonlari issiqlik o'tkazuvchi jismni hisoblash sxemasiga muvofiq hisoblanadi, bunda to'plangan issiqlik manbai: yirik jism yoki qalin listga valik eritib qoplashda – O nuqtada to'plangan nuqtaviy manba deb (1.7 - rasm, a, b ga qarang), listlarni uchma uch payvandlashda – OO nuqtaga qo'yilgan chiziqli manba deb va sterjenlarni uchma uch payvandlashda yoki elektrodni qizdirishda – issiqlik yassi element O ga (1.7 - rasm, v, g) qo'yilgan deb faraz qilinadi.

Issiqlik manbalari ta'sir muddatiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi:

a) **oni y manbalar**, bunda manba ta'sir muddatining issiqlikning tarqalish jarayoni muddatiga nisbati qancha kichik bo'lsa, jarayon shuncha aniq bayon qilinadi:

b) **uzluksiz** ta'sir qiluvchi manba, bu sxema yoy uzoq muddat ta'sir qilgandagi qizish va sovish jarayonlarini bayon qiladi; yoyning ta'sir qilish vaqti mobaynidagi issiqlik manbayining quvvati o'zgarmas, deb qabul qilinadi, bu esa yoy yordamida payvandlashda kuzatiluvchi hodisalar turiga yaxshi mos keladi.

Manbalar ko'chish turiga qarab ushbularga ajratiladi:

a) qo'zg'almas manbalar (yoy bilan qizdirishni hisoblashda kam qo'llaniladi);

b) qo'zg'aluvchi manbalar (oxirgi tezlikda to'ppa – to'g'ri va bir tekis harakatlanuvchi manba, masalan, to'g'ri chiziqli choklarni yoy yordamida qo'lda payvandlashda);

v) tez harakatlanuvchi issiqlik manbalari (hisoblash amaliyotida flyus ostida yoy yordamida avtomatik payvandlashga mos keladi.

Manbaning ko'chish tezligi qancha katta bo'lsa, hisoblashdagi xato shuncha kichik bo'ladi).

1.7. TO'PLANGAN ONIY MANBALAR ISSIQLIGINING TARQALISH JARAYONLARI

1.7.1 Oniy manbalar issiqligining tarqalish jarayonlari

Payvandlash yoyi qisqa vaqt ta'sir qilganda metallning sovish jarayonlari, ajralib chiqqan issiqlik Q kal ning hammasi bir onda qo'yilgan va qizish dog'ining o'rtasida to'plangan, deb faraz qilingan holda baycn etiladi. To'plangan oniy issiqlik manbayi kiritgan issiqlikning tarqalish turi buyumning o'lchamlari va shakliga, shuningdek uning issiqlik – fizik xossalariga bog'liq. Bu jarayon mahalliy hisoblanib, metallning cheklangan hajmida kechadi.

Yarimcheksiz jism sirtida oniy nuqtaviy issiqlik manbayi bo'lganda issiqlikning tarqalish jarayoni tenglamasini cheksiz, ammo $2Q$ manbali jism uchun mo'ljallangan (1.4.2) tenglamadan olamiz:

$$T(R,t) = \frac{2Q}{c\gamma(4\pi at)^{3/2}} \exp\left(-\frac{R^2}{4at}\right)^* \quad (1.7.1)$$

Bunda yarim cheksiz jismning issiqlik o'tkazmaydigan chegaraviy tekisligi yoniga qo'yilgan manba issiqligi Q ning tarqalish jarayoni issiqlik $2Q$ ning cheksiz jismda tarqalish jarayoniga ekvivalentdir.

(1.7.1) tenglama vaqtga va formulaga radius – vektor $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$ ko'rinishida kiruvchi nuqta $A(x, y, z)$ ning fazoviy koordinatalariga bog'liq bo'lgan haroratni beradi. Izotermik sirtlar markazi manba qo'yilgan O nuqtada bo'lgan sferalar hisoblanadi.

1-misol. 50 mm qalinlikdagi Cr3 markali po'lat listga 8 mm diametrli shpilkalarni yoy yordamida (flyus ostida) avtomatik payvandlashda issiqlik manbayi qo'yilgan markazdan 6 va 8 mm oraliqda turuvchi A va B nuqtalarda haroratning o'zgarishini

hisoblaymiz. Payvandlash rejimi $I = 500$ A, $U = 32$ V, payvandlash vaqti $t = 0.8$ sek. Flyus ostida yoyning samarali f.i.k. $\eta_u = 90\%$ deb olib, manbaning samarali issiqligini hosil qilamiz:

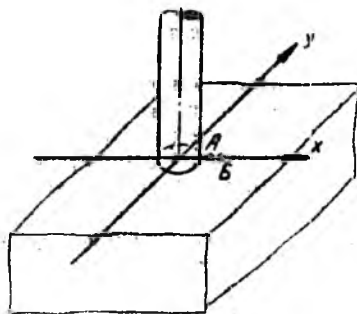
$$Q = 0.24 \cdot 0.90 \cdot 500 \cdot 32 \cdot 0.8 = 2770 \text{ kal. (11600 J)}$$

Po'latning issiqlik – fizik koeffitsientlari: $a = 0.08 \text{ sm}^2/\text{sek}$;

$$\lambda = 0.1 \text{ kal/sm } ^\circ\text{C}; \quad c\gamma = 1.25 \text{ kal/sm}^3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

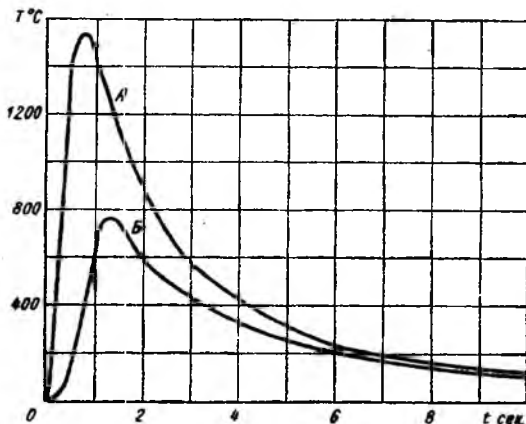
Keyin to'plangan oniy issiqlik manbayi qizdiradigan yarimcheksiz jism sxemasi asosida (1.7.1) tenglama yordamida A va B nuqtalarda harorat o'zgarishini hisoblaymiz (1.9 - rasm):

$$T(R, t) = \frac{2 \cdot 2770}{1.25(4\pi \cdot 0.08t)^{3/2}} \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot 0.08t}\right) = \frac{4440}{t^{3/2}} \exp\left(\frac{R^2}{0.32t}\right).$$



1.9-rasm. A va B nuqtalaridagi haroratni hisoblash.

Hisoblangan qizish va sovish jarayonida A hamda B nuqtalarda metall haroratining o'zgarishi 1.10 - rasmda ko'rsatilgan.



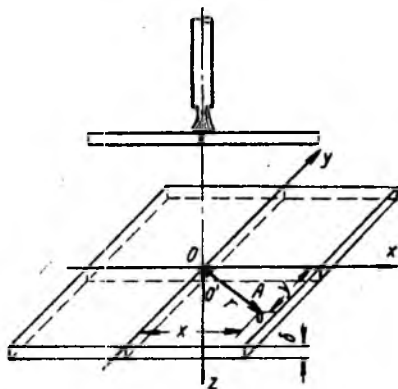
1.10-rasm. Shpilkalarni avtomatik payvandlashda listdagi haroratning o'zgarishi.

A nuqta erish chegarasida turadi va shu bois deyarli metallning erish haroratigacha tez qiziydi. Keyin issiqlik jadal olib ketilishi oqibatida ko'rib chiqilayotgan nuqtalarda harorat tez pasayadi.

Quyida tuzilma o'zgarishlari haroratlari oralig'ida metallning sovish tezliklarini hisoblash ko'rib chiqiladi. Bu hisoblarni austenitning izotermik o'zgarish diagrammalari bilan solishtirish orqali payvand birikmaning termik ta'sir zonasida metallning oxirgi tuzilmasi hamda mexanik xossalarini taxminan aniqlash mumkin.

Oniy chiziqli issiqlik manbayi issiqligining tarqalishi (1.11-rasm) chegaraviy tekisliklarning issiqlik berishini hisobga oluvchi ko'paytuvchi e^{-bt} kiritilgan (12) tenglamadan olingan tenglama bilan bayon qilinadi:

$$T(R,t) = \frac{Q}{4\pi\lambda\delta t} \exp\left(-\frac{r^2}{4at} - bt\right) \quad (1.7.2)$$



1.11-rasm. Platinadagi 00 chiziqli manbaning sxemasi.

bunda: $b = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}$ - 1/sek da atrof muhitga sirtqi issiqlik berilishi

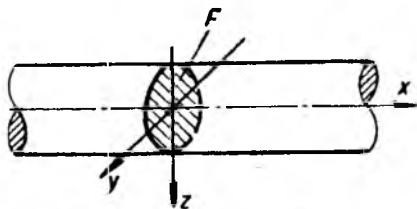
oqibatida haroratning pasayishini inobatga oluvchi harorat berish koeffitsienti (suratdagi 2 raqami issiqlik berish ikki sirtidan – yuqorigi va pastki sirtlardan amalga oshishini ko'rsatadi);

α - issiqlik berish koeffitsienti, $\text{kal}/\text{sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$;

δ - platinaning qalinligi, sm;

$c\gamma$ - hajmiy issiqlik sig'imi, $\text{kal}/\text{sm}^3 \text{ sek } ^\circ\text{C}$.

Issiqlik tarqalish jarayoni OZ o'qqa nisbatan simmetrikdir, harorat platinaning qalinligi bo'yicha tekislangan va yassi radius – vektor $r^2 = x^2 + y^2$ ga bog'liq.



1.12-rasm. Sterjendagi yassi manbaning sxemasi.

Endi (1.4.3) formuladan, manba sterjen F ning (1.12 - rasm) kesimi bo'yicha $Q_2 = \frac{Q}{F} \text{ kal}/\text{sm}^2 \text{ sek}$ sirtqi jadallik bilan bir tekis taqsimlangan, deb faraz qilib, oniy yassi manba issiqligining

tarqalish jarayoni tenglamasini olamiz. Bunda sterjenning kesimi uncha katta emas, uning uzunligi esa deyarli cheklanmagan, deb hisoblanadi:

$$T(x,t) = \frac{Q}{c\gamma F(4\pi \cdot at)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4at} - bt\right) \quad (1.7.3)$$

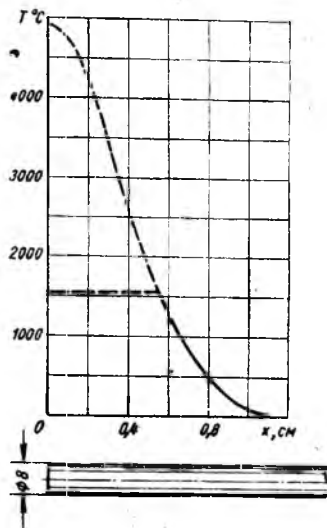
Bunda $b = \frac{\alpha p}{c\gamma F}$ - ko'ndalang kesimi yuzi $F \text{ sm}^2$ va perimetri $r \text{ sm}$ bo'lgan sterjenning yon sirtidan issiqlik berilishini hisobga oluvchi koeffitsient. Bu holda harorat faqat bitta o'qlar koordinatasi x ga bog'liq bo'ladi.

2-misol. 1-misolning shart sharoiti uchun, manbaning to'plangan oniy manba, deb faraz qilib payvandlash jarayonining ohirida ($t = 0,8 \text{ sek}$) shpilkani uzunligi bo'yicha haroratning taqsimlanishini hisoblaymiz. Shpilkani bu diametri uchun ($\varnothing 8 \text{ mm}$, $F = 0,5 \text{ sm}^2$) sirtqi issiqlik berilishini hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki qizish jarayoni qisqa vaqtlidir: shpilkani tok bilan qizdirilishini ham inobatga olmaymiz:

$$T(x;0,8) = \frac{2770}{1,25 \cdot 0,5 \sqrt{4\pi \cdot 0,08 \cdot 0,8}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot 0,8 \cdot 0,8}\right) = 4950 \exp\left(-\frac{x^2}{0,258}\right)$$

Hisoblangan payvandlash jarayoni oxirida haroratning taqsimlanishi 1.13- rasmda ko'rsatilgan.

Bu payvandlash rejimida shpilka uchining harorati uchining tekisligidan taxminan 5 sm oraliqda metallning erish haroratidan yuqori bo'lib chiqdi, shu bois payvandlashning mavjud sharoitida shpilka 4–5 mm uzunlikda erishi ehtimoldan holi emas.



1.13-rasm. Payvandlash jarayonining oxirida shpilkaning uzunligi bo'yicha harorat taqsimlanishi.

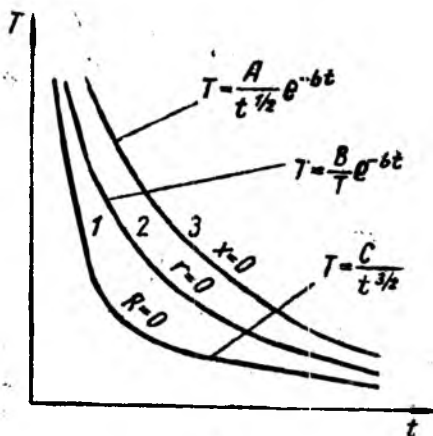
Nuqtaviy, chiziqli va yassi oniy issiqlik manbayi qo'yilgan markazdagi harorat mos ravishda (16, 17 va 18) tenglamalardan ifodalanadi, bunda $R = 0$, $r = 0$, $x = 0$ deb faraz qilinadi:

$$\text{Nuqtaviy manba } T(0, t) = \frac{2Q}{c\gamma(4\pi \cdot at)^{1/2}} = \frac{C}{t^{1/2}}; \quad (1.7.4)$$

$$\text{Chiziqli manba } T(0, t) = \frac{Q}{4\pi\lambda\alpha t} e^{-bt} = \frac{B}{t} e^{-bt}; \quad (1.7.5)$$

$$\text{Yassi manba } T(0, t) = \frac{Q}{c\gamma F(4\pi \cdot at)^{1/2}} e^{-bt} = \frac{A}{t^{1/2}} e^{-bt}. \quad (1.7.6)$$

Haroratning vaqt bo'yicha o'zgarishi jismning shakliga bog'liq bo'lgan issiqlik tarqalish jarayoni turiga bog'liqdir. Manba qo'yilgan nuqtadan keluvchi issiqlik oqimi qancha kam siqilgan bo'lsa, sovish jarayonida harorat shuncha keskin pasayadi (1.14 - rasm).



1.14-rasm. Manba qo'yilgan nuqtada jismining shakliga bog'liq holda haroratning o'zgarishi:

1 – yarimcheksiz jism; 2 – plastina; 3 – sterjen

1.8. YARIMCHEKSIZ JISM SIRTINING NUQTAVIY MANBA BILAN QIZDIRILISHI

Qator hollarda yoy yordamida payvandlashdagi hodisalarni sxemalashtirar ekanmiz, issiqlik manbalarini oniy deb qabul qilamiz, ya'ni yoyda ajralib chiqqan issiqlikning hammasi buyumga qizish jarayonining boshidayoq kiritilgan, deb hisoblaymiz. Aslida esa ular odatda vaqt bo'yicha taqsimlangan bo'ladi, ya'ni manbaning issiqligi qandaydir vaqt oralig'ida ajralib chiqadi. Bunday manbalar **uzluksiz ta'sir qiluvchi** (ishlovchi) manbalar deb ataladi. Ular buyumda ko'chish turiga ko'ra qo'zg'almas yoki qo'zg'aluvchan (buyumda o'sha yoki boshqa tezlikda ko'chuvchi) bo'lishi mumkin.

Uzluksiz ta'sir qiluvchi issiqlik manbalari issiqligining tarqalish jarayonlariga oid masalalarni yechish qo'shilish tamoyilidan foydalanishdan iborat, buning uchun uzluksiz manba ta'sirining t oralig'i cheksiz kichik dt elementlarga bo'linadi, manba ta'sir qila boshlagandan keyin dt vaqt ichida ajralib chiqqan dQ issiqlikning

elementar miqdorlari esa tegishli vaqtda qo'yilgan oniy nuqtaviy manbalar sifatida qaraladi. Qo'shilish (qo'shish) tamoyiliga ko'ra, uzluksiz manba ta'sirining t paytidagi istalgan nuqtaning harorati dQ quvvatli barcha elementar manbalar haroratlarining yig'indisi, deb qaraladi.

Qizish vaqtida jarayonning boshida manba yonida yuzaga kelgan haroratning ko'tarilish sohasi vaqt o'tishi bilan kattalashadi va muayyan doimiy o'lchamlarga tomon intiladi; bunday holat **chekli** yoki **barqarorlashgan** holat deyiladi. Shu sababli buyumni o'zgarmas quvvatli manba qizdirishi jarayoni ikki davrga bo'linadi:

1-davr – issiqlik bilan to'yinish davri bo'lib, bu paytda manba bilan bog'langan qizigan zonaning o'lchamlari kattalashadi. Issiqlik bilan to'yinish davri odatda uzoqqa cho'zilmaydi, uning boshlanganini tovlanish ranglariga qarab taxminan aniqlash mumkin:

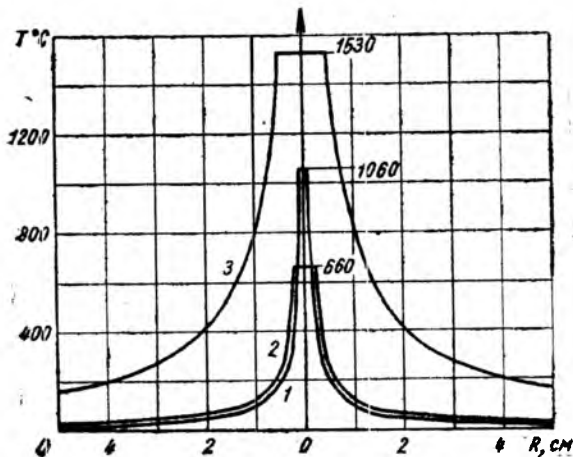
2-davr – issiqlik tarqalish jarayonining chekli yoki barqarorlashgan holati davri bo'lib, bunda harorat maydoni o'zgarmasligicha qoladi.

Issiqlik manbayi qo'zg'almas bo'lganda chekli holatning qo'zg'almas harorat maydoni **statsionar** maydon deb ataladi. Manba qo'zg'aluvchan bo'lganda u bilan bog'langan chekli holatning harorat maydoni **kvazistatsionar** maydon deyiladi.

Yarimcheksiz jism o'zgarmas quvvati $q = \text{const}$ bo'lgan qo'zg'almas nuqtaviy manba bilan qizdirilganda chekli holatning harorat maydoni quyidagicha ifodalanadi:

$$T(R) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \quad (1.8.1)$$

Harorat faqat radius R va metallning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ ga bog'liq bo'ladi (1.15 - rasm).



1.15-rasm. Yarimcheksiz jism $q = 500$ kal bo'lgan qo'zg'almas nuqtaviy manba bilan qizdirilganda metall issiqlik o'tkazuvchanligining chekli holat haroratining taqsimlanishiga ta'siri:

1 - $\lambda = 0,9$ bo'lgan qizil mis; $\lambda = 0,65$ bo'lgan aluminiy; $\lambda = 0$, kal/sm sek $^{\circ}\text{C}$ bo'lgan kam uglerodli po'lat

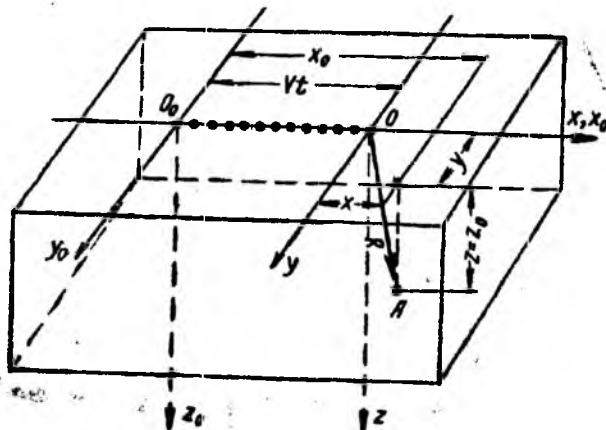
Harorat maydoni 0 nuqtaga nisbatan simmetrikdir, izotermik sirtlar esa kontsentrik yarimsferalar hisoblanadi. Yarimcheksiz jismning sirtidagi o'zgarmasi quvvati $q = \text{const}$ bo'lgan uzluksiz ta'sir qiluvchi nuqtaviy manba chekli holatining harorat maydoni qo'zg'almas koordinatalar tizimi XYZ ga (uning 0 boshida manba turadi,

1.16-rasm) bo'lingan tenglama bilan ifodalanadi:

$$T(R, x) = \frac{q}{2\pi\lambda R} \exp\left(-\frac{VX}{2a} - \frac{VR}{2a}\right), \quad (1.8.2)$$

bunda: R - fazoviy radius – vektor;

x - ko'rib chiqilayotgan A nuqtaning absissasi.



1.16-rasm. Uzlüksiz ta'sir qiluvchi qo'zg'aluvchi to'plangan (nuqtaviy) manbaning yarimcheksiz jism sirtida bo'linish sxemasi.

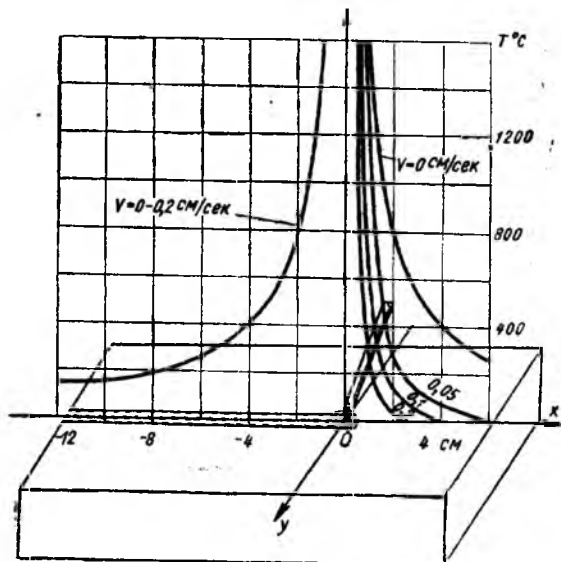
Ta'kidlash joizki, manbaning ko'chish o'qida manbaning orqasida harorat tezlikka bog'liq bo'lmaydi va (1.8.2) tenglama bilan aniqlanadi, manba oldida uning ko'chish o'qidagi ($x = R$) nuqtalar uchun esa tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$T(R) = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-\frac{vR}{a}} \quad (1.8.3)$$

Haroratning OY o'q bo'yicha, ya'ni $x = 0$ bo'lgandagi manbaning ko'chish o'qiga perpendikular yo'nalishda taqsimlanishi quyidagichadir:

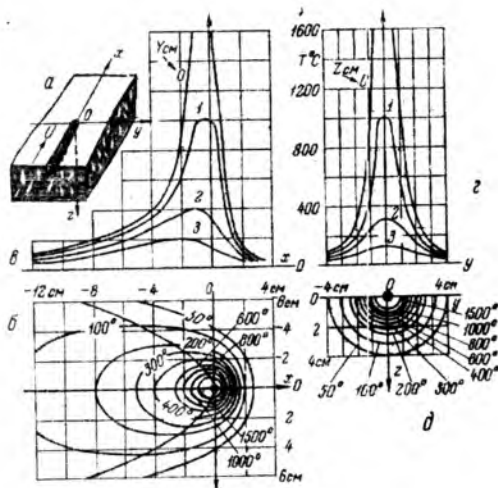
$$T(R) = \frac{q}{2\pi\lambda R} e^{-\frac{vR}{2a}} \quad (1.8.4)$$

Manba ko'chish tezligining yarimcheksiz jismda OX o'qi bo'yicha chekli holat haroratining taqsimlanishiga ta'siri 1.17-rasmda ko'rsatilgan.

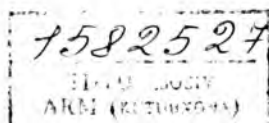


1.17-rasm. Nuqtaviy issiqlik manbai ko'chish tezligining yarimcheksiz jismdagi OX o'qda chekli holat haroratining taqsimlanishiga ta'siri:
 $q = 1000 \text{ kal/sek}$; $\lambda = 0,1 \text{ kal/sm sek } ^\circ\text{C}$; $a = 0,1 \text{ sm}^2 \text{ sek}$.

Yirik buyumga valik eritib payvandlashda (1.8.3) tenglama yordamida hisoblangan chekli holatning harorat maydoni 1.18-rasmda ko'rsatilgan.

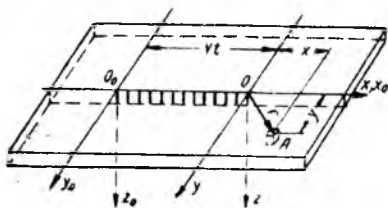


1.18-rasm. Yirik buyumga valik eritib payvandlashdagi chekli holatning harorat maydoni ($q = 1000$ kal/sek; $v = 0.1$ sm/sek; $a = 0.1$ sm²/sek; $\lambda = 0.1$ kal/sm sek °C): a – jism sxemasi; b – XOY sirtidagi izotermalar; $v - y = \text{const}$ bo'lgan manbaning ko'chish o'qidan turli oraliqlarda sirtida haroratlarning taqsimlanishi; g – y o'qda haroratning taqsimlanishi; d – y tekislikdagi izotermalar.



1.9 PLASTINANI CHIZIQLI MANBA BILAN QIZDIRISH

O'zgarmas quvvat q ning chiziqli manbayi 0_0 nuqtaga $t = 0$ paytda qo'yilgan va OX yo'nalishda o'zgarmas tezlik V bilan ko'chadi (1.19-rasm).



1.19-rasm. Plastinadagi uzluksiz ta'sir qiluvchi chiziqli manbaning taqsimlanish sxemasi.

Manba uzoq muddat cheksiz $t \rightarrow \infty$ ta'sir qilganda δ qalinlikdagi cheksiz plastinada ushbu tenglama bilan ifodalangan harorat maydoni qaror topadi:

$$T(r, x) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{vx}{2a}\right) K_0\left(r \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b}{a}}\right), \quad (1.9.1)$$

bunda: r – qo'zg'aluvchan harorat maydonidagi manba qo'yilgan 0 nuqtadan olingan A elementning yassi radius-vektori;

$K_0(u)^*$ – ikkinchi tur nolinchii tartibning xayoliy argumentning hos Besselev funksiyasi:

$b = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}$ – yon sirlarning issiqlik berish koeffitsienti.

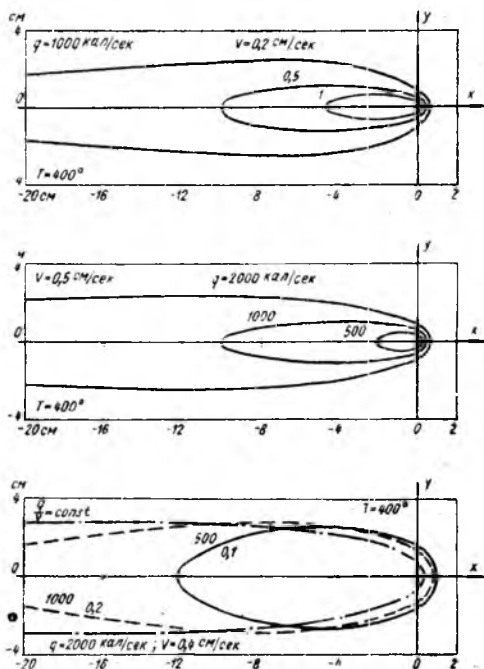
Jism qo'zg'almas manba ($v = 0$) bilan qizdirilgan taqdirda chekli holatning harorat maydoni quyidagicha bo'ladi:

$$T(r) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} K\left(r \sqrt{\frac{b}{a}}\right) \quad (1.9.2)$$

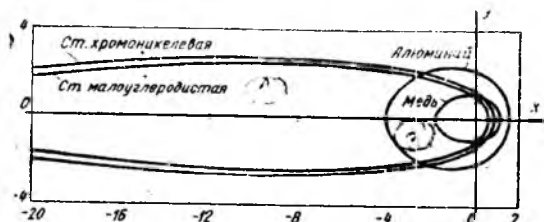
Plastina chiziqli manba bilan qizdirilganda, harorat uning qalinligi bo'yicha o'zgarmas bo'lib qoladi, deb faraz qilinadi.

Harorat maydoni payvandlash rejimi, manba q quvvati, uning ko'chish tezligi v ga (bu parametrlarning ta'siri izotermalar bilan ko'rsatilgan, 400°C), shuningdek rejimning boshqa parametrlari teng bo'lgan taqdirda, payvandlanadigan metallarning issiqlik-fizik xossalriga bog'liq bo'ladi (1.20 - rasm izoterma, 400°C).

* leksiyada foydalaniladigan funksiyalar qiymatlari ilovada grafik tarzida berilgan



1.20-rasm. 1 sm qalinlikdagi plastinada payvandlash rejimi shart sharoitining chekli holat harorat maydoniga ta'siri.



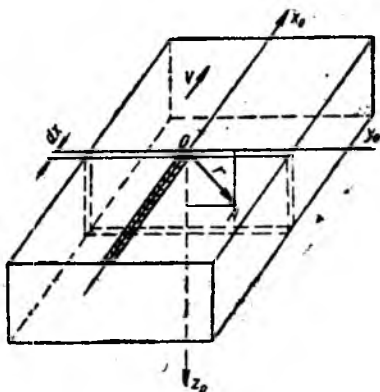
1.21-rasm. 1 sm qalinlikdagi plastinada metall issiqlik-fizik xossalarning chekli holat harorat maydonining turiga ta'siri.

1.9.1. Tez harakatlanuvchi quvvatli manbalar

Payvandlash tezligi oshgani va manbalarning quvvati ortgani sayin muayyan haroratgacha qizigan sohalar kattalashadi: zonalar uzunligi tezlikka mutanosib ravishda kattalashadi, eni esa kengayib ma'lum chegaraga etishga intiladi. Izotermalar manba o'tib bo'lgan sohada harakatlanib ancha cho'ziladi. Maydonning kattagina uzunligida ular manbaning ko'chish o'qi OX ga deyarli parallel bo'lib qoladi, bu esa $\frac{q}{v} = \text{const}$ gradiyent kichikligi oqibatida OX yo'nalishida issiqlik tarqalishini hisobga olmaslik imkonini beradi.

Manba quvvati cheksiz o'sib borgan ($q \rightarrow \infty$), tezlik ham $v \rightarrow \infty$ bo'lgan, ularning nisbati o'zgarmasligicha $\frac{q}{v} = \text{const}$ qolgan holdagi harorat maydonining shaklini qarab chiqamiz.

Yarimcheksiz jism sirtidagi nuqtaviy manba. Manba tezligi v cheksiz oshganda, 0 nuqtada ajralib chiqqan issiqlikning elementar miqdori (1.22-rasm) manbaning ko'chish o'qi OX ga perpendikular bo'lgan yo'nalishdagina tarqaladi, deb hisoblash mumkin.



1.22-rasm. dx qalinlikdagi hisoblangan plastinalarni yarimcheksiz jismdan ajratib ko'rsatish sxemasi.

Shunday qilib, issiqlikning tarqalish jarayonini yassi deb, manbani esa yon sirlari issiqlikni o'tkazmaydigan dx qalinlikdagi

plastinadagi oniy chiziqli manbaga ekvivalent. deb hisoblash mumkin. Bu holda chekli harorat maydonining tenglamasi quyidagicha bo'ladi:

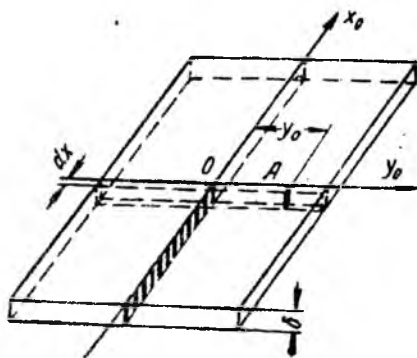
$$T(y_0, z_0, t) = \frac{q}{2\pi\lambda\gamma t} e^{-\frac{y_0^2 + z_0^2}{4at}} \quad (1.9.3)$$

bunda: t – manba ko'rib chiqilayotgan A nuqta joylashgan Y_0OZ_0 tekislikni (1.22-rasm) kesib o'tgan paytdan boshlab hisoblanadigan vaqt;

y_0, z_0 – A nuqtaning buyum bilan bog'langan qo'zg'almas koordinatalari.

Plastinadagi chiziqli manba. Plastina tez harakatlanuvchi quvvatli chiziqli issiqlik manbayi bilan qizdirilganda issiqlik tarqalish jarayonining chekli holati tenglamasi (1.23-rasm) quyidagichadir:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{\nu\delta\sqrt{4\pi\lambda c t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4at} - bt\right) \quad (1.9.4)$$



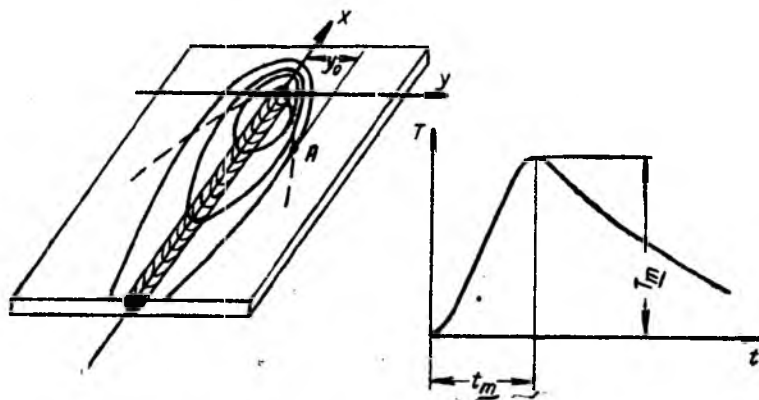
1.23-rasm. Plastinada dx qalinlikdagi hisoblangan sterjenlarni ajratib ko'rsatish sxemasi.

A elementning harorati faqat bitta koordinata y_0 ga bog'liq.

Issiqlik tarqalish jarayonini chiziqli deb. manbani esa sterjendagi oniy tekis manbaga ekvivalent, deb hisoblash mumkin.

1.10 TERMIK SIKL VA ENG YUQORI HARORATLAR

Qo'zg'almas issiqlik manbalari ta'sir qilganda (ishlaganda) jism istalgan nuqtasining harorati ko'tarilib, chekli holatga intiladi, bu holatga yetgandan keyin u. manba qancha uzoq vaqt ta'sir qilmasin, o'zgarmasligicha qoladi. Issiqlik manbalari qo'zg'aluvchan bo'lganda manba bilan bog'langan harorat maydoni buyum bo'ylab ko'chadi. Chekli holatda harorat maydonining ko'chish tezligi manbaning ko'chish tezligiga teng bo'ladi. Jism istalgan nuqtasining harorati, unga harorat maydoni yaqinlashgani sayin, ko'tarila borib, muayyan eng katta qiymatga etadi va harorat maydonining keyingi ko'chishida pasaya boshlab, atrof muhit haroratiga yetishga intiladi. Jism berilgan nuqtasi haroratining vaqt bo'yicha bunday o'zgarishi termik sikl deb atalib, grafik tarzda harorat – vaqt koordinatalarida tasvirlanadi (1.24-rasm). Termik sikl buyumda haroratning taqsimlanishi bilan bog'langan. Buyumning har bir nuqtasi o'zining xususiy termik sikli bilan tavsiflanadi.



1.24-rasm. Harorat maydoni va termik siklning grafik tasviri.

Jism har bir nuqtasining termik sikli eng yuqori (maksimal) harorat T_m va unga yetish vaqti t_m bilan tavsiflanadi, bu vaqt ko'rib chiqilayotgan nuqta turgan jism kesimini manba kesib o'tgan paytdan boshlab hisoblanadi.

Yarimcheksiz jism sirtidagi tez harakatlanuvchi nuqtaviy issiqlik manbai va plastinadagi chiziqli manba uchun t_m va T_m mos ravishda quyidagicha aniqlanadi.

Nuqtaviy manba uchun:

$$t_m = \frac{r_x^2}{4a} \quad (10.1)$$

va

$$T_m(r) = \frac{0,368q}{\frac{\pi}{2} \gamma c r_x^2} \quad (10.2)$$

Bunda $r_x^2 = y_0^2 + z_0^2$ – yassi radius vektor kvadrati, ya'ni A nuqtadan manba ko'chadigan OX o'qqacha bo'lgan oraliq (1.23-rasmga qarang).

Chiziqli manba uchun:

$$\frac{y_0^2}{4at_m} = \frac{1}{2} + bt_m \quad (10.3)$$

va

$$T_m(y_0) = \frac{0,484q}{\gamma c \gamma \delta \cdot 2y_0} \left(1 - \frac{by_0^2}{2a} \right) \quad (10.4)$$

bunda y_0 – berilgan nuqtadan manbaning ko'chish o'qigacha bo'lgan oraliq (1.24-rasm).

3-misol. Yirik buyumga yoy yordamida qo'lda valik eritib qoplashda va 5mm qalinlikdagi listni (CT3 markali po'lat) uchma-uch payvandlashdagi eng yuqori harorat T_m va chok o'qidan 1,0 sm oraliqdagi nuqtada shu haroratga yetish vaqti t_m aniqlansin. Metallning hajmiy issiqlik sig'imi $c\gamma = 1,25 \text{ kal/sm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$, harorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti $a = 0,08 \text{ sm}^2/\text{sek}$, plastinalarning harorat berish koeffitsienti $b = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/sek}$. Ikkala hol uchun rejim bir xil: tok: $I = 140 \text{ A}$, yoydagi kuchlanish $U = 20 \text{ V}$, payvandlash va eritib qoplash tezligi $v = 0,25 \text{ sm/sek}$.

Samarali f.i.k. $\eta = 0,70$, $q = 0,24 \cdot 0,70 \cdot 20 \cdot 140 = 170 \text{ kal/sek}$ bo'lganda yoyning samarali quvvati quyidagilarni tashkil etadi.

Valik eritib qoplashda:

$$t_m = \frac{l^2}{4 \cdot 0,08} = 3,1 \text{сек.}$$

$$T_m(l) = \frac{0,368 \cdot 470}{\frac{\pi}{2} \cdot 0,25 \cdot 1,25 \cdot l^2} = 350^\circ \text{C.}$$

Listlarni uchma-uch payvandlashda:

$$\frac{l^2}{4 \cdot 0,08 t_m} = \frac{1}{2} + 0,25 \cdot 10^{-3} t_m.$$

bundan $t_m = 6,2 \text{сек.}$

$$T_m(l) = \frac{0,484 \cdot 470}{0,25 \cdot 1,25 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot l} \left(1 - \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \cdot l^2}{2 \cdot 0,08} \right) = 715^\circ \text{C}$$

Shunday qilib, yirik buyumga valiklar eritib qoplashda bir xil rejim sharoitida eng yuqori harorat va unga erishish vaqti listlarni uchma uch payvandlashdagidan kam ekan. Ta'kidlash kerakki, bu ifodalardan foydalanib boshqa masalalarni ham yechish, masalan, berilgan eng yuqori haroratga qarab mazkur haroratdan yuqori haroratgacha qizish sohasining enini va hokazolarni aniqlash mumkin.

1.11 ELEKTRODLAR VA ELEKTROD SIMNING QIZISHI VA ERISHI

1.11.1. Elektrodلarning tok bilan qizishini hisoblash

Payvandlash jarayonida elektrodلar yoki payvand simi avtomatik payvandlashda tok bilan yoy yaqinida esa yoyda ajraladigan issiqlik yordamida qiziydi.

Elektrodلarning tok bilan qizishini hisoblash eng keng tarqalgan elektrodلar bilan payvandlashda olingan tajriba ma'lumotlari asosida metallning solishtirma qarshiligi temperaturasi va issiqlik-fizik (tabiiy) koeffitsientlariga bog'liqligini hisobga olgan holda ko'rilgan (1.1-jadvalga qarang).

Hisoblash qizitishning (isitishning) o'lchovsiz parametrlarini bog'lovchi nomogramma yordamida olib boriladi (1.25-rasm). Elektrodلarning tok bilan qizishini hisoblash metodlarini aniq sonli misollarda ko'rib chiqamiz.

1.1-jadval

Elektrod turi		Tok jinsi	A $\frac{MW^2 \cdot ^\circ C}{A^2 \cdot ^\circ C}$ 10^{-2}	$D_1, ^\circ C$	m $\frac{MW^2 \cdot ^\circ C}{A^2}$
sim	qoplama				
kamuglerod li	oxakli	o'zgarmas o'zgaruvchan	3,1 3,7	240 300	2,65
	OOM-5 YOHИ- 13/55	o'zgarmas o'zgaruvchan	2,4 2,7	200 240	2,5

4-misol. 5 mm diametrli OOM-5 elektrodning $I = 170A$ o'zgaruvchan tokda uning yonishi boshlanganidan 40 sekunddan so'nggi qizish temperaturasi aniqqlang.

Elektroddagi tok zichligi

$$j = \frac{i}{F} = \frac{170}{\frac{\pi d^2}{4}} = 8,7 \text{ A/mm}^2$$

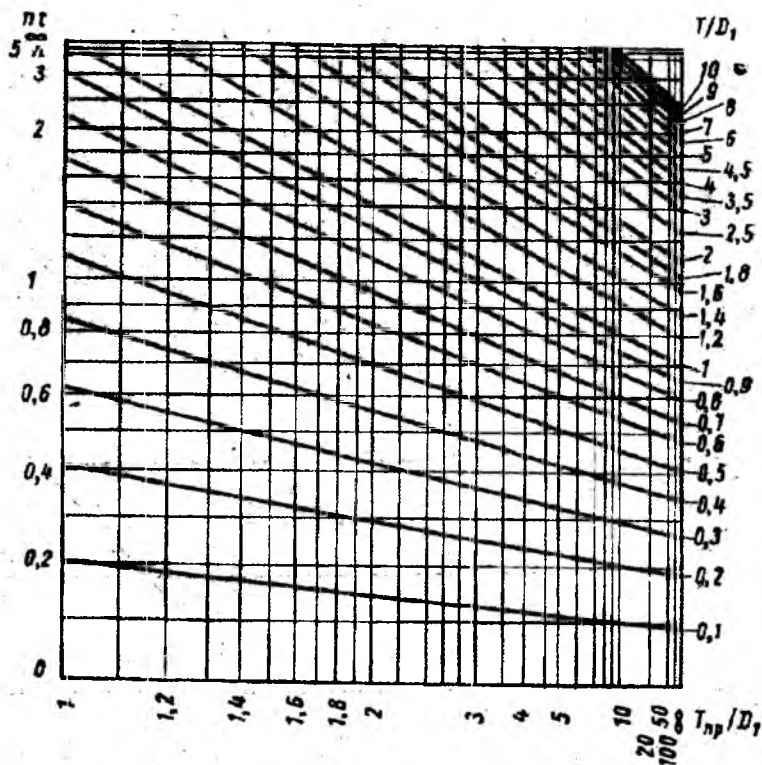
1.1 - jadvaldan o'zgarmas koeffitsientlar

$$A = 2,7 \cdot 10^{-2}; \quad D_1 = 240; \quad m = 2,5$$

Chegaraviy qizish temperaturasi

$$T_{\text{max}} = m \cdot d_1 \cdot j^2 + T_0 = 2,5 \cdot 5 \cdot 8,7^2 + 0 = 945^\circ\text{C} \quad (11.1)$$

bu yerda T_0 – elektrodning boshlang'ich temperaturasi d_1 – elektrod diametri, mm.



1.25-rasm. Kamuglerodli simdan tayyorlangan elektrodlarni tok bilan qizishini hisoblash uchun nomogramma.

Jarayonning o'lchovsiz mezonlari.

$$\frac{T_{\text{qer}}}{D_1} = \frac{945}{240} = 3,94 \quad (11.2)$$

$$\tau t = \frac{A}{m \cdot d_1} \cdot \left(\frac{T_{\text{qer}}}{D_1} + 1 \right) \cdot t = \frac{2,7 \cdot 10^{-2}}{2,3 \cdot 5} (3,94 + 1) \cdot 40 = 0,43 \quad (11.3)$$

Nomogrammaga ko'ra (1.25-rasmga qarang)

$\tau t = 0,43$ o'lchovsiz vaqtga mos keluvchi o'lchovsiz temperatura $\frac{T}{D_1} = 0,4$. U holda $t=40$ sek paytidagi isitish temperaturasi quyidagicha aniqlanadi:

$$T(t) = T(40) = \frac{T}{D_1} \cdot D_1 = 0,4 \cdot 240 = 96^\circ\text{C} \quad (11.4)$$

1.11.2.ELEKTROD SIMNI QIZISHI (ISISHI)

Elektrod simning qizishi elektrodning qizishi kabi hisoblanadi.

5-misol. $I=450\text{A}$ o'zgaruvchan tokda va simning erish tezligi 4 m/sec tezlikda payvandlashda eriyotgan uchda va 50 mm uzunlikdagi o'sib chiqish o'rtasida 3mm diametrlilik elektrod simning qizishini hisoblab toping. Simning istagan kesimining qizish davomiyligi (uzunligi)

$$t = \frac{l}{v} = \frac{5,0}{4} = 1,25 \text{sek}$$

Bizning masofalarga 0,625 sek va 1,25 sek qizish davomiyligi mos keladi.

1.1 - jadvaldan o'zgarmas koeffitsientlar:

$$A = 3,7 \cdot 10^{-2}; D_1 = 300; m = 2,65$$

Elektroddagi tok zichligi

$$j = \frac{I}{\frac{\pi d^2}{4}} = 63,5 \text{ A/mm}^2$$

Isitishning chegaraviy temperaturasi: $T_{\text{qer}} = m d j^2 + T_0$

$$T_{\text{qer}} = 2,65 \cdot 3 \cdot 63,5^2 = 32100^\circ\text{C}$$

Jarayonning o'lchovsiz mezonlari

$$\frac{T_{\text{qoz}}}{D_1} = \frac{32100}{300} = 107$$

$$\pi_{0,625}^+ = \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{2,65 \cdot 3} \cdot (107 + 1) \cdot 0,625 = 0,31$$

$$\pi_{1,25}^+ = \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{2,65 \cdot 3} \cdot (107 + 1) \cdot 1,25 = 0,62$$

π qiymatlarga mos keluvchi o'lchovsiz temperatura (1.25-rasmga qarang):

$$\frac{T}{D_1}(0,625) = 0,37; \quad \frac{T}{D_1}(1,25) = 0,85;$$

Uchib chiqish o'rtasidagi temperatura

$$T = 0,37 \cdot 300 = 110^\circ\text{C} \text{ va eritilayotgan uchdagi temperatura}$$

$$T = 0,85 \cdot 300 = 265^\circ\text{C}$$

Tokning yuqori $j > 40 \div 50 \text{ A/mm}^2$ zichliklarida uzoq muddat qizdirilmaganda hisoblashni chegaraviy temperatura $T_{\text{qoz}} \rightarrow \infty$ faraz qilib, yon sirt orqali issiqlik berishini hisobga olmay, soddalashtirish mumkin.

Simni tok bilan qizdirish tenglamasi

$$T(t) = D_1(e^{\pi t} - 1), \quad (11.5)$$

bunda

$$\pi = \frac{A \cdot j^2}{D_1};$$

$$\text{Misoldagi shartlar uchun } \pi = \frac{3,7 \cdot 10^{-2} \cdot 625^2}{300} = 0,5$$

$$T(t) = 300(e^{0,5t} - 1);$$

$$T(0,625) = 0,37 \cdot 300 = 110^\circ\text{C}$$

$$T(1,25) = 0,86 \cdot 300 = 268^\circ\text{C}$$

1.11.3 Elektrodni va simni payvand yoyi bilan qizitish

Yoy yaqinida elektrodda $T(x)$ temperaturaning taqsimlanishi sterjendagi haroratdagi yassi manbadan issiqlik tarqalish jarayonining chegaraviy holatining tenglamasi bilan tavsiflanadi:

$$T(x) - T_r = (T_k - T_r) \cdot e^{-\frac{\pi x}{a}} \quad (11.6)$$

Bu yerda: x –elektrod chetidan masofa; bunda temperatura tomchilarning o'rtacha T_r temperaturasi ga teng deb qabul qilinadi:

v – elektrodning erish tezligi yoki simni uzatish tezligi, cm/cek .

T_r –sterjenni yoki simni tok bilan isishi (qizishi) temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$.

7-misol. 6-misoldagi shartlar uchun tomchilarning o'rtacha temperaturasi $T_r = 2000^{\circ}\text{C}$, tok bilan qizitish temperaturasi $T_r = 265^{\circ}\text{C}$ va $v = 4 \text{ cm/cek}$ deb faraz qilib, yoy yaqinida simning uchidagi temperaturaning taqsimlanishini hisoblaymiz. Temperatura o'tkazuvchanlik koeffitsienti $a = 0,06 \text{ cm}^2/\text{cek}$ (o'rtacha $600 - 800^{\circ}\text{C}$ temperatura uchun).

$$T(x) - 265 = (2000 - 265) \cdot e^{-\frac{4x}{0,06}} = 1735 \cdot e^{-66,7}$$

Bu yerda v –elektrodning erish tezligi yoki simni uzatish tezligi, cm/cek

x –elektrod chetidan masofa, bunda temperatura tomchilarning o'rtacha temperaturasi. Qirradan 1 mm masofada turgan kesimni payvandlashning bunday rejimda yoyning qizitish temperaturasi bor yo'g'i 3° ni tashkil etadi.

1.2-jadval

x, sm	0	0,05	0,1
$T(x), ^{\circ}\text{C}$	1735-265	70+265	3+265

1.11.4. Elektrod va elektrod simning erishi

Yoyning elektrodga kiritadigan issiqligi elektroddan vannaga o'tadigan tomchilarning o'rtacha temperaturagacha isitishga, eritishga va o'ta qizdirishga sarflanadi. Elektrodning erish koeffitsienti rejim parametrlari bilan quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$\alpha_p = \frac{864 \cdot \eta_k \cdot U}{S_k - S_T} \quad (\text{g/A} \cdot \text{soat}) \quad (11.7)$$

bu yerda η_k – elektrodni yoy bilan qizitishining samarali FIK;

U – yoy bo'yicha kuchlanish, V

S_k va S_T – tomchilarning issiqlik miqdori va elektrod metallning uni tok bilan qizdirish oxiridagi issiqlik miqdori.

Elektrod yoki elektrod simning tok bilan qizitishi qanchalik yuqori bo'lsa, erish koeffitsienti shunchalik katta va erish unumdorligi shunchalik yuqori

bo'ladi. Dastaki yoy bilan payvandlash uchun α_p ning qiymati 5 dan 14 $\text{g/A} \cdot \text{soat}$ gacha chegaralarda bo'ladi va avtomatik payvandlashda esa - 13 dan 23 $\text{g/A} \cdot \text{soat}$ gacha bo'ladi.

Elektrod simni eritish unumdorligini sonli misolda ko'rib chiqamiz.

8- misol. Valikni OCL-45 flyus ostida 810A tokda va yoydagi kuchlanish

36V bo'lganda 5mm diametrli kamuglerodli elektrod sim bilan eritish tajribalarida $l = 60$ mm elektrod uchib chiqishida 17,5 $\text{g/A} \cdot \text{soat}$ ga va 150mm elektrod uchib chiqishida 21.5 $\text{g/A} \cdot \text{soat}$ ga teng bo'ldi.

Doimiy erish jarayonlarini aniqlaymiz:

T_k – tomchilarning o'rtacha temperaturasini va elektrodni yoy bilan isitishning effektiv F.I.K. ni

Eritish koeffitsientiga bog'liq bo'lgan eritish tezligini

$$v = \frac{\alpha_p \cdot I}{3600 \cdot \gamma \cdot F} = \frac{\alpha_p \cdot 810}{3600 \cdot 7,8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,5^2} = 0,146 \alpha_p. \quad (11.8)$$

Munosabatdan aniqlaymiz. 60mm uchib chiqishda eritish tezligi
 $v_1 = 0,146 \cdot 17 = 2,48 \text{ cm/cek}$ bo'ladi, tok ostida bo'lish davomiyligi
 $t_1 = \frac{6}{2,48} = 2,42 \text{ cek}$. 150 mm uchib chiqishda.

$$v_2 = 0,146 \cdot 21,5 = 3,14 \text{ cm/cek}$$

$$t_2 = \frac{15}{3,14} = 4,77 \text{ cek}$$

Qirraning temperaturasi isitish doimiylarini
 $A = 3,7 \cdot 10^{-2}$, $D_1 = 300$; va tok zichligini $j = \frac{810}{\pi \cdot 3^2} = 41 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$ deb qabul
qilib,

$$n = \frac{3,7 \cdot 10^{-2} \cdot 41^2}{200} = 0,207 \frac{1}{\text{cek}}$$

$$T(t) = 300 \cdot (e^{0,207t} - 1)$$

Mos ravishda 60 va 150 mm uchib chiqishda qirrani tok bilan
isitish temperaturasi

$$T_{60} = 300 \cdot e^{0,3} = 229^\circ \text{C}$$

$$T_{150} = 300 \cdot e^{0,998} = 560^\circ \text{C}$$

Elektrod simning doimiy erish jarayonlarini quyidagi
munosabatlardan aniqlaymiz:

$$w_g = \frac{v_1 \cdot v_2 \cdot (T_{150} - T_{60})}{v_2 \cdot T_{150} - v_1 \cdot T_{60}} = \frac{2,48 \cdot 3,14 \cdot (560 - 229)}{3,14 \cdot 560 - 2,48 \cdot 229} = 2,16 \text{ mm/cek} \quad (11.9)$$

$$T_K = \frac{v_2 \cdot T_{150} - v_1 \cdot T_{60}}{v_2 - v_1} = \frac{3,14 \cdot 560 - 2,48 \cdot 229}{3,14 - 2,48} = 1810^\circ \text{C} \quad (11.10)$$

Elektrod simni eritishga issiqlik sarfiga ekvivalent bo'lgan U_s
kuchlanish tushishini

$$U_s = \eta_s \cdot U = \frac{v_0 \cdot c \cdot \gamma \cdot T_K}{0,241} = \frac{2,16 \cdot 1,25 \cdot 1810}{0,24 \cdot 4100} = 5B \quad (11.11)$$

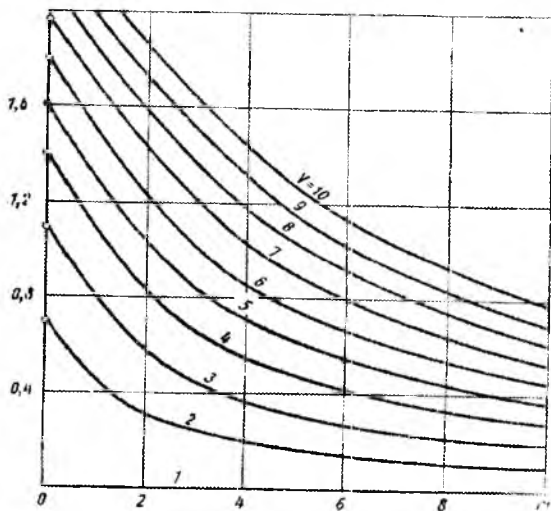
Tenglamadan va elektrod simning erish jarayoni effektiv foydali ish ko'effitsientini tenglamadan aniqlaymiz.

$$\eta_3 = \frac{U_3}{U_2} = \frac{5 \cdot 100}{36} = 14\% \quad (11.12)$$

T_K va η_3 elektrod simni eritishning tajriba ma'lumotlari asosida hisob-kitob bilan aniqlangan. Ularni rejimning boshqa teng qiymatlarida uchib chiqishning boshqa qiymatlarida elektrod simni eritishni hisoblash uchungina foydalanish mumkin. $l = 9$ sm chiqib turgan uzunlikda eritish ko'effitsientini hisoblaymiz. Jarayonning o'lchovsiz mezonlari:

$$v = \frac{T_K + D_1}{T_0 + D_1} = \frac{1910 + 300}{20 + 300} = 6,60; \quad (11.13)$$

$$\mu = \frac{T_K \cdot v_0}{\pi l (T_0 + D_1)} = \frac{1910 \cdot 216}{3,14 \cdot 9 (20 + 300)} = 6,65 \quad (11.14)$$



1.26-rasm. μ va v rejim mezonlari bo'yicha uchib chiqish isitishi davomiyligi mezonini aniqlash uchun nomogramma.

Grafik bo'yicha (1.26-rasm) μ va v ning qiymatlariga mos $\tau = 0,7$ qiymatini topamiz.

Erish tezligi

$$v_p = \frac{n \cdot l}{\tau} = \frac{0,267 \cdot 9}{0,7} = 2,66 \text{ cm/cox} \quad (11.15)$$

va $l = 9 \text{ cm}$ chiqib turgan uzunlikda

$$\alpha_p = \frac{2,66}{0,146} = 18,2 \text{ r/A} \cdot \text{cox}$$

1.12. ASOSIY METALLNI PAYVAND YOYI BILAN ERITISH

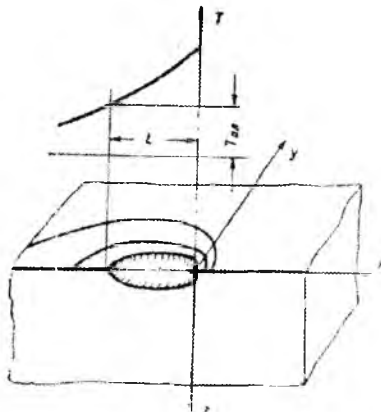
Payvand yoyini yondirish vaqtida metall sirti bir zumda eriydi, erigan metall esa isitish dog'ida issiqlik yuqori darajada to'planishi oqibatida qaynash temperaturasigacha qizib ketadi.

Yoy yongan sari erigan metall sohasi kattalashib boradi va metallning sirtida payvand vannasini tashkil etadi. Vannaning o'lchamlari, uning shakli, rejimning bir qator texnologik parametrlarga va payvandlanadigan metallning fizik-kimyoviy xossalariga bog'liq. Issiqlikning tarqalishi jarayonlari nazariyasi yoyli elektr-payvandlashda payvand vannasi va erish hududi chegaralarining hosil bo'lishining ayrim qonuniyatlarini o'rnatishga imkon beradi. Ularni ko'rib chiqamiz.

1.12.1. Vannaning o'lchamlari

Erigan metall vannasi o'lchamlarini chegaraviy holatning $T = T_{sp}$ izotermik sirtini hisoblab aniqlash mumkin. Tor valikni massiv jism sirtiga eritib qoplashda chegaraviy holatdagi manba siljish o'qidagi nuqtalarning temperaturasi

$$T(0, t) = \frac{q}{2\pi \cdot \lambda \cdot v \cdot t}; \quad (12.1)$$



1.27-rasm. Massiv buyumga valikni eritib qoplashda vannaning uzunligini topish sxemasi.

Yoyning koʻrilayotgan nuqtadan kesib oʻtgandan keyin oʻtgan t vaqtiga teskari proportsional boʻladi.

(12.1) ifodadan massiv buyumga tor valik eritib qoplashda vannaning uzunligi (1.27-rasm), formuladan aniqlanadi.

$$L = r_{sp} = \frac{q}{2\pi \cdot \lambda \cdot T_{sp}} \quad (12.2)$$

Bu yerda r_{sp} – metall vannasining erish temperaturasidan yuqori boʻlish davomiyligi.

9-misol. Tor valikni $q=2500$ kal quvvatligi payvand yoyi bilan kam uglerodli poʻlatdan qilingan massiv plastinka sirtiga eritib qoplashdagi vanna uzunligini metallning erish temperaturasini $T_{sp} = 1530^{\circ}\text{C}$ deb hisoblab aniqlaymiz.

$$L = \frac{2500}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 1530} = 3\text{sm}$$

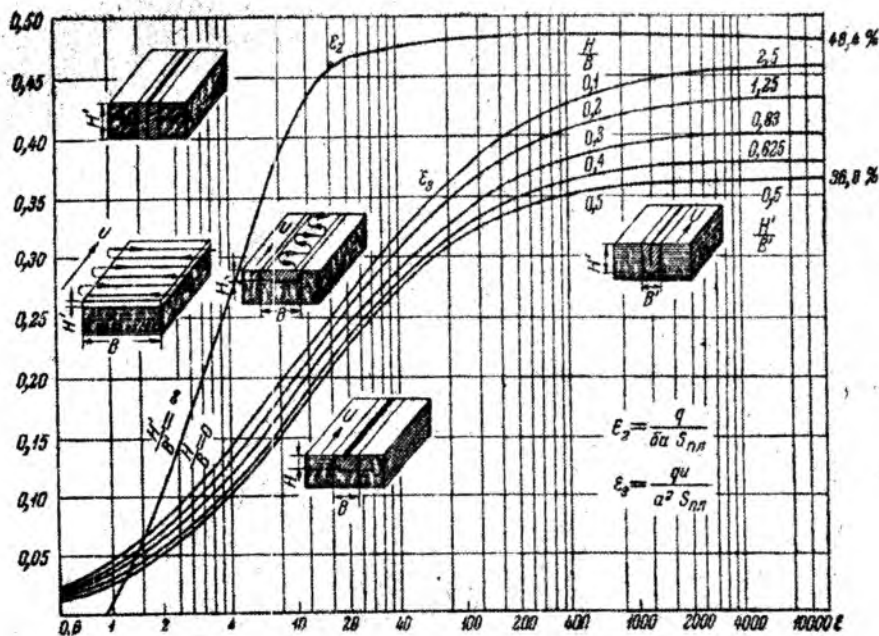
1.12.2. Eritib qoplash (quyish) jarayonining issiqlik samaradorligi.

Vaqt birligida asosiy metallni eritish uchun zarur bo'lgan issiqlik sarfining yoyning to'liq issiqlik quvvatiga nisbatini ifodalovchi η to'liq issiqlik foydali ish koeffitsienti bilan tavsiflanadi:

$$\eta_{\text{to'liq}} = \frac{\gamma \cdot F_{\text{er}} \cdot S_{\text{sp}}}{0.24 \cdot I \cdot Q} \quad (12.3)$$

Buyumni isitishga yoy issiqligining faqat bir qismidan foydalanadi, qolgan qismi esa atrof muhitda yo'qoladi. O'z navbatida metallni isitish va eritishga yoyning samarali quvvatining bir qismi sarflanadi, issiqlikning qolgan qismi esa suyuq metall vannasini T_{sp} dan yuqoriroq isitishga va o'rab olgan metall massasini isitishga sarflanadi. Bu sarflar metall manbalari va issiqlik o'tkazuvchanligi oqibatida muqarrardir. Shuning uchun eritib qoplangan jarayonining samaradorligi **termik foydali ish koeffitsienti** bilan tavsiflanadi:

$$\eta_t = \frac{\gamma \cdot F_{\text{er}} \cdot \gamma \cdot S_{\text{sp}}}{q} \quad (12.4)$$



1.28-rasm. Valikni massiv jism sirtiga eritib qoplashda va yupqa listlarni uchma-uch payvandlashda η_z termik foydali ish koeffitsientini hisobiy aniqlash grafigi.

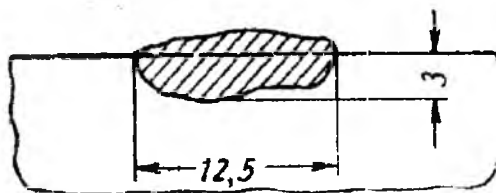
$\eta_{\text{sp}} = \eta_{\text{u}} \cdot \eta_z$ Jarayonning to'liq issiqlik foydali ish koeffitsienti issiqlik jarayonlarini tashkil etuvchilarning samaradorligini baholovchi koeffitsientlarning ko'paytmasiga teng. Yoy bilan payvandlashda eritib qoplash jarayoning eng katta nazariy termik foydali ish koeffitsientlari quvvatli va tez harakatlanuvchi manbalar bilan isitish jarayonlariga mos keladi va valikni massiv buyum sirtiga eritib qoplashda $\eta_z = 0.368$ ni tashkil etadi (yarimcheksiz jism sirtidagi kuchli tez harakatlanuvchi nuqtaviy manba) va listlarni uchma-uch bir o'tishda payvandlashda

$\eta_z = 0.484$ ni tashkil etadi (plastinada kuchli tez harakatlanuvchi chiziqli manba). Birinchi holda eritib qoplash yuzi eritish chuqurligi H ning uning eniga nisbati $\frac{H}{B} = 0.5$ ga teng bilan tavsiflanadi, ikkinchi

holda esa $\frac{R}{E} = 0$, bunda eritib qoplash butun list qalinligi bo'ylab yuz bermaydi va $\frac{R}{E}$ oraliq qiymatlarga ega bo'ladi. Termik foydali ish koeffitsienti η_t ni hisoblash nommogramasi 1.26-rasmda keltirilgan.

10-misol. Valikni dastaki ravishda 25mm qalinlikdagi listga eritib qoplash jarayonining termik foydali ish koeffitsientini hisoblab chiqish zarur. Rejim: o'zgaruvchan tok kuchi $I = 200A$, yoydagi kuchlanish $U = 20V$, diametri 5mm bo'lgan elektrod УОИИ-13/55, payvandlash tezligi 0,1sm/sek. Effektiv isitish foydali ish koeffitsientida $\eta_t = 0,70$ da yoyning effektiv quvvati $q = 0,24 \cdot 0,70 \cdot 200 \cdot 20 = 675 \text{ кал/сек}$ bo'ladi.

Bunda eritib quyish (qoplash) hududining yuzi (shlifda o'lchamlar bo'yicha) $B=12.5\text{mm}$ va chuqurlik $H = 3\text{mm}$ bo'lganda $F_{ap} = 32\text{mm}^2$ bo'ladi (1.29-rasm).



1.29-rasm. Valikning ko'ndalang kesimi (eritib quyish(qoplash) termik foydali ish koeffitsientini hisoblashga doir misolga).

η_t ni aniqlash uchun o'lchovsiz mezon ε ni bilish zarur. Valikni massiv buyum sirtiga eritib quyishda (qoplashda) uning qiymati.

$$\varepsilon_2 = \frac{q \cdot v}{a^2 \cdot S_{ap}}; \quad (12.5)$$

va yupqa metallarni payvandlashda bo'ladi.

$$\varepsilon_2 = \frac{q}{\delta \cdot a \cdot S_{ap}}; \quad (12.6)$$

bu yerda δ –plastinalarning qalinligi, sm.

Ko'rilayotgan holat uchun eritilgan metallning $S = 2500 \text{ кал/сек}$ issiqlik miqdori.

$$\varepsilon_2 = \frac{67 \cdot 0,1}{0,08^2 \cdot 2500} = 4,2$$

Eritish chuqurligi hududining chegaralarini tavsiflovchi nisbat

$$\frac{H}{B} = \frac{3}{12,5} = 0,24.$$

Grafik bo'yicha (1.28-rasmga qarang)

$\varepsilon_2 = 4,2$ va $\frac{H}{B} = 0,24$ qiymat uchun termik foydali ish koeffitsienti

$\eta_f = 0,125$ ni topamiz. Eritish chuqurligi jarayonining issiqlik f.i.k.

$$\eta_{np} = \eta_s \cdot \eta_f = 0,70 \cdot 0,125 = 0,0875 = 0,09$$

Mazkur holda yoyda hosil bo'lgan issiqlikning faqat 9% asosiy metallni eritish uchun sarflanadi. Qolgan issiqlik yoy oralig'ida shu hududda metallni o'ta qizdirishga va o'rab turgan metallni isitishga sarflanadi.

1.12.3. Eritib qoplash va eritish chuqurligi jarayonlari unumdorligi

Payvand yoyi umumiy quvvatini nisbatan yengilgina tartibga solishda uning buyum va elektrod orasidagi issiqlikning taqsimlashini tartibga solish cheklangan. Buyumning berilgan o'lchamlarida va shaklida eritib chuqurlangan asosiy holda eritilgan elektrod metallari miqdorlari orasidagi nisbatni rejim shartlarini tanlash bilan belgilanadi: tok, yoydagi kuchlanish, yoyning buyum bo'yicha siljishi tezligi tavsifi, elektrod qoplamasi diametri va turi. Yoyli payvandlash jarayoni unumdorligining asosiy o'lchovi asosiy metallning eritib qoplangan g_n og'irliklarining yig'indisi hisoblanadi. Eritib qoplash unumdorligi elektrod metallning unumdorligi bilan

$$g_n = g_p(1 - \psi) \quad (12.7)$$

munosabat orqali bog'langan, bu yerda ψ –elektrod metallini vannaga quyish (qoplash) va sachrashdagi o'tishidagi va hamda vannadagi qisman yo'qotishlarni hisobga oluvchi koeffitsient.

Ochiq yoy bilan payvandlashda – qiymat 5 dan 20% chegaralarida o'zgaradi. flyus ostida payvandlashda esa 1dan 2% gacha o'zgaradi.

Eritib qoplash ko'ndalang kesimi yuzi

$$F_H = \frac{Q_{\text{er}} \cdot F \cdot (1 - \psi)}{3600 \cdot \gamma \cdot \nu}; \quad (12.8)$$

munosabatdan, eritilgan chuqurlik hududi yuzi

$$F_{\text{up}} = \frac{0.24 \cdot T \cdot U}{\nu \cdot \gamma \cdot S_{\text{er}}} \cdot \eta_{\text{up}} = m_z \cdot \eta_z \cdot \frac{Q}{\nu}; \quad (12.9)$$

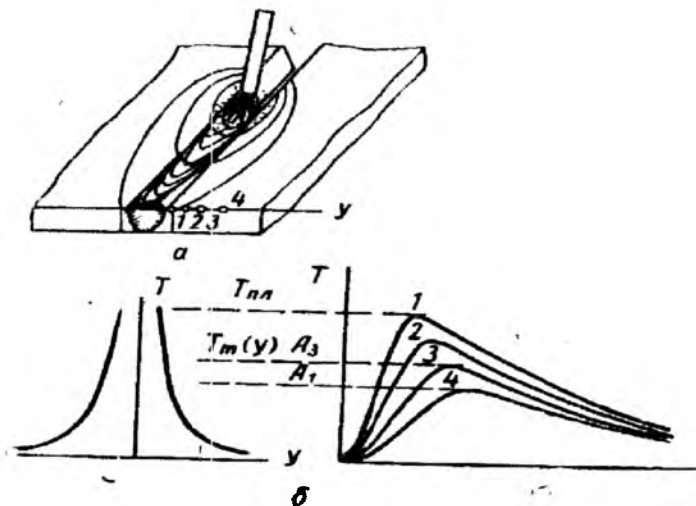
munosabatdan aniqlanadi. bunda $m_z = \frac{1}{\nu \cdot S_{\text{er}}}$ – metallning issiqlik fizik xossalariga bog'liq doimiy.

1.13 ASOSIY METALLNING TERMİK SIKLI HISOB-KITOB LARI

1.13.1. Tarkibiy o'zgarishlarni tartibga solish

Eritib payvandlashda manba issiqligi buyumning chetlarini isitadi va eritadi hamda metallning ichkarisiga tarqaladi. Payvand chokiga yaqin asosiy metall hududida temperatura tez ko'tarilib, erish temperaturasi ga yaqinlashadi va keyin buyumning o'rtacha temperaturasi ga intilib, asta-sekin pasayadi.

Temperaturaning vaqt o'tish bo'yicha bunday o'zgarishi payvandlashning termik sikli deb atalib, payvandlash jarayonining asosiy metallga issiqlik ta'sirini ifodalaydi.

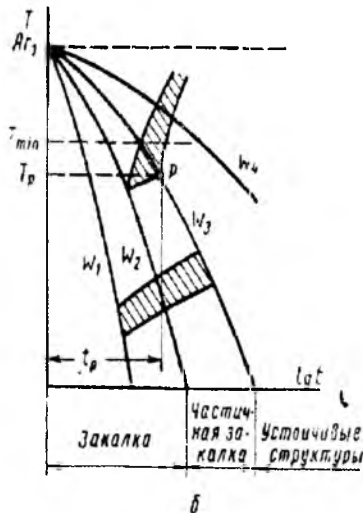


1.30-rasm. Listlarni uchma-uch payvandlashda uglerodli po'latni termik ta'sir hududining termik sikllari:

a - payvand choki sxemasi; b - ko'ndalang kesim bo'yicha temperaturaning taqsimlanishi va termik ta'sir hududining 1. 2. 3. 4 - nuqtalaridagi termik sikllar.

Termik ta'sir hududida asosiy metallga o'ziga xos termik ishlov beriladi. bunda bu hududda metallning tuzilishi isishi va sovitish termik sikllariga muvofiq o'zgaradi. Erish chegarasidan turlicha uzoqlashgan hudud qatlamlarining termik sikllari bir xil emas. shuning uchun payvand birikma bir jinsli bo'lmagan tuzilmali iborat. Termik sikl payvandlash rejimi parametrlarining payvand birikma asosiy metallni tuzilmasining o'zgarishlariga ta'sirini baholash uchun asos bo'lib hisoblanadi. Asosiy metallda tuzilmasining o'zgarish jarayonlarini tartibga solish uchun quyidagilar zarur:

a) termik ta'sir hududida termik siklning payvandlash rejimi shartlariga, buyumning geometriyasiga. isitish temperaturasiga va payvandlash kechadigan tashqi sharoitlarga bog'liqligini aniqlash:



1.31-рasm. Аустенитни yemirilish diagrammasi:

a - izotermik sovitish; b- uzluksiz sovitish

b) temperatura o'zgarishining u yoki bu yoki terin sikli payvand birikmaning tuzilishiga va mexanik xossalari qanday ta'sir etishini aniqlash. Payvandlash jarayonining issiqlik ta'sirini har biri o'zicha qabul qiladigan, sanoatda qo'llaniladigan turli xil po'lat markalarining katta miqdori har bir alohida holda shunday bir payvandlash rejimini tanlashni talab etadiki, bunda mazkur payvand birikma termik ta'sir hududida tuzilishining o'zgarishi oqibatida o'zining ekspluatatsion xossalari yo'qotmasin.

Listlarni uchma-uch payvandlashda termik ta'sir hududining o'ziga xos nuqtalarining termik sikllari 1.30-rasmda ko'rsatilgan. Bu nuqtalarning maksimal temperaturasi A_1 nuqtadan erish nuqtasigacha etadi. Shunday qilib, metall yoki qisman A_1 va A_3 o'rtasidagi yoki A_3 nuqtadan yuqoridagi to'liq qayta kristallanishni boshidan kechiradi. Bunday termik sikllar sharoitida o'ta qizdirishda austenit donalarining o'sishi va sovutishda toblanishi kuzatiladi. Metall qanchalik tez sovutilsa martensitga aylanishining boshlanishi M nuqta temperaturasigacha o'ta sovutilishi extimoli ko'proqdir (1.31-a rasm). Sovush tezligi $W > W_1$, moyil bo'lgan po'lat uchun temperaturaning

yuqori subkritik intervaldagi austenit emirilishiga ulgurmay qoladi va M nuqta temperaturasi ga martensitli aylanish o'ta soviydi.

$W_2 > W > W_3$ tezliklarda (1.32-b rasm) austenitning bir qismi yuqori subkritik intervalda yemiriladi, bir qismi esa martensit aylanishi temperaturasi da yemiriladi va yuqori subkritik intervalda yemiriladi, va hokazo. Donni toblash va o'stirish jarayonlarini tartibga solish uchun quyidagi o'lgagichlar xosdir:

a) austenitning eng kichik barqarorligining T_{min} temperaturasi da sovitish tezligi;

b) isitish davomiyligi austenit donining jadal o'sa boshlashi temperaturasi dan yuqori ($T_{Ac3} + 100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

1.13.2. BERILGAN TEMPERATURADA ONIY SOVUTISH TEZLIGINI HISOBLASH

Oddiy termik siklda berilgan temperaturada sovitishning oniy tezligi rejim parametrlari va birikish turiga bog'liq holda hisoblanadi.

Valikni massiv jism sirtiga eritib qoplanganda (quyishda) sovitish tezligi ifodadan aniqlanadi.

$$W = 2\pi\lambda \cdot \frac{(T-T_0)^2}{q/v}; \quad (13.1)$$

bu yerda T - qaralayotgan nuqtaning oniy temperaturasi.

T_0 - buyumning boshlang'ich temperaturasi bo'lib, u atrof muhit temperaturasi ga teng yoki buyumni isitish temperaturasi ga teng;

q/v - pogon energiya, kal/sm;

Listlarni bir o'tishda uchma-uch payvandlashda

$$W = 2\pi\lambda \cdot c\gamma \frac{(T-T_0)^2}{(q/v, \delta)^2}; \quad (13.2)$$

11-misol. Quyidagi rejimda va hisoblash doimiylarida massiv po'lat buyumga valikni eritib qoplash uchun $T=650^{\circ}$ temperaturada sovitishning oniy tezligini hisoblab toping: $q=1200$ kal:

$v = 0,15\text{ m/sm}$; $\lambda = 0,1$ kal/sm sek $^{\circ}\text{C}$;

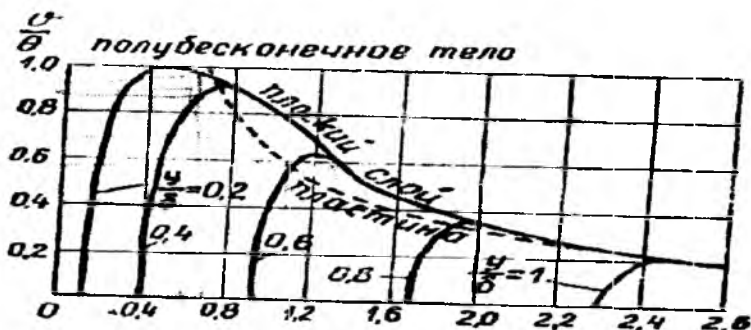
Boshlang'ich temperatura $T_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\text{Yoyning pogon energiyasi } q/v = \frac{1200}{6.13} = 8000 \frac{\text{Nt}}{\text{cm}};$$

(13.1) tenglamaga ko'ra

$$W = 2\pi\lambda \cdot \frac{(T - T_0)^2}{q/v} = 2\pi \cdot 0.1 \cdot \frac{650^2}{8000} = 33^\circ\text{C}^1/\text{cek}$$

Agar olingan tezlikni kamaytirish talab etilsa, u holda buning uchun yoki pogon energiyasini orttirish zarur (1 tokni oshirish hisobiga yoki payvandlash tezligi v ni kamaytirish hisobiga), yoki buyumni isitish zarur bo'ladi. Masalan, buyumni 200°C ga isitilganda $T - T_0 = 650 - 200 = 450^\circ\text{C}$, sovush tezligi $W = \left(\frac{450}{650}\right)^2 \cdot 33 = 16^\circ\text{C}^1/\text{cek}$ bo'ladi. Ko'rinib turibdiki, buyumni 200°C ga isitish oniy sovush tezligini ikki marta pasaytirdi.



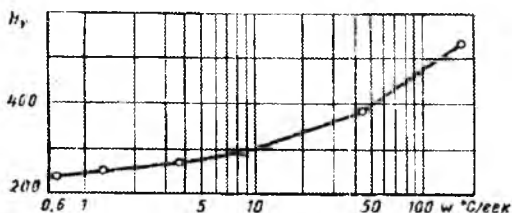
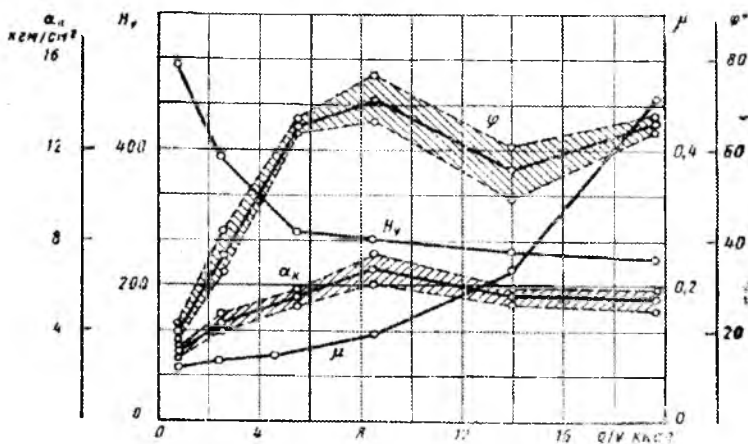
1.32-rasm. Valikni listga eritib qoplashda (quyishda) oniy sovush tezligini aniqlash grafigi.

Valikni listga eritib qoplashda shuning deb ko'p qatlamli chokning ayrim qatlamlarini joylashda, issiqlikning tarqalishi jarayoni qalinlik bo'yicha o'lchamlarning cheklangani hisobga oluvchi yassi qatlam sirtida nuqtaviy manbaning sxemasi bilan tavsiflanadi, berilgan temperaturada oniy sovish tezligi bo'ladi.

$$W = \omega \cdot \frac{2\pi\lambda (T - T_0)^2}{q/v} \quad (13.3)$$

bu yerda ω - o'lchovlarning cheklanganligini hisobga oluvchi koeffitsient (13.1-rasm), u o'lchovsiz mezon bo'yicha aniqlanadi:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{q/v}{\frac{\pi}{2} \cdot \delta^2 \cdot c \gamma (T - T_0)}; \quad (13.4)$$



1.33-rasm. Uglerodli po'lat uchun valik namunasining o'ziga xos ma'lumotlari.

12-misol. 6-misol shartlari uchun valikni 20 mm qalinlikdagi list sirtiga eritib qoplashda $T=600$ °C temperaturada oniy sovish tezligini hisoblaymiz:

$$q=300 \text{ kal/sek}; \lambda=0,1 \text{ sm/sek}; c\gamma=1,25 \frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}}; T_0=20^\circ$$

O'lchovsiz mezon

$$\frac{1}{\theta} = \frac{\frac{300}{0,1}}{\frac{3,14}{2} \cdot 2^2 \cdot 1,25 \cdot (600 - 20)} = 0,66$$

Grafik bo'yicha (1.33-rasm) yassi qatlam uchun $\omega=0,94$ va sovish tezligi

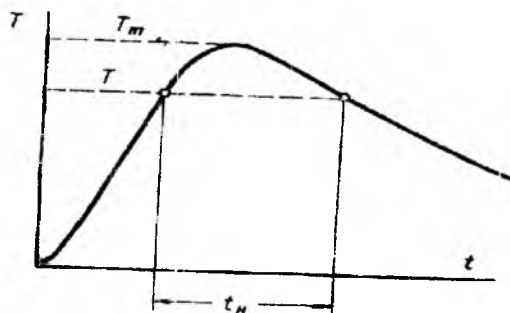
$$W = 0,94 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot (600 - 20)}{300/0,1} = 11,5^{\circ} \frac{C}{cm}$$

Yuqori mustahkamlikdagi legirlangan po'latning ma'lum bir markasi uchun termik ta'sir hududini hisobdagi sovish tezligining qo'yilishini bu tezlikni valikli namuna ma'lumotlari bilan taqqoslab baholanadi, bunda tipik misol 1.33-rasmda keltirilgan.

1.13.3. BERILGAN TEMPERATURADAN YUQORI ISITISH DAVOMIYLIGINI HISOBLASH

Berilgan temperaturadan yuqori isitish davomiyligi (1.34-rasm) oddiy termik siklda issiqlik tarqalishining mazkur jarayoni va mazkur nuqtadagi maksimal temperatura tenglamalarini birgalikda almashtirish natijasida olingan formula bo'yicha hisoblanadi. Valikni massiv jism sirtiga eritib qoplashda berilgan temperaturadan yuqori t_n isitish davomiyligi

$$t_n = f_1 \cdot \frac{q/v}{\lambda \cdot (T_M - T_Q)}, \quad (13.5)$$



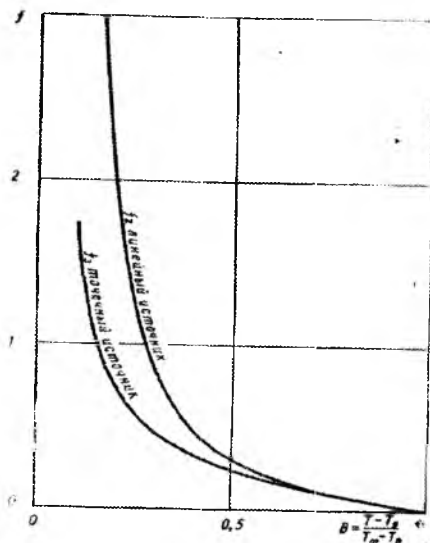
1.34-rasm. Oddiy termik sikl sxemasi.

ifodadan aniqlanadi, listlarni uchma-uch payvandlashda esa

$$t_H = f_2 \cdot \frac{\left(\frac{q}{\lambda \delta}\right)^2}{\lambda \cdot c \gamma \cdot (T_m - T_0)^2}; \quad (13.6)$$

ifodadan aniqlanadi, T_m - termik siklning maksimal temperaturasi:

T_0 - buyumning boshlang'ich temperaturasi f_1 va f_2 yordamchi koeffitsientlarining hisob kitobi nomografiyalangan (1.35-rasm).



1.35-rasm. Isitish t_H davomiyligining berilgan T_m temperaturasiidan yuqori hisoblash uchun grafik.

13-misol. 5-misol sharti uchun chok o'qidan $y = 0,5 \text{ sm}$ masofada turuvchi nuqtada $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ temperaturadan yuqori t_H isitish davomiyligini hisoblaymiz, uning maksimal temperaturasi $T_m = 1350 \text{ }^\circ\text{C}$ qalirligi 6 mm bo'lgan listlarni uchma-uch payvandlashda.

$$q = 425 \text{ kal/sek}; \quad v = 0,2 \text{ sm/sek}$$

$$\lambda = 0,1 \text{ kal/sm}\cdot\text{sek } ^\circ\text{C}; \quad T = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

O'lchovsiz temperatura

$$\Theta = \frac{T - T_0}{T_m - T_0} = \frac{800 - 20}{1350 - 20} = 0,585$$

$\Theta = 0,585$ bo'lganda chiziqli manba uchun grafik bo'yicha (1.31-rasm) $f_2 = 0,205$ qiymatini topamiz.

U holda 800°C dan yuqori isitish davomiyligi

$$\tau_n = f_2 \cdot \frac{\left(\frac{q}{v \cdot \delta}\right)^2}{\lambda \cdot c_Y \cdot (T_m - T_0)^2} = 0,205 \cdot \frac{\left(\frac{425}{0,2 \cdot 0,6}\right)^2}{0,1 \cdot 1,25 \cdot (1350 - 20)^2} = 11,6 \text{ cer}$$

bo'ladi.

1.14 METALLNI GAZ ALANGASIDA QIZITISH (ISITISH)

1.14.1. Gaz alangasining issiqlik manbayi sifatidagi tavsiflari

Oddiy gaz gorelkasi alangasi q kal/sek effektiv quvvat issiqlik oqimining isitish dog'i (hududi) bo'yicha taqsimlanganligi bilan tavsiflanadi.

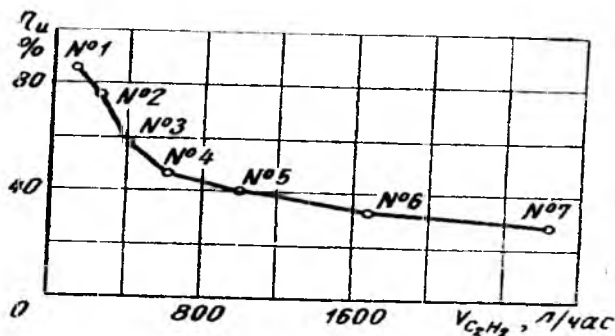
Metallni gaz alangasi bilan isitish jarayonining samarali foydali ish koeffitsienti alanganing samarali quvvati q ning yonilg'ining eng past issiqlik beruvchi qobiliyatiga mos keluvchi alanganing to'liq quvvatiga nisbatini ifodalaydi.

Atsetilen-kislorodli alanga uchun

$$\eta_u = \frac{q}{3,5V_{C_2H_2}}; \quad (14.1)$$

Uning qiymati oddiy gorelka uchun alanganing ko'chish tezligi

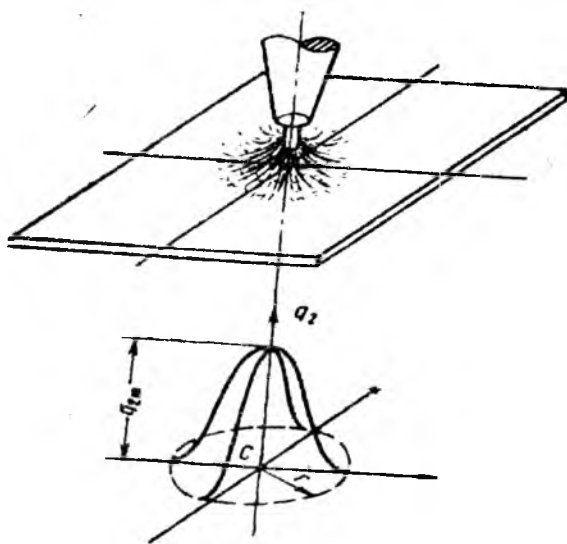
$v = 500 \text{ mm/min}$ bo'lganda C_2H_2 ning N1- uchlik uchun 85% dan N7 - uchlik uchun 27% gacha sarf qilinishiga bog'liq holda o'zgaradi (1.36-rasm).



1.36-rasm. Gaz alangasi bilan metallni isitish jarayonining samarali f.i.k.

Gaz alangasi bilan metallni isitish jarayonining samarali f.i.k ga aralashmadagi kislorod va atsetilenning nisbati ham jiddiy ta'sir ko'rsatadi; chunki C_2H_2 ni bir xil sarflash uchun $\frac{O_2}{C_2H_2} = 2,0 + 2,4\eta_u$ nisbatda $\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,15 + 1,2\eta_u$ normal nisbatga qaraganda 20-25% ga ortadi. U shuningdek alanga o'qining metall sirtiga og'ish burchagiga, yonilg'i aralashmasi oqib chiqish tezligiga, gorelka soplosining metall sirtigacha bo'lgan masofaga, alanganing ko'chish tezligiga, payvandlanayotgan metallning qalinligi va temperatura o'tkazuvchanligiga bog'liq.

Alanganing solishtirma issiqlik oqimi isitish dog'i bo'ylab bir tekis taqsimlanmagan. (1.37-rasm).



1.37-rasm. Oddiy gorelka bilan isitish dog'ining nuqtasida solishtirma issiqlik oqimi.

Isitish dog'ining har qanday nuqtasida solishtirma issiqlik oqimi majburiy konvektiv va nurli issiqlik almashuvi ta'siriga bog'liq (nurli issiqlik almashuvi umumiy issiqlik almashuvining ko'pi bilan 5÷10% ini uzatadi).

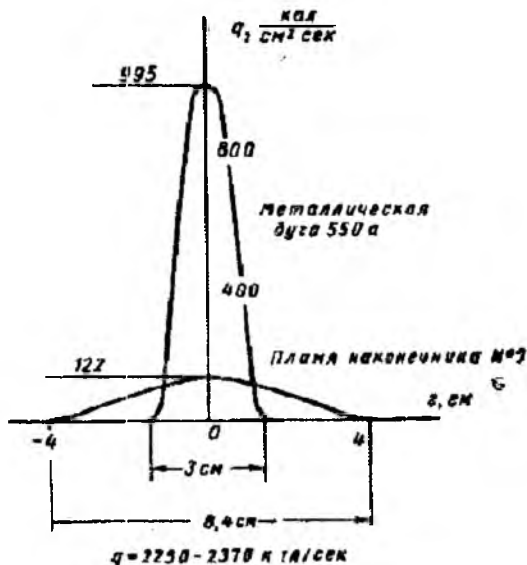
O'qi issitilayotgan buyumga perpendikular joylashtirilgan oddiy gorelkaning solishtirma issiqlik oqimi isitish dog'i markaziga nisbatan simmetrik ekanligi tajribalarda aniqlangan. Dog'ning markazida q_{2m} issiqlik oqimi maksimal. Dog'ning r radiusi bo'yicha u normal qonun bo'yicha taqsimlangan,

$$q_2(r) = q_{2m} e^{-kr} \quad (14.2)$$

bu yerda $q_2(r)$ - radiusi r bo'lgan isitish dog'i nuqtasida solishtirma issiqlik oqimi [$\text{kal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sek}$];

k - diqqatni jamlash koeffitsienti bo'lib, u normal taqsimlash egri chizig'ining o'tkirligini tavsitlaydi [$1/\text{cm}^2$].

Bunday issiqlik manbai normal doiraviy deb nomlanadi. Kislorodli-atsetilenli alanga unga effektiv quvvat bo'yicha yaqin bo'lgan payvand yoyiga qaraganda, nisbatan kichik maksimal issiqlik oqimiga va isitish dog'ining katta o'lchamlariga ega bo'ladi (1.38-rasm). Ko'p alangali gorelkalarning alangasi solishtirma issiqlik oqimini taqsimlashning ancha murakkab sxemalari bilan tavsiflanadi.



1.38-rasm. Yoyning solishtirma issiqlik oqimi va gaz alangasining taqqoslama taqsimlanishi.

manbalar sxemalari bo'yicha foydalanishga asoslangan. Normal-doiraviy manbaning markazi koordinatalar boshi O bilan ustina-ust tushuvchi C' nuqtada bo'lsin. (1.39-rasm).

Bu manbaning ta'siri plastinada temperaturaning tezda ko'tarilishiga sabab bo'lib, uning taqsimlanishi xususiyati manbaning issiqlik oqimining taqsimlanishi xususiyatiga mos bo'ladi, ya'ni normal qonunga ham. Chiziqli mujassamlashgan manbaning issiqlikni tarqalish jarayonida temperatura istagan vaqtda noldan farqli ($t > 0$), bo'lishini, plastinada r radius bo'yicha normal qonunga ko'ra taqsimlanganini hisobga olib shunday bir fiktiv chiziqli manbani tanlov olish mumkinki, uning Q issiqligi ma'lum bir τ_0 vaqt mobaynida plastina bo'ylab tarqalib, normal-doiraviy manba uni qo'yish paytida vujudga keltirilgan temperaturaning xuddi ushunday taqsimlanishiga olib keladi.

Shunday qilib, normal taqsimlangan manbaning issiqlik tarqalish jarayonini mujassamlashgan manba issiqligini tarqatish jarayonining bir qismi sifatida qarash mumkin, τ_0 momentdan boshlab fiktiv manbaning issiqlik tarqatish vaqti doimiysi deb ataladi:

$$\tau_0 = \frac{1}{4\alpha k}; \quad (14.3)$$

τ_0 vaqt doimiysi normal-doiraviy manbaning mujassamlaganlik koeffitsientiga va metallning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientiga teskari proporsional. Alanganing issiqlik oqimi qanchalik to'plangan bo'lsa, τ_0 vaqt shunchalik kichik bo'ladi, ya'ni yig'ilgan manbadan temperaturaning taqsimlanishi normal taqsimlangan issiqlik manbasini qo'yish paytida yuzaga keladigan temperatura taqsimlanishi bilan mos tushadi.

Metallni gaz alangasida isitishgan ayrim amaliy masalalari uchun teperaturani hisoblashga misollar keltiramiz.

14-misol. Qalinligi $\delta=4\text{mm}$ bo'lgan Cr3 markadagi po'latdan tayyorlangan plastinalarni chetlarini ajratmasdan payvandlashda alanganing ko'chish o'qi bo'yicha temperaturaning taqsimlanishini va chok o'qidan $y = 2\text{sm}$ masofadagi nuqtaning termik siklini hisoblab chiqish talab qilinadi. Uni plastinkaga perpendikular bo'lgan 3-son

uchlikdagi alanga 0,1 sm/sek tezlikda ko'chadi, atsetilen sarfi 400 l/soat, aralashmadagi gazlar nisbati me'yorida.

Bunday alanganing samarali quvvati $q = 550$ kal/sek, me'yoridagi doiraviy manbaning issiqlik oqimini mujassamlanganligi koeffitsienti

$$k = 0,31 \text{ cm}^{-2}, \quad \text{vaqt} \quad \text{doimiysi} \quad \tau_0 = \frac{1}{4 \cdot 0,08 \cdot 0,31} = 10 \text{ cek}.$$

Temperatura list qalinligi bo'yicha bir tekisda deb faraz qilamiz. Listning yuqori va pastki alangalari, shuningdek atrofdagi havo o'rtasidagi o'rtacha issiqlik almashish koeffitsienti:

$$\lambda = 0,31 \text{ kal/sm} \cdot \text{sek} \cdot ^\circ\text{C}; \quad \lambda = 0,1 \text{ kal/sm} \cdot \text{sek} \cdot ^\circ\text{C}; \quad c \cdot \gamma = 1,25 \text{ kal/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$\alpha = 0,08 \text{ cm}^2/\text{cek}$$

Shuni aytib o'tish kerakki, koordinatalar boshi soxta chiziqli issiqlik manbai qo'yilgan no'qtada, alanga markazidan $x = x_{\tau_0} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ cm}$ oldinda joylashadi. Yon sirtlarining issiqlik berish koeffitsienti

$$b = \frac{2\alpha}{c\gamma \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 0,001}{1,25 \cdot 0,4} = 0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C};$$

$$b\tau_0 = 0,004 \cdot 10 = 0,04.$$

Alanganing oldida 1 sm masofada joylashgan soxta manbaning 0 nuqtasi chegaraviy temperaturasi $t \rightarrow \infty$ va $x=0$ deb faraz qilib,

$$\tau_0 = \left(b + \frac{v^2}{4\alpha}\right) \cdot \tau_0 = \left(0,004 + \frac{0,1}{4 \cdot 0,08}\right) \cdot 10 = 0,35.$$

o'lchovsiz mezonda

$$T(0, \infty) = \frac{q}{4\pi\lambda\delta} \cdot e^{bt_0} [-Ei(-t_0)] = \frac{550}{4\pi \cdot 0,1 \cdot 0,4} e^{0,04} [-Ei(-0,35)] = 905^\circ\text{C} \quad (14.5)$$

tenglama bo'yicha hisoblaymiz.

OX o'qning nuqtalarini soxta (-x) orqasidagi chegaraviy temperaturasini

$$T(x, y, t) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} \exp\left(-\frac{yx}{2\alpha} + b\tau_0\right) k_0(p_2) \cdot [\psi_1(p_2, t + \tau_0)] - \psi_2(p_2, \tau_0) \quad (14.6)$$

tenglama bo'yicha hisoblaymiz.

$t \rightarrow \infty \psi_2(p_2, t + \tau_0) = 1$, bo'lganda manbaning barcha ko'chish no'qtalari uchun chegaraviy holatdagi issiqlik to'yinish koeffitsienti $y = 0, \alpha \psi_1(p_2, \tau_0) \leq 1$

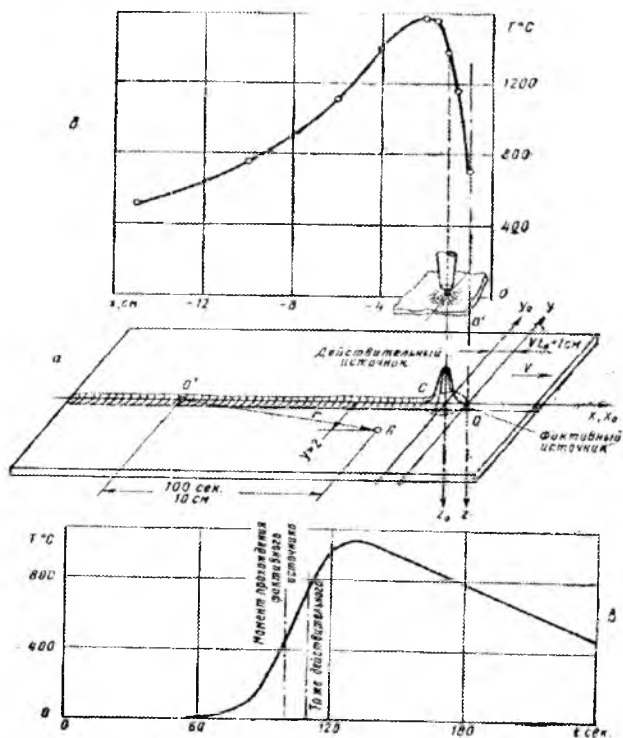
$r = (x)$ bo'lganda o'q nuqtalari uchun jarayonlarining o'lchovsiz mezonini

$$\rho_2 = \sqrt{\frac{a^2}{4a^2} + \frac{b}{a}} |x| = \sqrt{\frac{0,1^2}{4 \cdot 0,8^2} + \frac{0,04}{0,08}} |x| = 0,662 |x|$$

$\psi_2(\rho_2, \tau_0)$ qiymatlar grafik bo'yicha aniqlanadi

Soxta issiqlik manbani orqasidagi $(-x)$ o'q nuqtalarning chegaraviy temperaturasi tenglamaga ko'ra (81)

$$\begin{aligned} T(x, 0, \infty) &= \frac{550}{2\pi \cdot 0,1 \cdot 0,4} \exp\left(-\frac{0,1 |x|}{2 \cdot 0,8} + 0,04\right) k_0(\rho_2) \cdot [1 - \psi_2(\rho_2, 0,35)] = \\ &= 2190 \exp(-0,625 |x| + 0,04) k_0(\rho_2) \cdot [1 - \psi_2(\rho_2, 0,35)] \end{aligned}$$



1.40-rasm. Listlarni gaz alangasida payvandlashni hisoblash misoliga oid.

a - manbayining ko'chishi sxemasi; b - alanganing ko'chishi o'qi bo'ylab temperaturaning taqsimlanishi; v - A nuqtaning termik sikli

Hisoblarni 1.14.1-jadvalda keltiramiz.

1.14.1-jadval

x, sm	-0,5	-1	-1,5	-2	-4	-6	-10	-15
ρ_2	0,33	0,66 2	0,99	1,32	2,65	3,98	6,98	9,90
$k_0(\rho_2)$	1,28 6	0,70	0,42 6	0,27 1	0,05 22	0,01 14	0,00 638	0,000 0197
$1-\psi_2(\rho_2, 0,35)$	0,29	0,45	0,63	0,73	0,96	1	1	1
T, °C	1160	1320	1560	1570	1400	1110	755	520

Manba ko'chishining OX o'qi bo'yicha maksimal chegaraviy temperaturaning taqsimlanishi 1.40-b rasmda ko'rsatilgan. 1570 °C ga teng maksimal temperatura alanga markazidan ma'lum masofada orqaroqda. Tanlangan payvandlash rejimi payvandlanayotgan listlarning ravon payvandlanishini ta'minlaydi.

Plastinaning chok o'qidan $y = 2\text{cm}$ masofada bo'lgan A nuqtasining termik siklini O soxta manba A nuqtadan $x = 10\text{sm}$ masofadagi O nuqtada ishlashni boshlagan deb faraz qilib (14.6) tenglama bo'yicha Hisoblaymiz. Manbaning O nuqtadan joylashgan kesimgacha ko'chish vaqti. $\tau = \frac{x}{v} = \frac{10}{0,1} = 100\text{cek. } \tau = 0,035\text{t;}$

$$\rho_2 = 0,662r \text{ bunda } r = \sqrt{x^2 + y^2};$$

A nuqtadagi temperaturaning o'zgarishi

$$T(r, \tau) = \frac{550}{2\pi \cdot 0,1 \cdot 0,4} \exp\left(-\frac{0,1|x|}{2 \cdot 0,8} + 0,4\right) k_0(\rho_2) \cdot k_0(\rho_2) [\psi_2(\rho_2; 0,35) - \psi_2(\rho_2; 0,35)]$$

Hisoblash jadvalda keltirilgan.

A nuqtada temperaturaning o'zgarishi grafikda berilgan (1.40-v rasmga qarang). Temperaturaning maksimal 990 °C qiymati A nuqta joylashgan kesimdan soxta manba o'tgandan 40 sekund keyingina yuz berdi.

2-BOB. PAYVANDLASH MATERIALLARI VA PAYVANDLASHDA YUZ BERADIGAN JARAYONLAR

2.1. PAYVANDLASH MATERIALLARI

Payvandlash materiallariga payvandlash simi, qo'shimcha xivichlari, kukunli sim, qoplamali elektrodlar, erimaydigan elektrodlar, turli xil flyuslar, himoya (aktiv va inert) gazlar kiradi.

2.1.1. Payvandlash simi

Eritish yo'li bilan mexanizatsiyalashgan usulida payvandlashda payvandlash simi ko'pincha maxsus kassetalarga o'ralgan uzluksiz eruvchan elektrod ko'rinishida foydalaniladi; dastaki yoyli payvandlashda – ma'lum uzunlikdagi (300-500 mm) xivich (sim) ko'rinishida, ya'ni eruvchi yakka elektrodlar ko'rinishida foydalaniladi. Erimaydigan elektrodlar (volframli, ko'mirli) dastaki eritib payvandlashda payvandlash hududiga avtonom qo'shimcha sim (xivich) yoki 1000 mm gacha uzunlikdagi sterjen kiritiladi, bu sterjen sozlovchi sim deyiladi.

Hozirgi vaqtda kukunsimon moddalar (legirlovchi, oksidsizlantirvchi va boshqa) bilan to'ldirilgan metall qobiqdan iborat kukunli payvandlash simi keng qo'llaniladi. Elektrshlakli payvandlash va eritish uchun simli elektrodlar bilan bir qatorda plastinkali elektrodlar va metall tasmlardan foydalaniladi.

Metall qo'shimcha materiallari sifatida asosan payvandlash simidan (po'lat yoki rangli metallar va qotishmalardan) foydalaniladi. ГОСТ 2246-70 kamuglerodli, legirlangan va yuqori legirlangan po'latlardan tayyorlangan payvand simlariga tegishli va uning kimyoviy tarkibi va o'lchamlarini tartibga soladi, chunki chok metallining mexanik xossalari undagi asosiy metallning ulushiga, flyus markasiga, payvandlash rejimiga va boshqa omillarga bog'liqdir. Po'latdan tayyorlangan payvand simi quyidagi diametrlarda ishlab chiqariladi: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 mm. Diametri 1,6 – 12 mm bo'lgan simlar payvandlash va elektrodlar tayyorlash uchun, qolganlari esa favat payvandlashga yoki

eritishda qo'llaniladi. Simning markasi belgisida uning vazifasi "СВ" (payvandlash) va elementlarning taxminiy mazmuni umum qabul qilingan belgilashlar bo'yicha ko'rsatiladi: Б – niobiy, В – volfram, Г – manganets, Д – mis, М -- molibden, Н – nikel, С – kremniy, Т – titan. Φ – vanadiy, Х – xrom, Ц – sirkoniy, Ю – aluminiy. Mavjud uglerod miqdorining o'rtacha foizi "СВ" belgisidan so'ng harfiy belgilersiz foizning yuzdan bir ulushlarida raqam bilan ko'rsatiladi. Boshqa elementlar miqdori 2% dan kam bo'lganda raqam qo'yilmaydi. Masalan, СВ-08Г2С marka belgisi bunday tushuniladi: СВ – payvandlovchi, 08 – uglerod miqdori 0,08%, manganets miqdori 2% gacha, kremniy 1% gacha. Elementlarning yanada aniq miqdori standartda ko'rsatilgan.

Kukunli sim, payvand simning texnologik afzalliklarni saqlagan holda payvandlashda payvandlash vannasi metallni oksidlanishdan, gazli va shlakli himoyasini vujudga keltiradi, chok metallini legirlovchi elementlar bilan to'yintiradi va uni zararli qorishmalardan tozalaydi. Kukunli sim – universal payvandlash materiali bo'lib, u amalda istagan darajada legirlangan po'latlarni payvandlash, maxsus xossalarga ega qatlamlarni eritib qoplash uchun yaroqlidir. Kukunli sim kamuglerodli va kamlegirlangan po'latlarni payvandlash va eritib qoplashda qo'llaniladi, bu to'ldirgichning (kukunsimon shixtaning) kimyoviy tarkibi va massasining keng chegaralarda o'zgarishi imkoniyati bilan bog'liq.

2.1.2.Erimaydigan elektrodlar

Ko'mirli, grafitli, elektrodlar yoyning yonishi barqarorligini qo'llab quvvatlash uchun mo'ljallangan. Bu elektrodlar yuqori temperaturalarning ta'sirida yuqori darajada chidamlilikka ega bo'lishi kerak, ya'ni bu sharoitlarda yonib tugallanmasligi kerak. Elektrodlarning kesimini oshirish hisobiga uning qizishini karnaytirish mumkin. Shu sababli ko'mirli va grafitli elektrodlar odatda katta diametrga ega bo'ladi (6 – 20 mm). Volfram elektrodlar nisbatan kichik diametrlarda ham (1 – 6 mm) juda oz qiziydi, buning sababi volframning elektr qarshiligi uncha katta emasligidir. Biroq inert

gazlar himoya ostida payvandlashda ularni oksidlanishdan himoyalash zarur. Sirkoniyl va gafniyli elektrodlar metallarni plazma yoyli kesishda plazmatronlardan foydalaniladi.

Qoplamali elektrodlar. Dastaki yoyli payvandlash uchun payvand simdan tayyorlangan (ГОСТ 2246-70) 450 mm gacha uzunlikdagi sterjendan iborat elektrodlar qo'llaniladi, ularning sirtiga turli qalinlikdagi qoplama qoplangan bo'ladi. Bunda elektrodning uchlari kontakt elektrodlar singari tozalanishi kerak: biri uni elektrod tutqichiga siqib qo'yish uchun 20–30 mm uzunlikda, ikkinchisi payvandlash boshida yoyni yoqish uchun.

Yoyning yonishini barqarorligini oshirish, aralash gazshlak himoyasini hosil qilish, metallni legirlash va tozalash uchun mo'ljallangan qoplama turli xil komponentlardan iborat:

1. Gaz hosil qiluvchi – organik moddalar (kraxmal, oziqlanish uchun ishlatiladigan un, dekstrin), kamroq anorganik moddalar, odatda karbonitlar (marmar, magnezit va boshqalar).

2. Legirlovchi va oksidsizlantiruvchi – elementlar (kremniy, marganets, titan va boshqalar), bu elementlarning temir bilan qotishmasi ko'rinishida foydalanuvchi, ferroqotishma deb ataluvchi elementlar. Alyuminiy pudra (kukun) sifatida kiritiladi.

3. Ionlovchi yoki barqarorlashtiruvchi, ionlanish potensial i past bo'lgan elementlarga ega, shuningdek tarkibiga kaliy, natriy, kaltsiy, bor, dala shpati, granit va boshqalar kiruvchi turli xil birikmalar.

4. Qoplamaning asosini tashkil etuvchi shlak hosil qiluvchilar – odatda bu rudalar (marganetsli, titanli), minerallar (dala shpati, kremnozom, marmar va boshqalar).

5. Bog'lovchilar – natriy va kaliy silikatlarining suvdagi eritmalari, ular natriyli, kaliyli va natriy-kaliyli suyuq shisha deb ataladi.

6. Qolip uchun qo'shimchalar – surtiluvchi massaga eng yaxshi plastik xossalarni beruvchi moddalar (kaolin, dekstrin, slyuda va boshqalar).

Payvandlashning unumdorligini oshirish uchun, chokka kiritiladigan qo'shimcha metall miqdorini oshirish uchun qoplamada uning massasining 60% gacha temir kukuni bo'lishi mumkin. qoplama

tarkibiga kiruvchi ko'pgina materiallar ham gazli ham shlakli himoyani ta'minlab, bir vaqtda bir necha vazifani bajaradi.

Elektrodlarning qoplamalari yoyning barqaror yonishni, zarur fizik-mexanik tarkibga ega chok metallini olishni, elektrod sterjeni va qoplamaning bir tekis erishini, chokning yaxshi shakillanishini va ichki nuqsonlarning eng kam miqdorda hosil bo'lishni, sovigandan so'ng shlakning chok sirtidan oson ajralishini, elektrodlarni tayyorlashda va payvandlashda zarur sanitariya-gigienik mehnat sharoitlarini ta'minlash kerak.

Po'latni dastaki yoyli payvandlash va eritib qoplash (ГОСТ 9466-75) uchun mo'ljallangan qoplangan metall elektrodlar turli belgilariga ko'ra tasniflanadi. Vazifasiga bog'liq holda uglerodli va kamlegirlangan ($\sigma_v < 600 \text{ MPa}$ li konstruksion po'latlarni payvandlash uchun – Y (shartli belgi); ($\sigma_v > 600 \text{ MPa}$ li legirlangan konstruksion po'latlarni payvandlash uchun – Л; issiqlikka chidamli po'latlarni payvandlash uchun – Т; yuqori legirlangan alohida xossalari po'latlarni payvandlash uchun – В; alohida xossalarga ega sirtqi qatlamlarni eritib qoplash uchun – Н elektrodlar farq qilinadi.

Qoplama qalinligi bo'yicha elektrodning to'la diametri (D) ning sterjen diametri (d) ga nisbatiga bog'liq holda yupqa qatlamli elektrodlar ($D/d < 1,2$) – М (shartli belgi); o'rtacha qoplamali ($1,2 < D/d < 1,45$) – С; qalin qoplamali ($1,45 < D/d < 1,8$) – D; juda qalin qoplamali ($D/d > 1,8$) – G; elektrodlar farq qilinadi.

Elektrodning sifatiga tayyorlash aniqligi, qoplama sirtining holati, eritilgan metallidagi oltin gugurt va fosforning miqdori to'g'risida talablarga bog'liq holda elektrodlar uch guruhga (1, 2, 3) ajratiladi.

Qoplamalarning turlari bo'yicha qoplamali elektrodlariga – А (shartli belgisi); asosiy qoplama – Б; sellyuloza qoplamali – Л; rutil qoplamali – Р; kislotaviy aralash turdagi qoplamali – tegishli ikkikarra belgi; boshqa turdagi qoplamali – П: Agar qoplama 20% dan ortiq temir kukuni bo'lsa, qoplama turining shartli belgisiga J harfi qo'shiladi.

Payvandlash yoki eritib qoplashning yo'l qo'yilgan fazoviy holatiga ko'ra barcha holatlar uchun elektrodlar farq qilinadi – I (shartli belgi);

vertikal yuqoridan pastki holatdan tashqari barcha holatlar uchun – 2; vertikal tekislikda pastga, gorizontol uchun va vertikal pastdan yuqoriga uchun – 3; pastga va “qayiqsimon” pastga uchun – 4.

Qo'llanilayotgan tokning turi va qutbliligi bo'yicha, shuningdek salt yurishning nominal kuchlanish, tok chastotasi 50 Gts bo'lgan o'zgaruvchan tok manbai bo'yicha elektrodlar to'qqiz hil turgacha (0.....9) bo'linadi.

2.1.3. Payvandlash flyuslari

Bu ayrim donalarning o'lchami 0,25 – 4 mm bo'lgan flyusning markasiga bog'liq holda murakkab tarkibli maydalangan maxsus tayyorlangan materiallar. Tayyorlash usuliga ko'ra flyuslar eritilmagan (keramik) va erigan turlari farq qilinadi.

Keramik flyuslar ayrim komponentlarni eritib qo'shish va keyin ma'lum o'lchamdagi zarrachalarga maydalash yo'li bilan hosil qilinadi. Bundan tashqari, bu flyuslar ayrim komponentlarning mexanik aralashmasidan iborat bo'lishi mumkin. Metallni bunday flyuslar bilan legirlash ularga zarur ferroqotishmalarni kiritish orqali erishiladi. Flyuslar tayyorlanayotganda eritilmaydi, shuning uchun ferroqotishmalar va boshqa legirlovchi elementlarning miqdori hamda qo'shilmalari turlicha bo'lishi mumkin, bu esa chokning talab qilingan metall tarkibini oson hosil qilishga imkon beradi. Biroq bunday flyuslardan foydalanishda chok metallining kimyoviy tarkibi payvandlash rejimiga (tartibiga) kuchli ravishda bog'liq bo'ladi, bu esa chok metalli tarkibining xatto uzunlik bo'yicha ham bir jinsli bo'lmashligiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari bu flyuslar uning zarrachalari mexanik mustahkamliligi kam bo'lishi sababli tez buziladi (parchalanadi), bu esa uni o'lchamlariga ko'ra turlicha jinsti qiladi. Bu flyuslar asosan yuqori legirlangan maxsus po'latlarni payvandlashda va muhim (ma'suliyatli) buyumlarni eritib qoplashda foydalaniladi.

Erigan flyuslar metallarning oksidlari va tuzlaridan iboratdir. Oldindan maydalangan va ma'lum nisbatda qorishmagan

komponentlar aralashtiriladi va pechda taxminan 1400 °C temperaturada eritiladi. Suyuq flyus yoki metall formalarga quyiladi va sovigandan so'ng maydalanadi (quruq granulash usuli) yoki ingichka oqim bilan suvli bakka quyiladi, u yerda u tezda soviydi va mayda zarrachalarga ajralib ketadi (ho'l granulash usuli).

Eritilgan flyusning keramik flyusdan asosiy farqi shundaki, eritilgan flyusda sof holda legirlovchi elementlar bo'lmaydi. Chokni eritilgan flyuslar bilan legirlash flyusda mavjud oksidlardan elementlarni tiklash yo'li bilan yuz beradi.

Kimyoviy tarkibiga ko'ra oksidlovchili va oksidlovchisiz flyuslar farq qilinadi. Oksidlovchi flyus tarkibiga butun flyus massasining 75 – 85% ini tashkil etuvchi, taxminan turlicha og'irlik nisbatlaridagi marganets va kremniy oksidlari albatta kiradi. Flyusda marganets va kremniy oksidlari qanchalik ko'p bo'lsa, flyus metallni kremniy va marganets bilan shunchalik kuchli legirlashi mumkin, ammo shu bilan bir paytda chok metallini shunchalik kuchliroq oksidlashi mumkin. Po'lat qanchalik murakkab legirlangan bo'lsa, flyusda MnO va SiO₂ shuncha kam bo'lishi kerak, aks holda po'latda legirlovchi elementlarning oksidlanishi yo'l qo'yib bo'lmas darajada ortadi. Shuning uchun oksidlovchi flyuslar asosan uglerodli va kamlegirlangan po'latlarni payvandlashda qo'llanildi, AH-348-A: OCU-45; AH-8; AH-26; flyuslari ayniqsa keng qo'llaniladi.

Oksidsiz flyuslarda amalda kremniy yoki marganets oksidlari bo'lmaydi yoki ular juda oz miqdorda bo'ladi. Ularga kaltsiy fluorid va metallarning (aluminium va magniyni) mustahkam oksidlari kiradi. Bunday flyuslar (AH-30, AH-70, AHΦ-8 va boshqalar) asosan yuqori legirlangan po'latlarni payvandlashda foydalaniladi.

Kislorodsiz flyuslar butunicha metallarning fluoridli va xloridli tuzlaridan shuningdek kislorodga ega bo'lmagan boshqa komponentlardan iborat. Kislorodsiz flyuslar orasida eng mashxurlari quyidagilar: korroziyaga bardosh beradigan po'latlarni payvandlashda foydalaniladi AHΦ-5 flyusi, aluminiumlarni payvandlashda foydalaniladigan AH-Al flyusi, titanni payvandlashda foydalaniladigan AH-Ti flyusi.

2.1.4. Himoyalovchi gazlar

Ular ikki guruhga bo'linadi: kimyoviy inert va aktiv. Birinchi guruhdagi gazlar qizigan va erigan metall bilan o'zaro ta'sirlashmaydi, va unda amalda erimaydi. Bu gazlardan foydalanishda yoy bilan payvandlashni eruvchi yoki erimaydigan elektrodlar yordamida amalga oshirish mumkin. Ikkinchi guruhdagi gazlar payvandlash hududini havodan himoyalaydi, ammo o'zlari suyuq metallda yoxud oson erib ketadi, yoxud u bilan kimyoviy o'zaro ta'sirlashadi. Kimyoviy inert gazlarga argon va geliy kiradi. Argon uch xil navda ishlab chiqariladi: oliy, birinchi va ikkinchi. 99,99% argon miqdori bo'lgan oliy navliysi kimyoviy aktiv metallarni (titan, sirkoniy va niobiy) erimaydigan elektrod bilan payvandlash uchun qo'llaniladi, birinchi navli argon (99,98%) – erimaydigan elektrod bilan aluminiy, magniy va boshqa aktiv metallar qotishmalarini erimaydigan elektrod bilan payvandlash uchun, ikkinchi navli argon (99,95%) – korroziyaga chidamli po'latlarni erimaydigan elektrod bilan payvandlash uchun qo'llaniladi.

Yuqori tozalikdagi geliy (99,98%) rangli metallarni va qotishmalarni payvandlashda, shuningdek titan va zanglamaydigan po'latlarni payvandlashda himoya gazi sifatida qo'llaniladi. Geliy argandan 10 marta engil, bu esa payvandlash vannasi himoyasini murakkablashtiradi va uning ko'p miqdorda sarflanishiga olib keladi. Geliyning qiymati (narxi) argonning qiymatidan bir necha marta ko'pdir, shuning uchun undan cheklangan holda foydalaniladi. Biroq geliydan foydalanishda argon bilan himoyalinishiga qaraganda issiqlik ko'proq ajralib chiqishiga erishiladi, bu esa metallning yanada chuqurroq erishiga ta'minlaydi.

Aktiv himoya gazlariga karbonat angidrid, azot, vodorod, suv bug'lari va shular ka'bilar kiradi. Is gazidan eruvchan yoki erimaydigan (ko'mirli yoki grafitli) elektrodlar bilan payvandlashda juda keng qo'llaniladi.

2.2. PAYVANDLASH VANNASIDA METALLURGIYA JARAYONLARI

Payvandlashda metallurgiya jarayonlari – bu suyuq metallning gazlar va payvandlash shlaklari, shuningdek suyuq va kristallanuvchi shlakning oʻzaro taʼsirlashish jarayonlaridir. Bu jarayonlar elektrodning erish suyuq metall tomchisining yoyli oraliqdan oʻtish davrida va payvandlash vannasining oʻzida kechadi. Odatdagi poʻlat eritish pechlarida kechadilar metallurgiya jarayonlaridan farqli oʻlaroq payvandlashda metallni eritish jarayoni quyidagi xususiyatlarga ega:

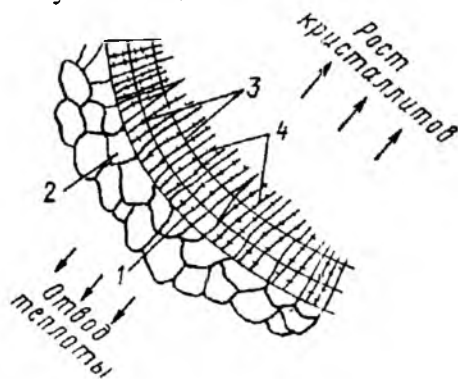
1. Payvandlash vannasining hajmi kichikligi va uning sovish tezligining tezkorligi. Bu hol boshlangan kimyoviy reaksiyalar oxirigacha kechmasligiga olib keladi. Bundan tashqari, chok metallining turli oksidlardan, nometall kirishmalardan va gazlardan toʻla tozalanishiga toʻsqinlik qiluvchi sharoitlar yaratiladi, bu kirishmalar, nometall kirishmalar va gazlar chok metallning tez qotishi sababli payvandlash vannasining sirtiga chiqishga ulgura olmaydi. Payvandlash vannasining shakli va hajmi payvandlash usuliga va asosiy rejimlariga, asosiy payvandlash materialining qalinligi va ajratilish turlariga bogʻliq. Buning oqibatida payvandlash vannasining hajmi millimetrlardan toʻ yuzlab kub santimetrlarni tashkil etish mumkin.

2. Eritilgan metallning yuqori haroratgacha qizitilgan atrofdagi gaz muhiti va shlaklar bilan faol oʻzaro taʼsirlashuvi. Bu chok metallning gazlar va shlak kirishmalari bilan qoʻshimcha ravishda toʻyinishga imkon beradi.

3. Payvand yoyi va payvandlash vannasidagi metallning yuqori haroratda boʻlishi gazlar dissotsiatsiyanishiga sabab boʻladi va oqibatda ularni aktivroq qiladi. Natijada chok metallarning oksidlanishi va achishi, tegishli elementlar bilan legirlanishi, shuningdek chokda azot, vodorod va shular kaʼbi gazlarning erishi va ajralishi mumkin.

Payvandlanayotgan buyumlarning chetlari boʻylab payvand yoyi harakatlenganda payvandlash vannasining old qismida asosiy va agar foydalanilsa, qoʻshimcha (prisadkali) metallning erishi yuz beradi,

uning dum qismida esa – erigan metallning kristallanishi, buyumga nurlanishga va issiqlik berishga issiqlik yoʻqotish natijasida payvand choki hosil boʻlishi yuz beradi.



2.1-rasm. Kristallitlarning oʻsish sxemasi:

1 – erish chegarasi; 2 – asosiy metall donalari; 3 – kristallanish qatlamlari; 4 – oʻsuvchi kristallitlar;

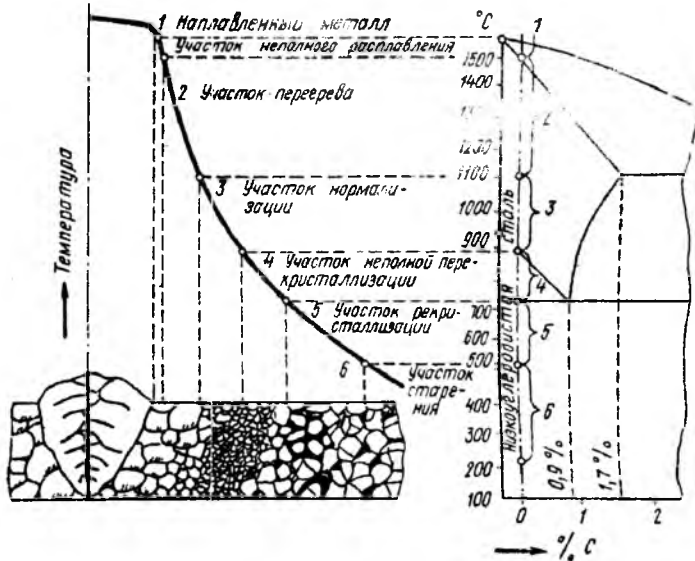
Erish chegarasi 1 da birlamchi kristallanish issiqlik oqimiga teskari yoʻnalishda (2.1-rasm) erish chegarasiga perpendikular ravishda dendritlar koʻrinishida oʻsuvchi asosiy metallning qisman erigan donachalari 2 dan boshlanadi. Kristallanish jarayonida oʻsuvchi kristallitlar koʻrinishidagi markazlardan tashqari suyuqlikdan oʻz oʻzidan vujudga keladigan ham, ayrim qiyin eruvchan zarrachalar, dona boʻlaklari va boshqa koʻrinishda ham kristallanishning yangi markazlari paydo boʻlishi mumkin. Kristallitlarning oʻsishi ularning sirtiga atrofdagi eritmadan ayrim zarrachalarning qoʻshilishi natijasida yuz beradi. Erish chegarasida alohida donadan oʻsuvchi xar bir kristallit bir uchi umumiy asosli boʻlib oʻsib chiqqan yaʼni asosiy metallarning erigan donasi bilan birgalikda oʻsuvchi ustunli kristallar guruhidan iborat. Koʻp qatlamli payvandlashda kristallanish oldingi chokning qisman erigan donalaridan boshlanganda kristallitlarning qatlamdan qatlamga oʻsishi mumkin boʻlib, transkristallitli tuzilma vujudga kelishi mumkin.

Payvandlash vannasida metall kristallanishining turli bosqichlarida uning kimyoviy tarkibi bir xil boʻlmaydi. Metallning birinchi

partiyalari oxirgilariga qaraganda qorishmalar bilan kamroq ifloslangan bo'ladi. Natijada chokning butun hajmida kuzatiladigan metall kimyoviy tarkibining zonalar bo'yicha va kristall ichi (dendrid) nobirjinslik paydo bo'ladi. Bitta kristallitning turli qismlardagi kimyoviy tarkibning bir jinsli bo'lmashligi payvand chokida afzalli rivojlanishiga ega. Payvand chokida likvatsiyaning rivojlanishi metallning kimyoviy tarkibiga, payvandlash vannasining shakliga, kristallanish tezligiga va payvandlash usuliga bog'liq.

Payvandlash vannasi metallning birlamchi kristallanishi uzlukli xarakterga ega bo'lib, u fazalar bo'linishi fronti oldida yashirin kristallanish issiqligi ajralishi bilan vujudga kelgan. Bu chokning o'ziga xos qatlamli tuzilishiga va qatlamli nobirjinslilik ko'rinishdagi likvatsiyaning paydo bo'lishiga olib keladi bu esa ko'p darajada qorishish chegarasi yaqinida namoyon bo'ladi. Kristallanish qatlamlarining qalinligi (millimetrning o'ndan bir ulushlaridan bir necha millimetrgacha) payvandlash vannasining hajmiga va issiqlik berish sharoitlariga bog'liq.

Payvanlashda ajraladigan issiqlik asosiy metall tanasiga tarqaladi. Bu jarayon termik sikl bilan tavsiflanadi. Chok yaqinidagi zonaning xar bir nuqtasida temperaturasida dastlab orta borib, qorishish chegarasida maksimum qiymatiga yetadi, keyin esa chegaradan ancha uzoqlashganda minimumgacha pasayadi. Shunday qilib, asosiy metallning turli qismlari turlicha temperatura, qizish va sovish tezliklari bilan tavsiflanadi, ya'ni o'ziga xos termik ishlovdan o'tadi. Shuning uchun chok atrofidagi zonaning turli qismlaridagi asosiy metallning strukturasi (2.2-rasm) va xossalari turlichadir. Payvandlashda termik sikl ta'sirida fazo va struktura o'zgarishlari yuz bergan asosiy metall zonnasini termik ta'sir zonasini deyiladi. Bu o'zgarishlarning tavsifi va termik ta'sir zonasining uzunligi payvandlanayotgan metallning tarkibiga va issiq fizik xossalari, payvandlash usuli va rejimiga, payvand birikma turiga bog'liq.



2.2-rasm. Kamuglerodli po'latni payvandlashda termik ta'sir hududidagi metall strukturasi

Chala erish uchastkasida uning birlamchi tuzilmasi kimyoviy nobirjinslilikning mavjudligi bilan tavsiflanadi. Bu qism asosan payvandlash uchastkasi (qismi) bo'ladi. Uning davomiyliligi metallning tarkibiga va xossasiga, payvandlash usuliga bog'liq bo'lib, odatda 0.5 mm dan ortmaydi, ammo bu qismdagi metallning xossalari butun payvand birikmaning xossalari xal qiluvchi ta'sir ko'rsatishi mumkin.

O'ta qizish uchastkasida ko'pincha vidmanshtet yirik donali tuzilma hosil bo'ladi, bunda donaning o'lchamlari metallning harorati qancha yuqori bo'lsa, shuncha katta bo'ladi. Bu tuzilma metallning eng kichik plastikligini va zarbiy qovushqoqligini shart qilib qo'yadi. O'ta qizish uchastkasini kamaytirish uchun payvandlash tezligi oshiriladi yoki payvandlash bir necha o'tishda amalga oshiriladi. Bunday hudud kengligi ba'zan 3–4 mm va undan ortiqqa etadi.

Normalanish uchastkasi mayda donali tuzilma bilan tavsiflanadi. Choklarning o'lchovlariga bog'liq holda normalanish (meyorlash) uchastkasining kengligi 0,2 dan 5 mm gacha oraliqda o'zgarib turadi.

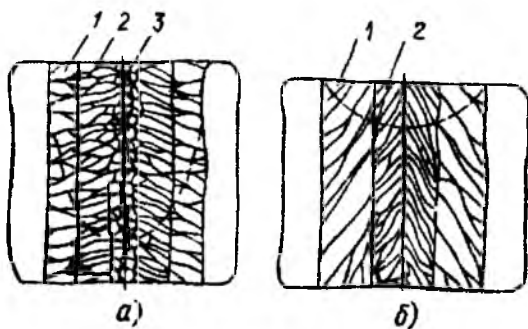
Chala o'ta kristallanish uchastkasida asosiy metallning hamma donalari ham o'ta kristallanishni boshidan kechirmaydi, masalan: ferrit donalari o'zining dastlabki tuzilishini saqlab qoladi. Bu hududning (zonaning) kengligi 0.1 – 5 mm ni tashkil etadi.

500 – 750 °C harorat oralig'ida qiziyotgan metall (rekristallanish uchastkasi) tuzilishga ko'ra dastlabkisidan juda oz farq qiladi. Biroq payvandlashgacha metall plastik deformatsiyasiga uchragan bo'lsa, u holda qizitilganda unda asosiy metallning maydalangan donalarining bir biriga qo'shilishi – rekristallanish yuz beradi. Bu haroratlarda bir oz vaqt tutib turilganda donalarning ancha o'sishi yuz berishi mumkin. Bu uchastka metallning mexanik xossalari mustahkamligi kamayishi oqibatida biroz pasayishi mumkin. Bu uchastkaning eni 0,1 – 0,5 mm ni tashkil etadi.

Metall 100 – 500 °C haroratlar oralig'ida qizdirilganda (eskirish uchastkasi) uning strukturasi (tuzilishi) payvandlash jarayonida dastlabki metallning tuzilishidan farq qilmaydi. Ammo kislorod va azot miqdori yuqori bo'lgan ba'zi po'latlarda (odatda qaynovchi) 150 – 350 °C gacha qizdirish zarbiy qovushqoqlikning va yemirilishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini keskin pasayishiga olib keladi.

Ko'p qatlamli payvandlash asosiy metallga payvandlashning termik sikli ko'p marta ta'sir ko'rsatgani sababli chok oldi hududida termik ta'sir zonasida uning tuzilishi va qurilishni o'zgartiradi. Uzun uchastkalarni payvandlashda xar bir keyingi o'tishdan so'ng avvallgi chok o'ziga xos bo'shatiladi. Qisqa uchastkalarni payvandlashda chok va chok oldi zonasi uzoq vaqt isitilgan holda bo'ladi. Struktura (tuzilma) larning o'zgarishidan tashqari bu hol termik ta'sir ko'rsatish zonasining davomiyligini ham orttiradi. Keyingi qatorlar quyma metall strukturasi ega, avval kavsharlanganlarga termik ta'sir ko'rsatadi va ularda qurilish va tuzilmasi prokatlangan asosiy metallarning termik ta'sir zonasidan ancha farq qiluvchi termik ta'sir zonasini vujudga keltiradi. O'ta qizish uchastkasidagi bu zona odatda yirik donaga ega bo'lmaydi va yuqori plastik xossalarga ega mayda donali tuzilmalar bilan tavsiflanadi.

Chok metallarining tuzilishi elektrshlakli payvandlashda uchta zonaning mavjud bo'lishi bilan tavsiflanishi mumkin (2.3-a rasm) yirik ustunsimon kristallitlar 1 zonasi, ular issiqlikni qaytarishga teskari yo'nalishda o'sadi: donasining o'lchami kichikroq va ularning issiqlik markazi tomoniga ko'proq oqadigan yupqa ustinsimon kristallitlar 2 zonasi; chokning o'rtasida joylashgan teng o'qli kristallitlarning 3 zonasi. Elektrshlakli payvandlash usuliga, chok metallining kimyoviy tarkibiga va payvandlash rejimiga bog'liq holda choklarning turlicha tuzilishi olinishi mumkin (2.2.3-b rasm).



2.3-rasm. Elektroshlakli payvandlashda chok metallning tuzilishi:

a - chuqur pishirish bilan; b - chuqur bo'lmagan pishirish bilan;

Chokda uglerod va marganets miqdorining ortishi 1 zonaning enini ortiradi, issiqlikni qaytarish jadalligini kamayishi esa 1 zonaning enini kamaytiradi. Elektroshtlakli payvandlashda chokoldi zonasining termik sikli uzoq vaqt qizitish va o'ta qizish haroratida tutib turish hamda sekin sovitish bilan tavsiflanadi. Shuning uchun unda yirik donali kam plastikli tuzilmalar vujudga kelib, ular erish chizig'idan uzoqlashgani sari normalashgan mayda donali tuzilma bilan almashinadi. O'ta qizish uchastkasida zarbiy qovushqoqlikning kamayishi kuzatilishi mumkin, u keyingi termik ishlov bilan bartaraf etiladi.

Termik ta'sir ko'rsatish zonasining turli uchastkalarining eni va chokli tuzilmasi termik sikl, payvandlash usuli va rejimi, asosiy metallning tarkibi va qalinligi bilan belgilanadi. O'z navbatida,

payvandlashning termik siklini belgilovchi ko'rsatkich maksimal harorat hisoblanadi. Termik ta'sir zonasining umumiy davomiyligi 20 – 30 mm ga etishi mumkin.

2.3. PO'LATLARNING PAYVANDLANUVCHANLIGI

Termik jihatdan mustahkamlanmagan kam uglerodli va kam legirlangan po'latlarni payvandlashning yoyli usullarida chokning asosiy metall bilan mustahkamligi teng bo'lishini ta'minlash odatda qiyinchilik tug'dirmaydi. Termik jihatdan mustahkamlangan po'latlarni payvandlashda ma'lum qiyinchiliklar yuzaga keladi, chunki chok atrofi zonasi metallining mexanik xossalari payvandlashning aniq sharoitlariga va payvandlash oldidan po'latga termik ishlov berish turiga bog'liq.

Katta qalinlikdagi (20 mm dan ortiq) birikmalarini, bir o'tishli burchakli choklarni, manfiy haroratlar sharoitida va shular ka'bilarda tezlashtirilgan rejimlarda payvandlashda sovitish tezliklarini oshirish chok metallida va chokoldi zonasida o'ta qizish va rekristallanish uchastkalarida toblanma tuzilmalarning paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin. Agar po'lat payvandlashdan avval termomustahkamlash – toblash jarayonidan o'tgan bo'lsa, u holda rekristallanish va eskirish uchastkalarida chokning termik zonasida metallni chiniqtirish, ya'ni uning mustahkamlik xossalari kamaytirish kuzatiladi. Bu xossalarning o'zgarish darajasi pogon energiya miqdoriga, payvand birikmalar turiga va payvandlash sharoitlariga bog'liq bo'ladi.

Kam legirlangan po'latlarni payvandlashda chok metall va chok oldi zonasi xossalari o'zgarishi ancha kuchli namoyon bo'ladi. kamlegirlangan issiq prokatka po'latda o'ta qizish va normallanish uchastkalarida toblanma tuzilmalar paydo bo'lishi mumkin. Bunday po'latning mexanik xossalari o'zgarish darajasi kamuglerodli issiqalayin yumaloqlangan po'latnikidan katta.

Kam legirlangan po'latlarga termik ishlov berish (ko'pincha toblash) ularni payvandlash texnologiyasini murakkablashtiradi. Bir tekis mustahkam payvand birikma hosil qilish uchun tegishli texnik usullarni qo'llanish zarur (termik mustahkamlanmaganlarni qisqa

uchastkalab payvandlash, termik mustahkamlanganlarni uzun uchastkalab payvandlash va boshqalar). Termik sikl ta'sirida (mustahkamlash yoki toblash) ta'sirida asosiy metall xossalarining o'zgarishi yuz bergan joyda termik ta'sir zonasi uchastkasining uzunligi payvandlash usuliga va rejimiga, payvand birikma konstruksiyasining tarkibi va qalinligiga bog'liq bo'ladi. Pogon payvandlash energiyasining oshishi mustahkamlangan zonaning kengayishi va undagi metall qattiqligining pasayishi bilan birga kuzatiladi. Buning sababi yuqori haroratli qizdirilgan metall hajmining kengayishi va sovitish suratining pasayishidir. O'ta qizish yoki toblash hodisasi juda keskin namoyon bo'lgan chokoldi zonasi – kam legirlangan po'latlarni payvandlashda sovuq yoriqlar paydo bo'ladigan ehtimoli joydir.

Tayyorlash operatsiyalarida kam uglerodli va kam legirlangan po'latlardan konstruksiyalarni tayyorlash jarayonida va yuqori haroratli sohadan uzoqroqdagi zonalarda payvandlashda plastik deformatsiya vujudga keladi. Bu zonalar keyingi choklarni qo'yishda tahminan 300 °C haroratgacha qizish ostiga tushib, deformatsion eskirish uchastkalari bo'lib qoladi, bu esa metallning plastik xossalarini pasaytiradi va mustahkamlik xossalarini ortiradi hamda yoriqlar paydo bo'lishi mumkinligiga olib keladi. Bunday hollarda 600 – 650 °C da yuqori darajada chiniqtirish metallning xossalarini tiklash uchun samarali vosita bo'lib xizmat qiladi. Yuqori darajada chiniqtirishdan payvandlash kuchlanishini olib tashlashda ham qo'llaniladi.

Kam uglerodli po'latlardan tayyorlangan payvand birikmalar kristallanuvchan yoriqlar paydo bo'lishiga qarshi qoniqarli mustahkamlikga ega. Buning sababi ulardagi uglerod miqdorining juda ozligidir. Biroq uglerodi bo'lgan (0.20% dan yuqori) kamuglerodli po'latlar uchun burchak choklarini va qo'p qatlamli choklarda birinchi ildiz chokini, ayniqsa zarari katta bo'lgan choklarni payvandlashda kristallanuvchi yoriqlar paydo bo'lishi mumkin, bu asosan pishirishning noqulay shakli bilan bog'liq.

Uglerod miqdori 0,25 – 0,35% bo'lgan po'latlarni faqat musbat haroratlarda payvandlash mumkin. Qalinligi katta va konstruksiyasi qattiq (bikir) buyumlar uchun 100 – 130 °C gacha oldindan qizdirish amalga oshirish maqsadga muvofiqdir.

Chegarali payvandlanadigan uglerodli po'latlarni (0,15 – 0,45%C) payvandlashni 100 – 150°C haroratda dastlabki yoki yo'l-yo'lakay isitib amalga oshiriladi, payvandlashdan so'ng 600 – 650 °C haroratda yuqori chiniqtirish maqsadga muvofiqdir. Murakkab shaklli va yuqori bikirlikka ega buyumlarni payvandlashda payvandlashdan avval 300 – 450 °C gacha umumiy isitish zarur. Bunday buyumlarni payvandlagandan so'ng yuqori bo'shatish shart.

0,45% dan ko'proq uglerodga ega po'latlar odatda juda qiyin payvandlanadi bunday hollarda buyumni 350 – 500 °C gacha umumiy qizdirish amalga oshiriladi va bu harorat payvandlash jarayonida saqlab turiladi, payvandlashdan so'ng po'latga shu marka uchun mo'ljallangan rejim bo'yicha termik ishlov beriladi. Shuni ta'kidlab o'tish zarurki, barcha hollarda ham buyumni qizdirish dastavval sovish tezligini pasaytirishga va toblash tuzilmalarining paydo bo'lishi ehtimolining kamayishiga yo'naltirilgan.

Dastlabki qizitish haroratini (T_q) $T_k = 350 \sqrt{S_e} - 0,25$ shartdan tanlab olinadi, bunda $S_e = S_k (1+0,005S)$ - uglerodning to'liq ekvivalenti; S_k – uglerodning kimyoviy ekvivalenti, S – po'latning qalinligi, mm.

2.4. PAYVAND BIRIKMALARDAGI NUQSONLAR

2.4.1. Nuqsonlarning turlari va ko'rinishlari

Payvandlash ishida nuqsonlarni quydagi turlarga ajratish qabul qilingan:

1. Buyumlarni payvandlashga tayyorlash va yig'ishdagi nuqsonlar.
2. Chok shakli nuqsonlari.
3. Tashqi va ichki nuqsonlar.

Payvandlash va yig'ishdagi nuqsonlar. Eritib payvandlashda nuqsonlarning o'ziga xos ko'rinishlari quyidagilar hisoblanadi: V-simon. X-simon va U-simon ishlov berilganda chetlarining og'ish burchaklarining noto'g'riligi, ulanayotgan uchlarning uzunlik bo'yicha juda ko'p yoki kam to'ntoqlashuvi (o'tmaslashuvi); ulanayotgan elementlari uzunligi bo'yicha chetlar orasidagi oraliqning bir xil bo'lmasligi; ulanayotgan tekisliklarning bir biriga mos kelmasligi, payvandlanayotgan detallar chetlari orasidagi oraliqning juda kattaligi, chetlarining qatqatlashuvi va ifloslanishi.

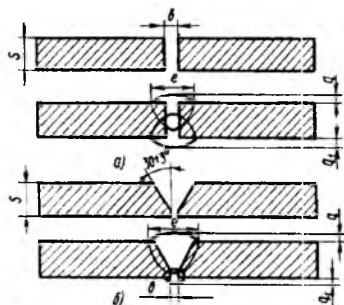
Aytib o'tilgan nuqsonlar zagotovkalarga ishlov berilgan stanokli qurilmaning nosozligi oqibatida: dastlabki materialning sifati yomonligidan, chizmalardagi hatoliklardan; chilangar va yig'uvchilar malakasining kamligidan vujudga kelishi mumkin.

Chok shakli nuqsonlari. Payvand choklarining shakli va o'lchamlari odatda texnik shartlar bilan beriladi, chizmalarda ko'rsatiladi va standartlar orqali tartibga solinadi, chizmalarda ko'rsatiladi va standartlar bilan tartibga solinadi. Uchma-uch choklarning konstruktiv elementlari (2.4- rasm) ularning eni e , kuchaytirish balandligi q va eritib quyishlar q_1 hisoblanadi; tavrli va ustma-ust qiya chetlarsiz bo'lgan burchak choklarning (2.5-rasm) konstruktiv elementlari esa katet K va qalinlik a hisoblanadi. Choklarning o'lchamlari payvandlanayotgan metallning qalinligi S ga va konstruksiyalardan foydalanish shartlariga bog'liq.

Payvand birikmalarini eritib payvandlashning istagan uslublari bilan bajarishda choklarning eni va balandligi notekis bo'lishi,

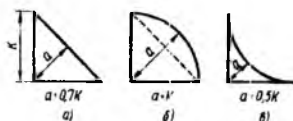
balandliklar, chuqurchalar, katetlari va burchak choklarining balandligi bir tekis bo'lmisligi mumkin (2.6- rasm).

Choklarning notekis kengligi payvandchining ko'rish-xarakatlanish koordinatsiyasiga (KHK) bog'liq bo'ladigan elektrodning noto'g'ri harakatlari natijasida shuningdek, yig'ishda qirralar orasida vujudga kelgan berilgan oraliqdan og'ishlar natijasida paydo bo'ladi. Avtomatik payvandlashda bunday nuqsonning vujudga kelishi sababi simni uzatish tezligining, buzilishi payvandlash tezligining va hokazolar hisoblanadi.



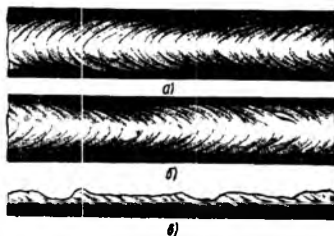
2.4-rasm. Uchma-uch choklarning asosiy konstruktiv elementlari:

a – kichik qalinlikdagi uchlarni ishlov bermagan; b – V-simon ishlov bilan.



2.5-rasm. Valikli choklarning asosiy konstruktiv elementlari:

a – normal (me'yordagi), b – qavariq, v – boshliq



2.6-rasm. Chok shakllari nuqsonlari:

a – dastaki payvandlashda kengligining notekisligi, b – shuning o'zi avtomatik payvandlashda, v – notekis kuchaytirish – do'ngliklar va chuqurliklar.

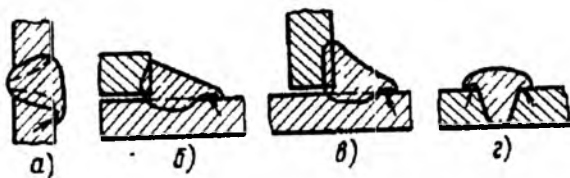
Chok uzunligi bo'yicha kuchaytirishning notekisligi, mahaliy balandliklar va chuqurliklar dastaki payvandlashda payvandchining malakasi etishmasligi sababli va birinchi navbatda payvanchining KHK xususiyati bilan; qisqa choklarni eritishning noto'g'ri usullari. elektrod'larning qoniqarsiz sifati bilan izohlanadi.

Avtomatik payvandlashda bu nuqsonlar kam uchraydi va payvandlash tezligini sozlovchi avtomat mexanizmidagi nosozliklar oqibatida bo'ladi.

Chok shaklining sanab o'tilgan nuqsonlari birikmaning mustahkamligini pasaytiradi va ichki nuqsonlar paydo bo'lishiga sabab bo'ladi.

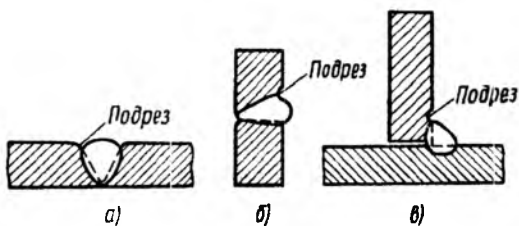
2.4.2. Tashqi nuqsonlar

Unga oqmalar, kesiklar, to'ldirilmagan kraterlar, kuyindilar kiradi. Oqmalar elektrodning erigan metalli erimagan asosiy metall ustiga oqib tushganda yoki oldin bajarilgan valikka u bilan qorishmasdan oqib tushishi natijasida vujudga keladi (2.7-rasm). Oqmalar ayrim zonalar ko'rinishdagi mahaliy, shuningdek uzunligi bo'yicha ancha katta bo'lishi mumkin. Oqmalar yoy uzun bo'lganda tok kuchi me'yordan ortiqligi va payvandlash tezligi katta, chokning fazoviy holati noqulay bo'lganda (vertikal, shipda), payvand choki qo'yiladigan tekislik qiyaligi katta bo'lganda, flyus ostida halqali choklarni payvandlashda elektrod noto'g'ri yuritilganda yoki elektrod simi noto'g'ri ko'chirilganda; vertikal choklarni pastdan yuqoriga tomon bajarganda va payvandchining tajribasi yetarli bo'lmaganda vujudga keladi.



2.7-rasm. Choklardagi oqmalar.

a – vertikal, b – ustma-ust birikmalarda, v – tavrli birikmada. g – uchma uch birikmalarda yoki valiklarni eritib qoplashda.



2.8-rasm. Kesiklar.

a – uchma-uch chokda; b – vertikal tekislikda o'rnatilgan gorizontal chokda; v – tavrli birikmaning burchakli chokida.

Kesiklar asosiy metallda chokning chetlari bo'ylab davom etuvchi chuqurliklardan (ariqchalardan) (2.8-rasm) iborat bo'ladi. Kesma (kesik) chuqurligi millimetrning o'ndan bir ulushlaridan bir necha millimetrgacha bo'lishi mumkin. Bu nuqsonning paydo bo'lishiga katta kuchdagi tok va yoyning yuqori kuchlanishi; payvandlashdagi noqulay fazoviy holat; payvandchining ehtiyotsizligi sabab bo'ladi.

Chokdagi kesiklar metallning ishchi qalinligini kamaytiradi, ishchi yuklanishlardan maxaliy kuchlanishlarni vujudga keltiradi va foydalanish jarayonida choklarning yemirilishga sababchi bo'lishi mumkin.

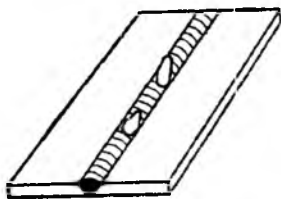
Ta'sir qiluvchi kuchlanishlarga ko'ndalang joylashgan uchma-uch va burchakli choklardagi kesiklar vibratsion mustahkamlikning keskin pasayishiga olib keladi: ta'sir qiluvchi kuchlanish bo'ylab joylashgan xatto yirik kesiklar ham ko'ndalang joylashgan kesiklardan ko'ra mustahkamlikka ancha kam darajada ta'sir ko'rsatadi.

Krater – payvandlash qo'qqisidan to'xtatilganda chok oxirida paydo bo'ladigan chuqurlik. Kraterlar qisqa choklarni bajarishda ayniqsa ko'p vujudga keladi. Kraterning o'lchamlari payvandlash tokkining kattaligiga bog'liq. Dastaki (qo'lda) payvandlashda kraterning diametri 3 dan 20 mm oralig'ida bo'ladi. Avtomatik payvandlashda u ariqcha ko'rinishdagi uzun shaklga ega bo'ladi. To'ldirilmagan kraterlar payvand birikmaning mustahkamligiga yomon ta'sir ko'rsatadi, chunki ular kuchlanishlarning to'planishiga sabab bo'ladi. Vibratsion yuklanishda kamuglerodli po'lat birikma mustah-

kamligining pasayishi 25% ga etadi, kamlegirlangan po‘lat birikmalar chokida krater mavjud bo‘lganda mustahkamlikning pasayishi 50% ni tashkil etadi.

Kuyindilar – payvand chokida farron (ochiq) teshik ko‘rinishdagi nuqsonlar bo‘lib, ular payvand vannasining oqib chiqib ketishi oqibatida, uncha katta bo‘lmagan qalinlikdagi metallni va ko‘p qatlamli choklarda birinchi qatlamni payvandlashda, shuningdek vertikal choklarni pastdan yuqoriga tomon payvandlashda vujudga keladi (2.9-rasm).

Kuyishlarning sababi yoyning xaddan tashqari yuqori pogon energiyasi, notekis tezlikda payvandlash, ta‘minot manbaini to‘xtatish, payvandlanadigan elementlar chetlari orasidagi tirqishning kattaligi. Barcha hollarda kuydirishda yuzaga keladigan teshik to‘ldirilsa ham, biroq shu joydagi chok tashqi ko‘rinishi va sifatiga ko‘ra qoniqarsiz bo‘ladi.



2.9-rasm. Kuyindilar

Kuygan joylar metall uchida yoyning uyg‘onishi natijasida (“elektrod bilan yondirishda”) vujudga keladi. Bu nuqson kuchlanishlarning to‘planishi manbai bo‘ladi, uni mexanik usulda bartaraf etiladi.

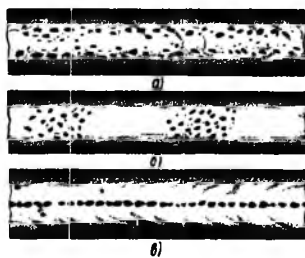
2.4.3. Ichki nuqsonlar

Ularga bo‘shliqlar (g‘ovaklar), shlakli kirishmalar, pishmaganlar, qorishmaganlar va yoriqlar kiradi. Dumaloq shakldagi bo‘shliqlar ko‘rinishdagi, gaz bilan to‘ldirilgan g‘ovaklar (2.10-rasm) payvandlanayotgan metall uchlarining ifloslanganligi, nam flyusdan yoki narn elektrodlardan foydalanganlik, karbonat angidridi muhitida

payvandlashda chokni himoyalash yetarlicha bo'lmashligi, payvandlash tezligi ortirilgani va yoy uzunligi ortiqcha bo'lishi oqibatida vujudga keladi. Karbonat angidrid gazi muhitida payvandlashda, ayrim hollarda esa katta toklarda flyus ostida farron g'ovaklar (svishlar) hosil bo'ladi.

Ichki bo'shliqlarning o'lchamlari diametrlari 0,1 mm dan 2 – 3 mm gacha, ba'zan esa undan ham ortiq bo'ladi. Chok sirtiga chiquvchi bo'shliqlar katta o'lchamli bo'lishi ham mumkin. Flyus ostida va karbonat angidrid gazida katta toklarda payvandlashda svishlar 6 – 8 mm gacha diametrga ega bo'lishi mumkin. "Qurtsimon" g'ovaklar bir necha santimetrli uzunlikka ega bo'ladi.

Bir tekis g'ovaklik (2.10-a rasm) muntazam ta'sir etuvchi emillarda; asosiy metallning payvandlanayotgan sirtlar bo'yicha ifloslanganda (zang bosganda, moy tekkanda va xokazo), elektrodlar qoplamasi qalinligi bir xil bo'lmaganda va xokazo. Bo'shliqlarning to'planishi (2.10-b rasm) mahaliy ifloslanishlarda yoki payvandlashning belgilangan tartibidan og'ishishlarda, shuningdek elektrodni moylash yaxlitligi buzilganda, chok boshida payvandlashda, yoy uzilganda yoki uning uzunligi tasodifan o'zgartirilganda paydo bo'ladi.



2.10-rasm. Chokda erigan metallidagi g'ovakning ko'rinishi:

a – bir tekis g'ovaklik, b – bo'shliqlarning to'planganligi, v – bo'shliqlar zanjiri.

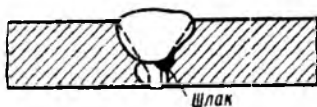
Bo'shliqlar zanjiri (2.10- v rasm) gazsimon mahsulotlar metallga chok o'qi bo'ylab uning butun bo'yi bo'ylab singib ketganida vujudga keladi (zang bo'yicha payvandlashda, chok ildizini sifatsiz elektrodlar bilan eritishda). Yakka bo'shliqlar tasodifiy omillarning ta'siri

hisobiga (tarmoqda kuchlanishning o'zgarib turishi va xokazo). Alyuminiy va titan qotishmalarini payvandlashda bo'shliqlarning paydo bo'lishi ehtimoli katta. po'latlarni payvandlashda esa bu extimol kichik.

Payvand choki metallida shlakli kirishmalar – bu nometall moddalar (shlaklar, oksidlar) bilan to'ldirilgan uncha katta bo'lmagan hajmlardir. Shlakli kirishmalarining paydo bo'lishi ehtimoli ko'p jihatdan payvandlash elektrodining markasi bilan belgilanadi. Yupqa qoplamali elektrodlar bilan payvandlashda shlakli kirishmalarining paydo bo'lishi ehtimoli juda kattadir.

Ko'p shlak beruvchi sifatli elektrodlar bilan payvandlashda erigan metall suyuq holatda uzoqroq vaqt turadi va nometall kirishmalar uning sirtiga qalqib chiqishga ulguradi, buning natijasida chok shlak kirishmalari bilan ozroq miqdorda ifloslanadi.

Shlakli kirishmalarni makro va mikroskopik kirishmalarga ajratish mumkin. Makraskopik kirishmalar cho'zilgan “dumlar” ko'rinishidagi sferik va cho'ziq shaklga ega bo'ladi. Bu kirishmalar chokda payvandlanayotgan uchlarni kuyindi va boshqa iflosliklardan yaxshilab tozalamaslik oqibatida va ko'pincha ichki kesiklar hamda ko'p qatlamli choklarning birinchi qatlamlari sirtlarini keyingilarini payvandlashdan oldin shlakdan yomon tozalaganda paydo bo'ladi (2.11-rasm).



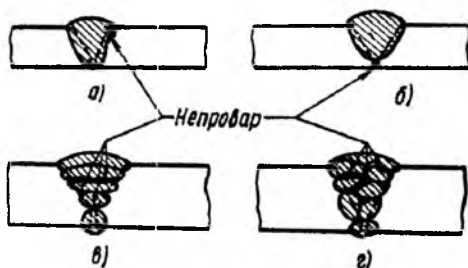
2.11-rasm. Ko'p qatlamli chokda uchning kesilishi bo'yicha shlakli kirishmalar

Makroskopik shlakli kirishmalar eritishi jarayonida kristallanishda chokda qoladigan ayrim kimyoviy birikmalarining paydo bo'lishi natijasida vujudga keladi.

Oksidli plyonkalar payvandlashning barcha turlarida vujudga kelishi mumkin. Ularning paydo bo'lishi sababi shlakli kirishmalar kabidir: payvandlanayotgan sirtlarning ifloslanganligi, ko'p qatlamli payvandlashda chok qatlamlari sirtining shlakda yomon tozalanishi;

elektrod qoplama yoki flyusning sifati pastligi; payvandchining malakasi pastligi va hokazo

Neprovarlar (yaxshi pishmaganlar) – bu payvand birikmasida chetlarning to'liq erimasligi yoki avval bajarilgan valiklarning to'liq erimasligi oqibatida mahalliy erimaslik ko'rinishidagi nuqsondir. Asosiy metallning eritilgan metall bilan qorishmasligi ko'rinishidagi neprovarlar (2.12-a rasm), oksidlarning yupqa qatlamini tashkil etadi, ayrim hollarda esa asosiy va eritilgan metall orasidagi qo'pol shlakli qatlamini tashkil etadi.



2.12-rasm. Pishmagan (etilmagan) joylar:

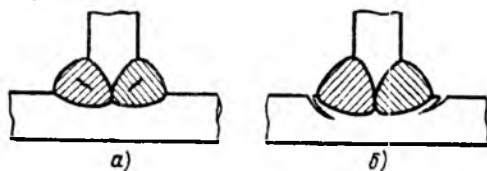
a – asosiy metall bilan uchi bo'yicha; b – chok ildizida; v – alohida qatlamlar orasida; g – valiklar orasida.

Bunday neprovarlarning paydo bo'lishi sababi payvandlanayotgan detallar chetlarining kuyindi, zang, bo'yoq, shlak, moy va boshqa ifloslanishlardan yomon tozalanishi, yoyning magnit maydonlar ta'sirida adashishi yoki og'ish, ayniqsa o'zgarmas tokda payvandlashda; elektrodlar oson eruvchi materialdan bunday elektrodlar bilan chok to'ldirilganda suyuq metall erimagan payvandlash chetlariga oqib tushadi, payvandlash tezligi xaddan tashqari tez, bunda payvandlanayotgan chetlar (uchlar) erishga ulgurmaydi; elektrodning payvandlanayotgan uchlarining birortasi tomon ancha siljishi, bunda erigan metall ikkinchi erimagan uchga oqib, pishmagan joyni yopadi; asosiy metall, payvand simi, elektrodlar, flyuslar va hokazolarning sifati qoniqarsizligi; payvandlash qurilmasining qoniqarsiz ishlashi – payvandlash

jarayonida payvandash toki kuchining va yoy kuchlanishining tebranishi (o'zgarishi); payvandchining malakasi pastligi.

Chok ildizida (asosida) pishmagan joylarning paydo bo'lishi sabablari (2.12-a rasm) yuqorida aytib o'tilganlardan tashqari uchlarning qiyalik burchagining yetarli bo'lmasligi; ular o'tmaslashishining yuqori kattalikdaligi; payvandlanayotgan detallar uchlari orasidagi oraliqning yetarli emasligi; chok oralig'iga quyiladigan elektrod yoki prisadka simi kesimining kattaligi, bu asosiy metallning erishini ancha qiyinlashtiradi. Alohida qatlamlar orasida pishmaganlik (2.12-v, g rasm) quyidagi sabablarga ko'ra yuzaga keladi: oldingi valik qo'yilganda vujudga keladigan shlak to'la olib tashlanmagan, bu hol uni olib tashlash qiyinligidan yoki payvandchining pala-partishligi tufayli yuzaga kelishi mumkin; issiqlik quvvati yetarli emasligi (kichik tok, juda uzun yoki qisqa yoy).

Yoriqlar – uzilish ko'rinishdagi payvand birikmaning qisman mahalliy yemirilishi (buzilishi) (2.13-rasm). Yoriqlarning paydo bo'lishiga quyidagi omillar sabab bo'ladi: qattiq maxkamlangan konstruksiyalarda legirlangan po'latlarni payvandash, havoda toblashga moyil bo'lgan uglerodli po'latlarni payvandlashda sovitish tezligining yuqoriligi; konstruksion legirlangan po'latni avtomatik payvandlashda yuqori uglerodli elektrod simning qo'llanilishi: qalin devorli idishlar va buyumlarda ko'p qatlamli choklarning birinchi qatlamini quyishda payvand tokining yuqori zichliklaridan foydalanish; elektrshlakli payvandlashda detallar uchlari orasidagi oraliqning yetarli emasligi; flyus ostida avtomatik payvandlashda xaddan ortiq chuqur va tor choklar; past haroratda payvandlash ishlarini bajarish; konstruksiyalarni "kuchaytirish" uchun choklarni xaddan ortiq ko'chaytirish (ustma-ust quyishlarning qo'llanishi va xakozo), buning natijasida payvand birikmada yoriqlarning paydo bo'lishiga imkon beruvchi payvand kuchlanishlar ortadi; payvand birikmalarda kuchlanishlarning to'planishi hisoblanadigan boshqa nuqsonlarning mavjudligi, ular ta'sirida bu nuqsonlar sohasida yoriqlar rivojlana boshlaydi.



2.13-rasm. Payvand chok va birikmalardagi yoriqlar:
a – eritilgan metallda. b – erish va termik ta'sir zonalarida.

Yoriqlar eng havfli nuqsonlar qatoriga kiritiladi va amaldagi barcha me'yoriy-texnik hujjatlarga ko'ra yo'l qo'yib bo'lmaydigan nuqsonlar hisoblanadi.

Yopishishlar payvandlanayotgan sirtlarda yoki metall chetlarida kichik ko'rinishdagi qo'polliklardan iborat. Yopishishlar – juda havfli nuqsonlar bo'lib, zamonaviy defektoskopiya vositalari bilan yaxshi aniqlanmaydi. Bunday nuqsonlarning vujudga kelishining eng ko'p ehtimoli aluminiy-magniyli qotishmalarni argon yoyli payvandlashda shuningdek kontaktli payvandlashda va bosim bilan payvandlashda bo'ladi. Bosim bilan payvandlashda o'z xarakteri bo'yicha yuqorida sanab o'tilganlardan farq qiladigan nuqsonlar vujudga keladi. Biroq shlakli kirishmalar, kesiklar, toshmalar va kraterlar kabi nuqsonlar odatda uchramaydi.

Uchma-uch, nuqtali va chokli kontakt payvandlashning umumiy nuqsonlari metallning kuyishi, pishmaganlik, erimay qolganlik, g'ovaklik, radial va bo'ylama yoriqlar hisoblanadi. Bu nuqsonlar payvandlash texnologiyasini buzish natijasida vujudga keladi (katta yoki kichik tokda, bosim, cho'kish tezligi noto'g'ri tanlanganda, va tok ostida ushlab turish davomiyligi noto'g'ri tanlanganda va xokazo). Bu nuqsonlarning hammasi birikmalarning ish qobiliyatini pasaytiradi. Bosim bilan payvandlashdagi nuqsonlarni eritib payvandlashdagi nuqsonlarga qaraganda aniqlash odatda ancha murakkab.

2.5. PAYVANDLASHDAGI NUQSONLARNING KONSTRUKSIYALAR ISH UNUMIGA TA'SIRI

Payvand birikmalarning sifatini nazorat qilishda va ularning foylanishda yaroqliligini baholashda tashqi va ichki nuqsonlarning konstruksiyaning mustahkamlik xarakteristikalariga ta'sirini bilish zarur. Nuqsonlarning havfligi ularning xususiy xarakteristikalari (turlari, ko'rinishlari, o'lchovlari, shakllari va x.k.) ning ta'siri bilan bir qatorda ko'pgina konstruksion va ekspluatatsion omillarga bog'liq. Bu masalani o'rganish ham amaliy, ham nazariy jihatdan katta qiyinchiliklar tug'diradi. Ko'pchilik hollarda u yoki bu turdagi nuqsonning konstruksiyalarning ishlash qobiliyatiga ta'sir ko'rsatish darajasi nuqsonli namunalarni sinab aniqlanadi.

Konstruksiyani foydalanishga topshirishda dastavval tashqi nuqsonlarning yo'l qo'yilishi baholanadi. Tashqi nuqsonlarga yo'l qo'yish qiymatlari odatda, konstruksiyani tayyorlashga oid texnik shartlarda ko'rsatilgan va undan foydalanish sharoitlariga bog'liq. Chokni kuchaytirish statik mustahkamlikni kamaytirmasligi, aniqlangan, biroq u vibratsion mustahkamlikka kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Chokni kuchaytirish qancha ko'p bo'lsa, va binobarin, asosiy metallardan eritiladigan metallga o'tish burchagi qancha kichik bo'lsa, u chidamlilik chegarasini shunchalik kuchliroq pasaytiradi. Shunday qilib, chokni xaddan ortiq kuchaytirish vibratsion, dinamik va takroriy-statik yuklanishlarda ishlovchi payvand birikmalar sifatini yaxshilash bo'yicha texnologik jarayonni optimallashtirishdan olingan barcha afzalliklarni nolga olib kelishi mumkin.

Kesik havfli tashqi nuqson hisoblanadi. Unga chidamlilikka ishlaydigan konstruksiyalarda yo'l qo'yilmaydi. Statik yuklanishlar ta'sirida ishlovchi konstruksiyalarda chok kesimini ko'pi bilan 5% ga susaytiruvchi uzunligi katta bo'lmagan kesiklarni yo'l qo'yish mumkin bo'lgan kesiklar deb hisoblash mumkin.

Oqma (napliv) lar choklarning tashqi shaklini o'zgartirib, kuchlanishlar kontsentrator (markaz) larni hosil qiladi va shu bilan

konstruksiyalarning pishiqligini pasaytiradi. Katta davomiylikdagi oqavalarni yo'l qo'yib bo'lmaydigan nuqsonlar deb hisoblash lozim, chunki ular kuchlanishlarni to'plashgandan tashqari ko'pincha yaxshi etilmasliklar (neprovar) bilan birga bo'ladi.

Payvandlash rejimlarining me'yordagilardan tasodifiy chetlashishlari bilan yuzaga kelgan uncha katta bo'lmagan mahalliy oqavalarni yo'l qo'yishi mumkin bo'lgan nuqsonlar deb hisoblash mumkin.

Kraterlar. kuyindilar singari, barcha hollarda yo'l qo'yib bo'lmaydigan nuqsonlar hisoblanadi va tuzatilishi kerak.

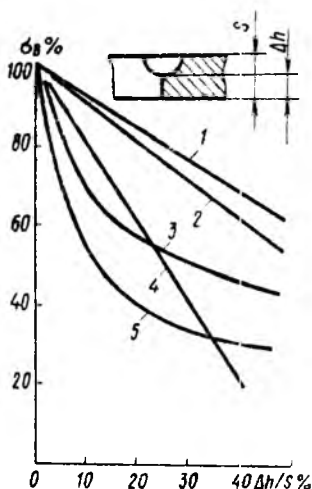
Payvand birikmaning sifatini yakuniy baholash uchun nazoratchi ichki nuqsonlarning yo'l qo'yilishi chegarsini bilishi kerak, bu chegara sinovlar asosida o'rnatiladi. Ko'p sonli tadqiqot natijalarining ko'rsatishicha plastik materiallar uchun statik yuklanishda (2.14-rasm, 1, 2, 4 egri chiziqlar) etilmaganlik (neprovar) kattaligining ularning mustahkamligi kamayishiga ta'siri neprovarning nisbiy chuqurligiga yoki uning yuziga to'g'ri proporsional. Plastikligi kichik (kam) va o'ta mustahkam materiallar uchun statik yuklanishda (2.14-rasm, 3, 5) shuningdek dinamik yoki vibratsion yuklanishda (2.15-rasm) ish unumini yo'qotish bilan nuqson kattaligi orasidagi mutanosiblik buziladi.

Chok kesimida nisbiy yuzi 5 - 10% gacha bo'lgan bo'shliqlar va shlakli kirishmalar birikmaning statik mustahkamligiga amalda kam ta'sir ko'rsatish aniqlangan (2.16-rasm). Agar choklar ancha katta kuchaytirilgan bo'lsa, u holda yig'inda yuzi chok kesimining 10 – 15% ga teng bo'shliqlar va shlakli kirishmalar statik mustahkamlikka kam ta'sir qiladi. Bir qator konstruksiyalar (garrovga qo'yiladigan detallar, armaturaning ulanish joylari) uchun bunday nuqsonlarning joylashgan o'rniga bog'liq holda ularning yo'l qo'yiladigan kattaligi chok kesimining 10 – 25% ini tashkil etishi mumkin.

Yoriqlar, oksidli pardalar, erib qo'shilmay qolganlar kabi nuqsonlar yo'l qo'yib bo'lmaydigan nuqsonlar hisoblanadi.

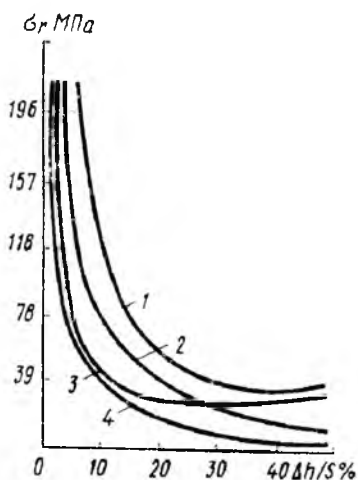
2.6. NUQSONLARNI TUZATISH USULLARI

Nojoiz tashqi va ichki nuqsonlar aniqlanganda ular albatta bartaraf qilinadi. Tashqi nuqsonlarni yoʻqotish tanlangan joylarda silliq oʻtishlarni taʼminlangan holda jilvirlash orqali amalga oshiriladi. Agar yigʻmaning maksimal chuqur joyda detall devorining minimal yoʻl qoʻyiladigan qalinligi saqlangan boʻlgan holda tanlab olingan joylarni payvandlamasa ham boʻladi. Chokning teskari tomonidan nuqsonlarni yoʻqotish asosiy metall bilan yuzining butun uzunligi boʻylab chokning teskari tomonidan amalga oshiriladi.



2.14-rasm. Chok ildizi neprovani nisbiy chuqurligi $\Delta h/S$ ning tutashtiriluvchi birikmalarning statik mustahkamligiga taʼsiri (kuchaytirishsiz):

1 - CT3 poʻlati; 2 - 12X18H9T poʻlati; 3 - 225XГΦA poʻlati; 4 - Д16T; 5 - 30XГCHA poʻlati.

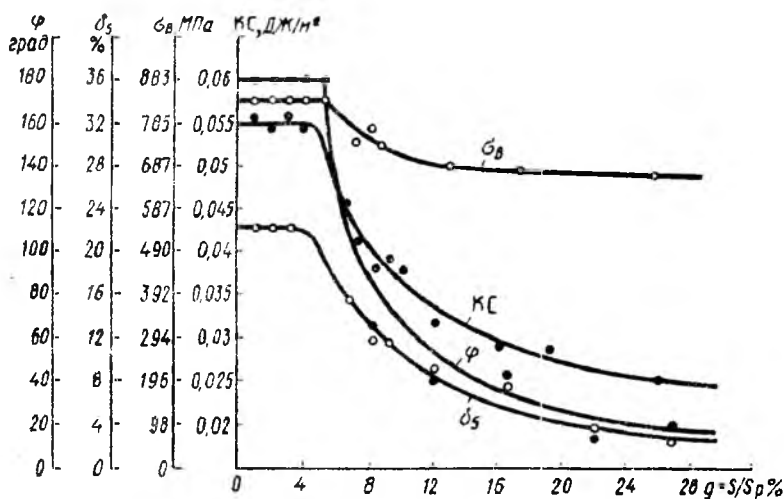


2.15-rasm. Nuqsonlarning $\Delta h/S$ nisbiy kattaligining kamuglerodli poʻlatlardan tayyorlangan tutashtiriluvchi payvand birikmalarning charchash mustahkamlashga taʼsiri (kuchaytirishsiz):

1 - kesiklar; 2 - boʻshliqlar; 3 - chok ildizining yaxshi eritilmaganligi; 4 - shlaklar

Agar mexanik ishlov berish jarayonida (jilvirlashda) tashqi nuqsonlarni toʻla tuzatish imkoni boʻlmasa, u holda ularni, yoʻl qoʻyib boʻlmaydigan nuqsonlar sifatida toʻla yoʻqotish zarur.

Chuqurlashgan tashqi va ichki nuqsonlarni (nuqsonli uchastkalarni) yo'qotish aluminii, titan va ularning qotishmalaridan yo'qotishni faqat mexanik usulda abraziv asbob bilan jilvirlash yoki kesish, shuningdek kesib tashlab, keyin jilvirlash yo'li bilan amalga oshiriladi. Bir qator hollarda po'latdan yasalgan konstruksiyalarda nuqsonli uchastkalarni havo-yoyli yoki alangali-yoyli strojka bilan keyinchalik tanlab olingan sirtni abraziv asboblardan ishlov berish yo'qotishga yo'l qo'yiladi. Bunda uglerodli va kremniy marganesli po'latlardan yasalgan buyumlarning sirtlari kesish izlari to'liq yo'qotilguncha tozalanish (jilvirlanishi) kerak.



Nuqsonli joylarni yo'qotishda ma'lum shartlarga rioya qilish maqsadga muvofiqdir. Yo'qotilayotgan uchastkaning uzunligi nuqsonli joy uzunligi plyus xar tomondan 10 – 20 mm ga teng bo'lishi, tanlanmani ajratish eni esa shunday bo'lishi kerakki, payvandlangandan so'ng chokning eni payvandlanguncha bo'lgan enining ikki barobaridan ortiq bo'lmasin. Payvandlash uchun tayyorlangan tanlamlarning shakli va o'lchamlari istalgan joyda ishonchli payvand qilish imkonini ta'minlash kerak. Xar bir tanlanmaning sirti keskin chiqiqlarsiz, o'tkir chuqurliklar va do'ngliklarsiz silliq qiyofaga ega bo'lishi kerak. Nuqsonli uchastkani payvandlashda asosiy metallning yaqinidagi uchastkalarining yopilishi ta'minlanishi kerak.

Payvandlangandan so'ng uchastkani kratyerdagi chuqurliklar va do'ngliklarni to'liq yo'qotguncha tozalash, unda asosiy metallga silliq o'tishni bajarishi zarur.

Farron yoriqli payvand choklarda payvandlashdan oldin yoriqlarning tarqalib ketishning oldini olish uchun ularning uchlari parmalab teshish talab qilinadi. Bunday holda nuqsonli qism to'liq chuqurlikka payvandlanadi. Nuqsonli qismni payvandlashni eritib payvandlash usullaridan biri (dastaki, yoyli, inert gazlar muhitida yoyli va h.k.) bilan amalga oshiriladi.

Payvand birikmalarining tuzatilgan choklari buyumning sifatiga qo'yiladigan talablarga muvofiq takroran nazoratdan o'tkazilishi kerak. Agar bunda ham yana nuqsonlar aniqlansa, u holda zarur talablarga rioya qilgan holda ularning takroriy tuzatilishi amalga oshiriladi. Aynan bitta nuqsonli uchastkani tuzatish soni konstruksiyaning ahamiyatliligi toifasiga bog'liq va odatda, uchtdan ortmaydi.

3- BOB. FIZIKAVIY KIMYONING ASOSLARI

3.1. FIZIKAVIY KIMYONING ELEMENTLARI

Asosiy metall qirralarining, qo'shimcha metallining erishidan va hosil bo'lgan payvand vannaning kristallanishidan iborat payvand chokining hosil bo'lishining tez kechuvchi jarayonlari qaytmas jarayonlar hisoblanadi.

Payvandlash hududida yangi moddalar metall va muhit o'rtasidagi kimyoviy reaksiya mahsulotlari paydo bo'lishi mumkin. chunki o'zining yetarlicha yuqori erish temperaturalarida metallar juda katta kimyoviy aktivlikni namoyon etadi.

Elektr yoy yoki gaz payvandlashda chok metallning tarkibini o'zgartiruvchi payvandlash hududidagi kimyoviy reaksiyalar yuqori va tez o'zgaruvchi haroratlar sharoitida yuz beradi.

Payvandlashdagi murakkab metallurgik jarayonlarni o'rganish va payvandlash hududida yuz beradigan jarayonlarning mexanizmini tushunish uchun fizik kimyo sohasida bilimlarga ega bo'lishni talab etadi.

Fizik kimyo moddiy tizimlarning tarkibi va xossalari ular sodir etiladigan fizik sharoitlarga bog'liq holda moddiy tizimlarning tarkibi va xossalarning o'zgarishi jarayonini ko'rib chiqadi.

3.1.1. Gazlarning fizik xossalari va tenglamasi

Gazning fizik holati uchta kattalik: harorat T , bosim P va hajm V tavsiflanadi. Bu kattaliklar bir-biri bilan gaz holati tenglamasi deb ataluvchi munosabat bilan bog'langan.

Gaz holati tenglamasi uchta qonun asosida keltirib chiqarilgan:

Boyl-Moriott qonuni. $PV = \text{const}$;

Gey-Lyussak qonuni. $P = \text{const}$;

Avogadro qonuni. bu qonunga ko'ra teng bosim va haroratlarda barcha gazlarning teng hajmlari bir xil miqdordagi molekulaga ega bo'ladi.

Bir atmosferaga teng bosimda va selsiy bo'yicha nol gradusga teng haroratda bir molekula (mol) $V_0 = 22,41$ hajmni egallaydi, л .

Bir moldagi molekularlar miqdori Avogadro soni yoki doimiysi deyiladi:

$$N_0 = 6.023 \cdot 10^{23} ; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{\text{мол}}{\text{моль}}$$

Bu uch qonunni qanoatlanuvchi holat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$PV = nRT \quad (1)$$

Bunda P –gaz bosimi. atm. hisobida;

V – gaz hajmi, л hisobida;

n – gaz mollari miqdori:

R – gaz doimiysi.

Gaz doimiysi gazning o'zgarmas bosimda uni bir gradus isitganda gazning kengayishi ishini ifodalaydi.

Agar tenglamaga molyar hajm kiritilsa:

$$V = \frac{v}{n},$$

$$\text{u holda} \quad p v = RT \quad (2)$$

tenglamani olamiz, $R = 8,31 \frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}}$

Agar gaz doimiysini gaz bitta molekulasi ga nisbatini olsak Boltsman doimiysi deb ataluvchi yangi doimiyni hosil qilamiz:

$$K = \frac{R}{N} = 1,38 \cdot 10^{-16} \frac{\text{эрг}}{\text{град}} ; K = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{ж}}{\text{мол. град}}$$

Berilgan temperaturada gaz molekulasi ning ilgarilanma harakati o'rtacha kinetik energiyasi quyidagiga teng:

$$E = \frac{3}{2} KT \quad (3)$$

Dalton qonuni

Gaz bir-biri bilan aralashtirilganda bir jinsli aralashmani hosil qiladi. Aralashmadagi xar bir gaz shu hajmda boshqa gazlar bo'lmagandagi xossalarni saqlab qoladi. Bundan kelib chiqib, Dalton qonuni bunday ifodalanadi: gaz aralashmasining umumiy bosimi aralashmaga kiruvchi barcha gazlarning partsial bosimlari yig'indisiga teng:

$$P_{ar} = \sum P_i \quad (4)$$

P_i –aralashmadagi alohida gazning partsial bosimi.

3.1.2. Issiqlik sig'imi

Issiqlik sig'imi deb, modda miqdori birligini bir gradusga isitish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdoriga aytiladi.

Gazlarning issiqlik sig'imining ikki turi farq qilinadi o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi (C_v), bunda gazning isitish o'zgarmas hajmda amalga oshiriladi.

O'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi (C_p) bunda isitish o'zgarmas bosimda amalga oshiriladi.

O'zgarmas hajmda isitilayotgan bir atomli ideal gaz uchun issiqlik molekulalarning ilgarilma harakati kinetik energiyasini oshirishga sarflanadi. Shuning uchun o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imini molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasidan aniqlash mumkin:

$$C_v = \frac{3kT}{2T} \cdot N_0 = \frac{3}{2} k \cdot N_0 = \frac{3}{2} R; \quad C_v = \frac{E}{T} \cdot N_0 = \frac{3}{2} R$$

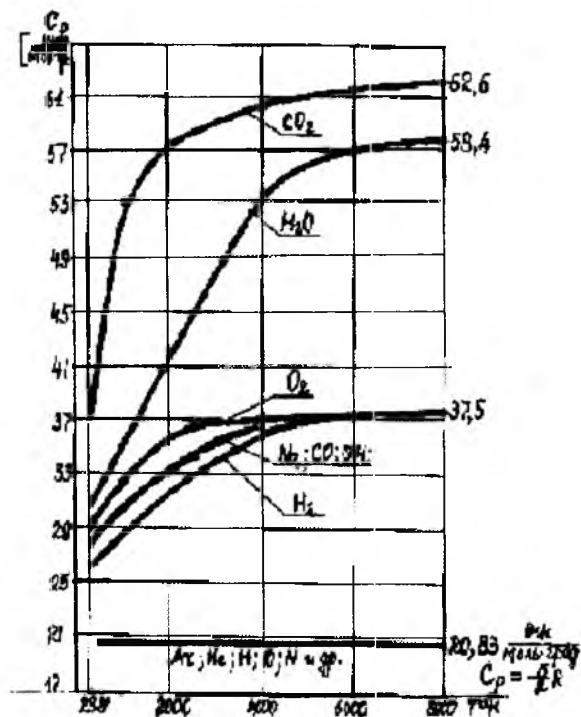
O'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imidan katta, chunki bunda gazning kengayishga ma'lum miqdordagi issiqlik sarflangan:

$$C_p = C_v + R = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R;$$

Bir atomli gazlarning issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq emas va o'zgarmas kattalikdir.

O'zgarmas hajmda isitiladigan ko'p atomli gazlar uchun issiqlik faqat molekulalarning kinetik energiyasini oshirishgina emas, balki molekulalarning o'z simmetriya o'qlari atrofida aylanish energiyasini oshirishga va atomlarning molekulada tebranishlari oshirishga ham

sarflanadi. Shuning uchun molekuladagi atomlar ko'p bo'lsa, va gazning temperaturasi qanchalik yuqori bo'lsa, ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imi shunchalik ko'p bo'ladi. Deyarli barcha payvandlash jarayonlari $CP = \text{const}$ bo'lganda amalga oshiriladi.



3.1-rasm. Ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imini ($C_p = \text{const}$) haroratga bog'liqligi.

Grafikning ko'rsatishicha, ko'p atomli gazlarning issiqlik sig'imi temperatura oshishi bilan ortib borib, suyuq gaz uchun ma'lum chegaragacha yaqinlashadi:

$$C_p = a + bT + cT^2 \frac{x}{\text{molekulya}}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.12 \text{ j} \approx 4.2 \text{ j}$$

$$1 \text{ kkal} = 4200 \text{ j}$$

3.1.3. Ichki energiya

Har qanday fizik jism yashirin energiya zaxirasiga ega bo'lib, u shu jismni tashkil etuvchi zarrachalar harakatining barcha shakllari natijasi hisoblanadi. Bu energiya ichki energiya deyiladi. Energiyaning miqdori jismning massasiga va tabiatiga, uning holatiga, shuningdek, jism turgan tashqi sharoitlarga bog'liq.

Biror moddaning ichki energiyasi quyidagilardan iborat:

1. Moddaning massasini bilgan holda o'lchash mumkin bo'lgan yadroicha energiyasidan $E_{yad}=mc^2$; C – yorug'lik tezligi m/sek.
 $c=2.99 \cdot 10^8$ m/sek

2. Molekula va atomlarning ilgarilanma, aylanma va tebranma harakatlaridan

3. Elementar zarralarning o'zaro ta'sirlashuvi potensial energiyasidan

Moddaning ichki energiyasi moddaning faqat tabiatigina emas, balki

$$U = f(p, v, T);$$

holat tenglamasi o'zgaruvchilariga ham bog'liq.

Bir atomli gazlar uchun o'zgarmas hajmda

$$U = C_v(T_2 - T_1) \text{ J/mol}$$

O'zgarmas hajmda isitiladigan ko'p atomli gaz uchun issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'lgani uchun

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

3.2. FIZIK KIMYO KONSTANTALARI

3.2.1. Entalpiya (issiqlik miqdori)

Payvandlash jarayonlari o'zgarmas bosimda kechadi (olib boriladi) va shuning uchun gazni isitishda gazni kengaytirishga sarflanadigan qo'shimcha energiya miqdorini sarflash zarur. Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun yangi funktsiya tushunchasi kiritiladi. u (N) entalpiya yoki issiqlik miqdori deyiladi

$$H = U + pV \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Bir atomli gaz uchun entalpiyaning o'zgarishi:

$$\Delta H = C_p (T_2 - T_1) \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Ko'p atomli gaz uchun:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Moddaning ichki energiyasining o'zgarishi moddaning energiyani yutishi yoki chiqarishi (berishi) bilan birga kechadi. Energiya berilgan holda energiyaning ma'lum bir qismi ishga aylanadi. Biroq, modda chiqargan energiyaning hammasini ham ishga aylantirib bo'lmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning ma'lum bir qismi modda molekullari va atomlarining xotik harakatining oshirishga sarflanadi. Shuning uchun erkin va bog'langan energiya tushunchasi kiritiladi.

$$\Delta H = \Delta F + \Delta G \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

bunda: ΔH - entalpiyaning (issiqlik miqdorining) o'zgarishi

ΔF - erkin energiyaning o'zgarishi

ΔG - bog'liq (bog'langan) energiyaning o'zgarishi.

3.2.2. Entropiya

Bog'langan energiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$\Delta G = ST \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right);$$

S – kattalik entropiya deb ataladi. Uning o'lchovi xuddi issiqlik sig'iminiki kabi $\left(\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right)$, va moddaning holati o'zgarganda modda ichki

energiyasining o'zgarishi o'lchovi bo'lgani kabi entropiya ham bog'langan energiyaning o'lchovi bo'lib hisoblanadi.

Entropiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanishi mumkin:

$$S = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad \left(\frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}} \right)$$

Modda uni absolyut noldan boshlab isitilganda agregat holati o'zgarganda entropiyaning temperaturaga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$S_T = \int_0^T \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{эв}}}{T_{\text{эв}}} + \int_{T_{\text{эв}}}^{T_{\text{ки}} \text{ или } T_{\text{пл}}} \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{эв}}}{T_{\text{эв}}} + \int_{T_{\text{ки}} \text{ или } T_{\text{пл}}}^T \frac{C_{p, \text{г}}}{T} dT$$

bunda $C_{p, \text{ж}}$, $C_{p, \text{с}}$, $C_{p, \text{г}}$ – moddaning qattiq, suyuq va gazsimon holatdagi issiqlik sig'implari

$q_{\text{эв}}$, $q_{\text{ки}}$ – moddaning qattik, erish va qaynash yashirin issiqligi

3.3. GAZ ARALASHMALARIDA KIMYOVIY REAKSIYALAR

Ta'sirlanuvchi tizim entalpiyasining o'zgarishi: reaksiyaning issiqlik effekti. Agar gaz aralashmalari bir-biri bilan kimyoviy birikmaga kirishsa, ular yana ham murakkab molekulalarni tashkil etadi. Tashqi sharoitga (T, P) bog'liq holda teskari kimyoviy reaksiyalar – murakkab molekulalarning ancha oddiylariga ajralishiga ham yuz berishi mumkin.

O'zgarmas bosimda reaksiyaning yo'nalishini belgilab beruvchi asosiy omil temperatura hisoblanadi. Kimyoviy aloqalarning vujudga kelishi yoki uzilishi doimo energiyaning yutilishi yoki ajralishi bilan birga kechadi. bu esa tizimning entalpiya ta'sirlanuvchi sakratsimon o'zgarishida namoyon bo'ladi. Kimyoviy termodinamikada ta'sirlanuvchi tizimning energiya berishi sistema ichki energiyasining (C_v dagi reaksiyada) yoki entalpiyaning kamayishi bilan ($C_p = \text{const}$ bo'lgandagi reaksiyalarda) kuzatiladi va shuning uchun ΔU va ΔH ni manfiy kattalik deb qabul qilinadi.

3.2. FIZIK KIMYO KONSTANTALARI

3.2.1. Entalpiya (issiqlik miqdori)

Payvandlash jarayonlari o'zgarish bosimda kechadi (olib boriladi) va shuning uchun gazni isitishda gazni kengaytirishga sarflanadigan qo'shimcha energiya miqdorini sarflash zarur. Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun yangi funktsiya tushunchasi kiritiladi. u (N) entalpiya yoki issiqlik miqdori deyiladi

$$H = U + pV \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Bir atomli gaz uchun entalpiyaning o'zgarishi:

$$\Delta H = C_p (T_2 - T_1) \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Ko'p atomli gaz uchun:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Moddaning ichki energiyasining o'zgarishi moddaning energiyani yutishi yoki chiqarishi (berishi) bilan birga kechadi. Energiya berilgan holda energiyaning ma'lum bir qismi ishga aylanadi. Biroq, modda chiqargan energiyaning hammasini ham ishga aylantirib bo'lmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning ma'lum bir qismi modda molekullari va atomlarining xaotik harakatining oshirishga sarflanadi. Shuning uchun erkin va bog'langan energiya tushunchasi kiritiladi.

$$\Delta H = \Delta F + \Delta G \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

bunda: ΔH - entalpiyaning (issiqlik miqdorining) o'zgarishi

ΔF - erkin energiyaning o'zgarishi

ΔG - bog'liq (bog'langan) energiyaning o'zgarishi.

3.2.2. Entropiya

Bog'langan energiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$\Delta G = -ST \left(\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right);$$

S – kattalik entropiya deb ataladi. Uning o'lchovi xuddi issiqlik sig'iminiki kabi $\left(\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right)$, va moddaning holati o'zgarganda modda ichki

energiyasining o'zgarishi o'lchovi bo'lgani kabi entropiya ham bog'langan energiyaning o'lchovi bo'lib hisoblanadi.

Entropiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanishi mumkin:

$$S = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad \left(\frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}} \right)$$

Modda uni absolyut noldan boshlab isitilganda agregat holati o'zgarganda entropiyaning temperaturaga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$S_T = \int_0^T \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{er}}}{T_{\text{er}}} + \int_{T_{\text{er}}}^{T_{\text{er}}+1} \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{er}}}{T_{\text{er}}} + \int_{T_{\text{er}}+1}^T \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT$$

bunda $C_{p, \text{ж}}$, $C_{p, \text{с}}$, $C_{p, \text{г}}$ – moddaning qattiq, suyuq va gazsimon holatdagi issiqlik sig'implari

q_{er} , q_{qn} – moddaning qattik, erish va qaynash yashirin issiqligi

3.3. GAZ ARALASHMALARIDA KIMYOVIY REAKSIYALAR

Ta'sirlanuvchi tizim entalpiyasining o'zgarishi: reaksiyaning issiqlik effekti. Agar gaz aralashmalari bir-biri bilan kimyoviy birikmaga kirishsa, ular yana ham murakkab molekulalarni tashkil etadi. Tashqi sharoitga (T, P) bog'liq holda teskari kimyoviy reaksiyalar – murakkab molekulalarning ancha oddiylariga ajralishiga ham yuz berishi mumkin.

O'zgarmas bosimda reaksiyaning yo'nalishini belgilab beruvchi asosiy omil temperatura hisoblanadi. Kimyoviy aloqalarning vujudga kelishi yoki uzilishi doimo energiyaning yutilishi yoki ajralishi bilan birga kechadi, bu esa tizimning entalpiya ta'sirlanuvchi sakratsimon o'zgarishida namoyon bo'ladi. Kimyoviy termodinamikada ta'sirlanuvchi tizimning energiya berishi sistema ichki energiyasining (C_v dagi reaksiyada) yoki entalpiyaning kamayishi bilan ($C_p = \text{const}$ bo'lgandagi reaksiyalarda) kuzatiladi va shuning uchun ΔU va ΔH ni manfiy kattalik deb qabul qilinadi.

3.2. FIZIK KIMYO KONSTANTALARI

3.2.1. Entalpiya (issiqlik miqdori)

Payvandlash jarayonlari o'zgarish bosimda kechadi (olib boriladi) va shuning uchun gazni isitishda gazni kengaytirishga sarflanadigan qo'shimcha energiya miqdorini sarflash zarur. Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun yangi funktsiya tushunchasi kiritiladi. u (N) entalpiya yoki issiqlik miqdori deyiladi

$$H = U + pV \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Bir atomli gaz uchun entalpiyaning o'zgarishi:

$$\Delta H = C_p (T_2 - T_1) \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Ko'p atomli gaz uchun:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Moddaning ichki energiyasining o'zgarishi moddaning energiyani yutishi yoki chiqarishi (berishi) bilan birga kechadi. Energiya berilgan holda energiyaning ma'lum bir qismi ishga aylanadi. Biroq, modda chiqargan energiyaning hammasini ham ishga aylantirib bo'lmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning ma'lum bir qismi modda molekullari va atomlarining xotik harakatining oshirishga sarflanadi. Shuning uchun erkin va bog'langan energiya tushunchasi kiritiladi.

$$\Delta H = \Delta F + \Delta G \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

bunda: ΔH - entalpiyaning (issiqlik miqdorining) o'zgarishi

ΔF - erkin energiyaning o'zgarishi

ΔG - bog'liq (bog'langan) energiyaning o'zgarishi.

3.2.2. Entropiya

Bog'langan energiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$\Delta G = ST \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

S – kattalik entropiya deb ataladi. Uning o'lchovi xuddi issiqlik sig'iminiki kabi ($\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$), va moddaning holati o'zgarganda modda ichki

energiyasining o'zgarishi o'lchovi bo'lgani kabi entropiya ham bog'langan energiyaning o'lchovi bo'lib hisoblanadi.

Entropiya temperaturaning funksiyasi hisoblanadi va quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanishi mumkin:

$$S = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad \left(\frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}} \right)$$

Modda uni absolyut noldan boshlab isitilganda agregat holati o'zgarganda entropiyaning temperaturaga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$S_T = \int_0^T \frac{C_{p, \text{ж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{er}}}{T_{\text{is}}} + \int_{T_{\text{is}}}^{T_{\text{er}}} \frac{C_{p, \text{сж}}}{T} dT + \frac{q_{\text{er}}}{T_{\text{er}}} + \int_{T_{\text{er}}}^T \frac{C_{p, \text{г}}}{T} dT$$

bunda $C_{p, \text{ж}}$, $C_{p, \text{сж}}$, $C_{p, \text{г}}$ – moddaning qattiq, suyuq va gazsimon holatdagi issiqlik sig'implari

q_{er} , q_{qn} – moddaning qattik, erish va qaynash yashirin issiqligi

3.3. GAZ ARALASHMALARIDA KIMYOVIY REAKSIYALAR

Ta'sirlanuvchi tizim entalpiyasining o'zgarishi: reaksiyaning issiqlik effekti. Agar gaz aralashmalari bir-biri bilan kimyoviy birikmaga kirishsa, ular yana ham murakkab molekulalarni tashkil etadi. Tashqi sharoitga (T , P) bog'liq holda teskari kimyoviy reaksiyalar – murakkab molekulalarning ancha oddiylariga ajralishiga ham yuz berishi mumkin.

O'zgarmas bosimda reaksiyaning yo'nalishini belgilab beruvchi asosiy omil temperatura hisoblanadi. Kimyoviy aloqalarning vujudga kelishi yoki uzilishi doimo energiyaning yutilishi yoki ajralishi bilan birga kechadi, bu esa tizimning entalpiya ta'sirlanuvchi sakratsimon o'zgarishida namoyon bo'ladi. Kimyoviy termodinamikada ta'sirlanuvchi tizimning energiya berishi sistema ichki energiyasining (C_v dagi reaksiyada) yoki entalpiyaning kamayishi bilan ($C_p = \text{const}$ bo'lgandagi reaksiyalarda) kuzatiladi va shuning uchun ΔU va ΔH ni manfiy kattalik deb qabul qilinadi.

3.2. FIZIK KIMYO KONSTANTALARI

3.2.1. Entalpiya (issiqlik miqdori)

Payvandlash jarayonlari o'zgaras bosimda kechadi (olib boriladi) va shuning uchun gazni isitishda gazni kengaytirishga sarflanadigan qo'shimcha energiya miqdorini sarflash zarur. Hisoblashlar qulay bo'lishi uchun yangi funktsiya tushunchasi kiritiladi. u (N) entalpiya yoki issiqlik miqdori deyiladi

$$H = U + pV \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Bir atomli gaz uchun entalpiyaning o'zgarishi:

$$\Delta H = C_p (T_2 - T_1) \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

formula bilan aniqlanadi.

Ko'p atomli gaz uchun:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Moddaning ichki energiyasining o'zgarishi moddaning energiyani yutishi yoki chiqarishi (berishi) bilan birga kechadi. Energiya berilgan holda energiyaning ma'lum bir qismi ishga aylanadi. Biroq, modda chiqargan energiyaning hammasini ham ishga aylantirib bo'lmaydi. Ajralib chiqqan energiyaning ma'lum bir qismi modda molekullari va atomlarining xotik harakatining oshirishga sarflanadi. Shuning uchun erkin va bog'langan energiya tushunchasi kiritiladi.

$$\Delta H = \Delta F + \Delta G \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

bunda: ΔH - entalpiyaning (issiqlik miqdorining) o'zgarishi

ΔF - erkin energiyaning o'zgarishi

ΔG - bog'liq (bog'langan) energiyaning o'zgarishi.

3.2.2. Entropiya

Bog'langan energiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$\Delta G = -TS \quad \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

S – kattalik entropiya deb ataladi. Uning o'lchovi xuddi issiqlik sig'iminiki kabi ($\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$), va moddaning holati o'zgarganda modda ichki

energiyasining o'zgarishi o'lchovi bo'lgani kabi entropiya ham bog'langan energiyaning o'lchovi bo'lib hisoblanadi.

Entropiya temperaturaning funktsiyasi hisoblanadi va quyidagi ifodaga ko'ra aniqlanishi mumkin:

$$S = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT \quad \left(\frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град}} \right)$$

Modda uni absolyut noldan boshlab isitilganda agregat holati o'zgarganda entropiyaning temperaturaga bog'liqligi quyidagi formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$S_T = \int_0^T \frac{C_{p, \text{sm}}}{T} dT + \frac{q_{\text{er}}}{T_{\text{er}}} + \int_{T_{\text{er}}}^{T_{\text{q}}'} \frac{C_{p, \text{sc}}}{T} dT + \frac{q_{\text{qn}}}{T_{\text{qn}}} + \int_{T_{\text{qn}}}^{T_{\text{q}}'} \frac{C_{p, \text{g}}}{T} dT$$

bunda $C_{p, \text{q}}, C_{p, \text{s}}, C_{p, \text{g}}$ – moddaning qattiq, suyuq va gazsimon holatdagi issiqlik sig'implari

$q_{\text{er}}, q_{\text{qn}}$ – moddaning qattik, erish va qaynash yashirin issiqligi

3.3. GAZ ARALASHMALARIDA KIMYOVIY REAKSIYALAR

Ta'sirlanuvchi tizim entalpiyasining o'zgarishi: reaksiyaning issiqlik effekti. Agar gaz aralashmalari bir-biri bilan kimyoviy birikmaga kirishsa, ular yana ham murakkab molekulalarni tashkil etadi. Tashqi sharoitga (T, P) bog'liq holda teskari kimyoviy reaksiyalar – murakkab molekulalarning ancha oddiylariga ajralishiga ham yuz berishi mumkin.

O'zgarmas bosimda reaksiyaning yo'nalishini belgilab beruvchi asosiy omil temperatura hisoblanadi. Kimyoviy aloqalarning vujudga kelishi yoki uzilishi doimo energiyaning yutilishi yoki ajralishi bilan birga kechadi, bu esa tizimning entalpiya ta'sirlanuvchi sakratsimon o'zgarishida namoyon bo'ladi. Kimyoviy termodinamikada ta'sirlanuvchi tizimning energiya berishi sistema ichki energiyasining (C_v dagi reaksiyada) yoki entalpiyaning kamayishi bilan ($C_p = \text{const}$ bo'lgandagi reaksiyalarda) kuzatiladi va shuning uchun ΔU va ΔH ni manfiy kattalik deb qabul qilinadi.

Issiqlik birliklarida o'lganadigan, sarflangan yoki qabul qilingan energiyaning kattaligi reaksiyaning issiqlik effekti deb ataladi.

Shunday qilib:

$$Q_p = - \Delta H$$

bu yerda Q_p – o'zgarmas bosimda kechadigan reaksiyaning issiqlik effekti.

Kimyoviy reaksiya biror temperaturada o'tgan holda kimyoviy vositaning o'lchovi erkin energiya kattaligi (ΔF) bo'ladi.

Bu holda bu kattalikni reaksiyaning maksimal ishi deyiladi.

U son jihatidan reaksiya erkin energiyasining teskari ishora bilan olingan kattaligiga teng, chunki ta'sirlanuvchi sistemaning erkin energiyasining kamayishi musbat ishga aylantirilishi mumkin.

$$\Delta F = - \Delta H$$

bunda ΔF – ta'sirlanuvchi sistema erkin energiyasining o'zgarishi; ΔH – reaksiyaning maksimal ishi.

Entalpiyaning o'zgarishini yoki ta'sirlanuvchi sistema erkin energiyasining o'zgarishlari, entalpiyalar yoki reaksiya mahsulotlari va dastlabki moddalar o'rtasidagi farqni topish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin. Masalan quyidagi kimyoviy reaksiyaga ega bo'lamiz: $A + B = C + D$, bunda A, B – reaksiyaga kirishuvchi moddalar; C, D – reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotlar.

u holda:

$$\Delta H = (\Delta H_C + \Delta H_D) - (\Delta H_A + \Delta H_B)$$

$$\Delta F = (\Delta F_C + \Delta F_D) - (\Delta F_A + \Delta F_B).$$

ΔH va ΔF ni tabiatda tabiiy holatda 25 °C da bo'lgan elementlar nolga teng deb qabul qilingan. Masalan, yoy hududida doim bo'ladigan odatdagi gazlar uchun: O_2 ; H_2 ; N_2 - ΔH va ΔF 25 °C da nolga teng deb qabul qilingan. Hisoblashlar namunasi uchun gaz tizimida $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ gazlar o'rtasidagi reaksiyani olamiz. Bu sistemaning 25 °C da kechadigan (bo'lib o'tadigan) entalpiyasi va reaksiyaning erkin energiyasini hisoblaymiz.

O'zgarishlar ma'lumotlari sistemani tashkil etuvchi entalpiya va entropiya uchun quyidagi kattaliklarni beradi. 6.1-jadval (neorganik

moddalarining term, konstantalari). H_2 , O_2 va H_2O ni $25^\circ C$ ($298.15^\circ K$) dagi entalpiya va entropiyasi.

3.1-jadval

Gaz	H_2	O_2	H_2O
$\Delta H \frac{kJ}{mol}$	0	0	-242,76
$S \frac{J}{mol \cdot K}$	131,17	205,88	189,42

Ta'sirlanuvchi sistemaning entalpiyasining aniqlaymiz:

$$\Delta H = 2\Delta H_{H_2O} - (2\Delta H_{H_2} + \Delta H_{O_2}) = 2 \cdot 242,76 - (2 \cdot 0 + 0) = -485,52 \frac{kJ}{mol}$$

Reaksiyaning erkin energiyasini va reaksiyaning maksimal ishining tegishli kattaligini aniqlaymiz:

$$\Delta F = \Delta H - \Delta ST$$

$$\Delta S = 2\Delta S_{H_2O} - (2\Delta S_{H_2} + \Delta S_{O_2}) = 2 \cdot 189,42 - (2 \cdot 131,17 + 205,88) = 378,84 - 468,22 = -89,38 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$\Delta F = \Delta H - \Delta ST = -485,52 + (-89,38 \cdot 298) / 1000 = -458,8 \text{ kJ/mol}$$

Bir mol suv bug'i uchun maksimal reaksiya ishi

$$\Delta F = \frac{-458,88}{2} = -229,44 \frac{kJ}{mol};$$

$$A = -\Delta F = +229,44 \frac{kJ}{mol};$$

Erkin energiya kattaligi (ΔF) oldidagi ishora reaksiya ekzotermik ekanini ko'rsatadi (issiqlik ajralishi bilan o'tadi). Manfiy ΔF kattalik va mos holda foydali ishning musbat kattaligi reaksiya berilgan temperaturada bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

Issiqlik birliklarida o'lanadigan, sarflangan yoki qabul qilingan energiyaning kattaligi reaksiyaning issiqlik effekti deb ataladi.

Shunday qilib:

$$Q_p = - \Delta H$$

bu yerda Q_p – o'zgarish bosimda kechadigan reaksiyaning issiqlik effekti.

Kimyoviy reaksiya biror temperaturada o'tgan holda kimyoviy vositaning o'lchovi erkin energiya kattaligi (ΔF) bo'ladi.

Bu holda bu kattalikni reaksiyaning maksimal ishi deyiladi.

U son jihatidan reaksiya erkin energiyasining teskari ishora bilan olingan kattaligiga teng, chunki ta'sirlanuvchi sistemaning erkin energiyasining kamayishi musbat ishga aylantirilishi mumkin.

$$A = - \Delta F \frac{298}{298}$$

bunda ΔF – ta'sirlanuvchi sistema erkin energiyasining o'zgarishi; A – reaksiyaning maksimal ishi.

Entalpiyaning o'zgarishini yoki ta'sirlanuvchi sistema erkin energiyasining o'zgarishlari, entalpiyalar yoki reaksiya mahsulotlari va dastlabki moddalar o'rtasidagi farqni topish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin. Masalan quyidagi kimyoviy reaksiyaga ega bo'lamiz: $A + B = C + D$, bunda A, B – reaksiyaga kirishuvchi moddalar; C, D – reaksiya natijasida hosil bo'lgan mahsulotlar.

u holda:

$$\Delta H = (\Delta H_C + \Delta H_D) - (\Delta H_A + \Delta H_B)$$

$$\Delta F = (\Delta F_C + \Delta F_D) - (\Delta F_A + \Delta F_B).$$

ΔH va ΔF ni tabiatda tabiiy holatda 25 °C da bo'lgan elementlar nolga teng deb qabul qilingan. Masalan, yoy hududida doim bo'ladigan odatdagi gazlar uchun: O_2, H_2, N_2 - ΔH va ΔF 25 °C da nolga teng deb qabul qilingan. Hisoblashlar namunasi uchun gaz tizimida $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ gazlar o'rtasidagi reaksiyani olamiz. Bu sistemaning 25 °C da kechadigan (bo'lib o'tadigan) entalpiyasi va reaksiyaning erkin energiyasini hisoblaymiz.

O'zgarishlar ma'lumotlari sistemani tashkil etuvchi entalpiya va entropiya uchun quyidagi kattaliklarni beradi. 6.1-jadval (neorganik

moddalarining term, konstantalari). H_2 , O_2 va H_2O ni $25^\circ C$ ($298.15^\circ K$) dagi entalpiya va entropiyasi.

3.1-jadval

Gaz	H_2	O_2	H_2O
$\Delta H \frac{kJ}{mol}$	0	0	-242,76
$S \frac{J}{mol \cdot K}$	131,17	205,88	189,42

Ta'sirlanuvchi sistemaning entalpiyasining aniqlaymiz:

$$\Delta H = 2\Delta H_{H_2O} - (2\Delta H_{H_2} + \Delta H_{O_2}) = 2 \cdot 242,76 - (2 \cdot 0 + 0) = -485,52 \frac{kJ}{mol}$$

Reaksiyaning erkin energiyasini va reaksiyaning maksimal ishining tegishli kattaligini aniqlaymiz:

$$\Delta F = \Delta H - \Delta ST$$

$$\Delta S = 2\Delta S_{H_2O} - (2\Delta S_{H_2} + \Delta S_{O_2}) = 2 \cdot 189,42 - (2 \cdot 131,17 + 205,88) = 378,84 - 468,22 = -89,38 \frac{J}{mol \cdot K}$$

$$\Delta F = \Delta H - \Delta ST = -485,52 + (-89,38 \cdot 298)/1000 = -458,8 \text{ kJ/mol}$$

Bir mol suv bug'i uchun maksimal reaksiya ishi

$$\Delta F = \frac{-458,88}{2} = -229,44 \frac{kJ}{mol}$$

$$A = -\Delta F = +229,44 \frac{kJ}{mol}$$

Erkin energiya kattaligi (ΔF) oldidagi ishora reaksiya ekzotermik ekanini ko'rsatadi (issiqlik ajralishi bilan o'tadi). Manfiy ΔF kattalik va mos holda foydali ishning musbat kattaligi reaksiya berilgan temperaturada bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

3.4. YUQORI TEMPERATURADA BO'LADIGAN (KECHADIGAN) REAKSIYALAR UCHUN ENTALPIYANING, ENTROPIYANING VA ERKIN ENERGIYANING O'ZGARISHI

Entalpiya va entropiya reaksiyalarining issiqlik effektlari kattaliklari to'g'risidagi adabiyotda keltirilgan ma'lumotlar asosan 25 °C temperaturada kechadigan reaksiyalar holatlariga taluqlidir.

Reaksiya boshqa temperaturalarda kechganda entalpiya va entropiyaning o'zgarishiga tuzatishlar kiritish zarur.

Tuzatishlar kiritish uchun formulalar quyidagilar:

$$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ + \int_{298}^T \Delta C_P dT \left(\frac{\text{K}}{\text{mole}} \right)$$

$$\Delta S_T^\circ = \Delta S_{298}^\circ + \int_{298}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{T} dT \left(\frac{\text{K}}{\text{mole} \cdot \text{grad}} \right)$$

$$\Delta F_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - \Delta S_{298}^\circ T + \int_{298}^T \Delta C_P^\circ dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_P^\circ}{T} dT \left(\frac{\text{K}}{\text{mole}} \right)$$

Yuqoridagi "o" indeksi moddalar standart holatda ya'ni 1 atm. bosimda olinishini ko'rsatadi. $T = 25^\circ\text{S} = 298^\circ,15 \text{ K}$.

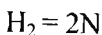
$$\Delta F_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - \Delta S_{298}^\circ T + \Delta C_{P,298}^\circ \left(\int_{298}^T dT - T \int_{298}^T \frac{dT}{T} \right) \left(\frac{\text{K}}{\text{mole}} \right)$$

Bu integrallarni echib hosil qilamiz.

$$\Delta F_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - \Delta S_{298}^\circ T - \Delta C_{P,298}^\circ T M_0$$

$$\text{bunda} \quad M_0 = \ln \left(\frac{T}{298} \right) + \left(\frac{298}{T} \right) - 1.$$

Misol uchun bunday reaksiyani (vodorod dissotsiatsiyasi) olamiz.



Bu reaksiyaning erkin energiyasi bo'ladi

$$\Delta F = 2 \cdot \Delta F_H^\circ - \Delta F_{N_2}^\circ \frac{\text{K} \cdot \text{K}}{\text{mole} \cdot \text{grad}}$$

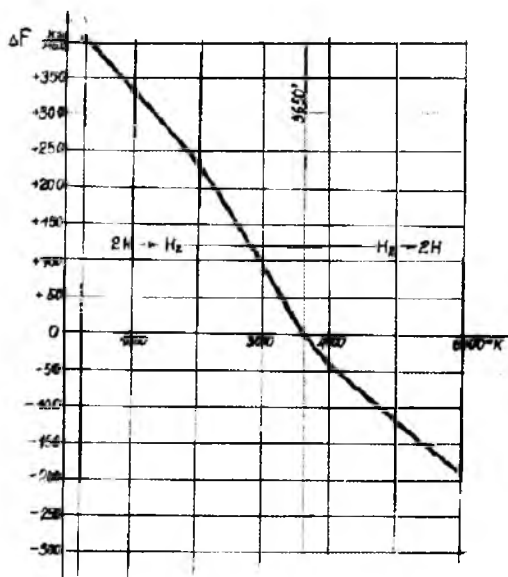
Turli xil temperaturalar uchun erkin energiya kattaligini hisoblaymiz. (jadval 2) $\Delta F_H^\circ = \Delta H_n^\circ - \Delta S_n^\circ \cdot T = 218 - \frac{115 \cdot 298}{1000} = 183,73$

$$\frac{\Delta C}{100.78 \text{ J/mol}^\circ\text{K}}$$

$$\Delta H_H^\circ = +218 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \Delta S_H^\circ = 115 \frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{K}}$$

3.2-jadval

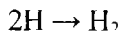
T	ΔF_H°	$2\Delta F_H^\circ$	$\Delta F_{H_2}^\circ$	ΔF
298	+183.73	+367.46	-39.4	+407
1000	+103	+206	-131	+337
2000	-12	-24	-262	+238
4000	-242	-484	-525	-41
6000	-472	-944	-787	-157
8000	-920	-1840	-1049	-791



3.2-rasm. Molekulyar vodorodning erkin energiyasini (ΔF) haroratga bog'liq grafigi.

Grafikdan ko'rinishicha, reaksiyaning erkin energiyasi temperaturaga bog'liq holda musbat kattalik qiymatidan manfiy qiymatga o'tib kuchli tarzda o'zgaradi.

Taxminan 3650 °C temperaturada reaksiyaning erkin energiyasi nolga teng bo'lib qoladi. Bu temperatura haroratkor sohasini ikki qismga ajratadi. Bu nuqtadan chapda (ancha past haroratlar) erkin energiya musbat, bu molekulyar vodorod dissotsiatsiyasi reaksiyasining bo'lishi mumkin emasligini ko'rsatadi. Bu temperaturalar oralig'i uchun teskari reaksiya bo'lishi mumkin.



Erkin energiyaning qiymati nolga teng bo'lganda reaksiya to'xtaydi.

Shunday qilib, tashqi sharoitlarga bog'liq holda (temperatura, bosim) xar qanday reaksiya u yoki boshqa yo'nalishda kyechishi mumkin.

Shuning uchun reaksiya tenglamasini tenglik belgisi (ishorasi) bilan emas, balki ikkita qarama-qarshi strelkalar bilan yozish zarur, masalan,



3.4.1. Gaz aralashmalarida kimyoviy muvozanat

ΔF kattalik temperatura o'zgarishi bilan o'zgaradi, shu bilan birga o'z ishorasini musbat kattalikdan manfiy kattalikkacha o'zgarishi mumkin.

Erkin energiya kattaligi kimyoviy vosita deb ataluvchining o'lchovi hisoblanadi. Ya'ni moddalarning bir-biri bilan u yoki bu darajada jadval kimyoviy biriknaga kirishish qobiliyatidir. Reaktsiyada ΔF kattalikning nol qiymatida kimyoviy vosita ham nolga teng bo'lib qoladi va reaksiya to'xtaydi.

Kuzatilayotgan reaksiyaning yo'nalishi reaksiyada ishtirok etuvchi konsentratsiyalar va tashqi sharoitlar (temperatura, bosim) belgilanadi.

Reaktsiya tezligi tushunchasi mavjud bo'lib, ta'sirlanuvchi moddalarning konsentratsiyasini vaqt birligida o'lcham bilan o'lchanadi.

Reaksiya davomida moddalarning konsentratsiyasi uzluksiz o'zgaradi, shuning uchun reaksiya tezligi ham o'zgaradi.

Har bir berilgan paytdagi haqiqiy reaksiya tezligi konsentratsiyaning cheksiz kichik o'zgarishining cheksiz kichik vaqt oralig'iga nisbati kabi aniqlanishi mumkin:

$$v = \frac{dc}{dt}; \frac{\text{моль}}{\text{сек}} \quad (1)$$

Reaksiya tezligining uning ishtirokchilari konsentratsiyasiga bog'liqligi kimyoviy kinetikaning asosiy qonuni bilan ifodalanadi, u mossalar ta'siri deb ataladi. Bu qonunga ko'ra moddalar mazkur vaqtda kimyoviy almashishlarni boshidan kechirayotgan tezligi ularning konsentratsiyasiga proporsional.

Mossalar ta'siri qonuni gomogen sistemalar uchun matematik jihatdan ancha oddiy ifodalanadi.

Bir necha gazdan iborat gaz fazasini olaylik: A, B, C, D.

Bu gazlarning o'zaro ta'sirining kimyoviy tenglamasi $A+B = C+D$ (2) formula bilan ifodalanadi.

A va V gazlar massalarning ta'siri qonuni bo'yicha bir biri bilan birikishga kiradigan tezligi bu gazlar konsentratsiyaga proporsional:

$$v_1 = R_1 \cdot C_A \cdot C_B; \frac{\text{моль}}{\text{сек}}$$

bunda v_1 —reaksiya tezligi molG'sek hisobida,

C_A, C_B — mazkur paytdagi A va V gazlarning konsentratsiyasi,

R_1 — proporsionallik omili bo'lib, u gazlarning tabiatiga va 1/sek temperaturaga bog'liq.

S va D gazlarning aylanishi tezligi uchun xuddi shu tarzda $v_2 = R_2 \cdot C_C \cdot C_D$ mol/sek deb yozish mumkin.

Reaksiyalar tezliklari nisbatlarining uch holi bo'lishi mumkin:

1 — hol: $v_1 > v_2$ bu holda biz chapdan o'ngga qarab bo'ladigan reaksiyalarni kuzatamiz: $A+B \rightarrow C+D$

2 — hol: $v_1 < v_2$ Reaksiya o'ngdan chapga qarab boradi: $A+B \leftarrow C+D$

3 — hol: $v_1 = v_2$ bu holda biz reaksiyada ishtrok etuvchi barcha gazlarning konsentratsiyao'zgarishlarini kuzata olmaymiz, holbuki

aslida. reaksiyalarning bir xil tezligida ikki qarama-qarshi yoʻnalishlarida reaksiyalar yuz beradi.

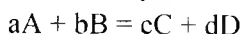
Bu hol harakatdagi muvozanat deb nomlanadi. Qarama-qarshi reaksiyalarning tezligini tenglashtiramiz:

$$v_1 = v_2$$

$$R_1 \cdot C_A \cdot C_B = R_2 \cdot C_C \cdot C_D$$

$$R_2 \cdot C_A \cdot C_B \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{C_C \cdot C_D}{C_A \cdot C_B} = K_c$$

K_s koeffitsientni konsentratsiyalar orqali ifodalangan muvozanat konstantasi deb ataymiz. Alohida gazlar bir necha molekula miqdorida ishtirok etuvchi reaksiyaning umumiy holi uchun:



$$K_c = \frac{C_C^c \cdot C_D^d}{C_A^a \cdot C_B^b}$$

Mazkur temperatura uchun muvozanat konstantasining kattaligini bilish reaksiyada ishtirok etuvchi gazlarning muvozanatli konsentratsiyalarini hisoblashga imkon beradi. Konsentratsiyalar orqali ifodalangan muvozanat konstansini partsial bosim bilan ifodalangan muvozanat konstantasi bilan almashtirish mumkin, bu esa gaz aralashmalarida reaksiyani oʻrganishda ayniqsa qulaydir.

Birinchi yaqinlashishda: $K_c \approx K_p$.

3.5. Reaksiya izotermasi tenglamasi

Agar reaksiya oʻzgarmas temperaturada yuz berayotgan boʻlsa, reaksiyada ishtirok etuvchi gazlarning partsial bosimlari orqali ifodalangan muvozanat konstantasi reaksiyaning maksimal ishi kattaligi bilan reaksiya izotermasi tenglamasi (Vant-Goff tenglamasi) deb nomlangan quyidagi tenglama bilan bogʻliq boʻladi:

$$A = RT (\ln K_p - \Delta \ln p_0)$$

bunda P_0 – gazlar reaksiyaga kirishadigan partsial bosim;

P – gazlarning muvozanatdagi partsial bosimlari

A – reaksiyaning $\frac{P_{max}}{P_{min}}$ hisobidagi maksimal ishi.

tenglama reaksiyaning maksimal ishi dastlabki moddalarning faqat temperaturasi emas, balki partial bosimlariga ham bog'liqligini ko'rsatadi.

$$\ln K_p = \frac{A}{RT}, \quad R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\log K_p = \frac{A}{19,15T} = -\frac{\Delta F}{19,15T}$$

$$\log K_p = -\frac{\Delta H_{298}^\circ}{19,15T} + \frac{\Delta S_{298}^\circ}{19,15} + \frac{\Delta C_p^\circ \cdot M_p}{19,15}$$

Qo'pol hisoblashlar uchun issiqlik sig'irlarining o'zgarishiga tuzatishlarni hisobga olmasa ham bo'ladi:

$$\log K_p = -\frac{\Delta H_{298}^\circ}{19,15T} + \frac{\Delta S_T^\circ}{19,15}$$

Dissotsiatsiya reaksiyalari uchun dissotsiatsiya darajasi tushunchasi mavjud bo'lib, u parchalangan molekulalarning dastlabki miqdoriga nisbatidir. Faraz qilaylik, vodorodning bir gramm molekulasi parchalanayotgan bo'lsin. Dissotsiatsiya darajasini hosil qilamiz;

atomar vodorodning grammolekulasi miqdori $n_H = 2\alpha$.

qolgan molekulyar vodorodning grammolekulasi miqdori

$$n_{H_2} = 1 - \alpha$$

Gaz aralashmasi grammolekulasining umumiy soni

$$n = n_H + n_{H_2} = 2\alpha + 1 - \alpha = 1 + \alpha$$

Atomlar vodorodning partial bosimi

$$P_H = \frac{2\alpha}{1+\alpha} \cdot P$$

bu yerda P – gaz aralashmasining umumiy bosimi.

Molekulyar vodorodning partial bosimi:

$$P_{H_2} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \cdot P$$

Olingan ifodani muvozanat konstantasi uchun formulaga qo'yib,

$$K_p = \frac{P_H^2}{P_{H_2}} = \frac{4\alpha^2(1+\alpha)P^2}{(1+\alpha)^2(1-\alpha)P} = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot P$$

konstantani hosil qilamiz, bu tenglamadan dissotsiatsiya darajasini aniqlaymiz:

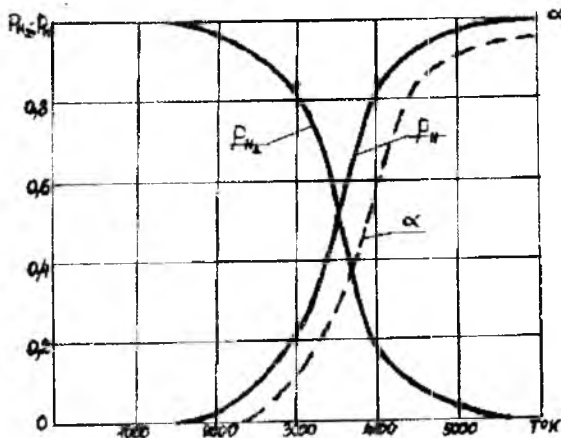
$$\alpha = \sqrt{\frac{K_p}{4p + K_p}}$$

Bu tenglamaning ko'rsatishicha, molekulyar vodorodning dissotsiatsiya darajasi faqat temperaturaga bog'liq bo'lmay, balki bosimga ham bog'liq bo'ladi. Olingan ma'lumotlar asosida muvozanat konstantasining molekulyar vodorod dissotsiatsiyasi reaksiyasi uchun temperaturaga bog'liqligida dissotsiatsiya darajasini aniqlaymiz, vodorodning atomarligi va molekulyarligining partsial bosimi va ularning nisbati. Hisoblashlarni jadval ko'rinishida amalga oshiramiz.

3.3-jadval

T°K	$\log K_p = \frac{A}{19,152}$	$\frac{K_p}{4p + K_p}$	α	2α	$1-\alpha$	$1+\alpha$	P_H atm	P_{H_2} atm
250 0	3,8 10^{-4}	0,95 10^{-4}	0,97 10^{-2}	1,94 10^{-2}	0,99	1,01	0,019 2	0,981
275 0	$4,16 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-3}$	0,0303	0,06	0,97	1,03	0,058	0,942
300 0	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$0,67 \cdot 10^{-2}$	0,082	0,164	0,92	1,08	0,152	0,848
350 0	0,562	0,116	0,34	0,68	0,66	1,34	0,51	0,49
400 0	5,16	0,562	0,75	1,50	0,25	1,75	0,86	0,14
500 0	63,0	0,494	0,97	1,94	0,03	1,97	0,985	0,015

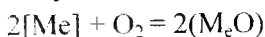
Bu hisob-kitoblarga ko'ra α ; P_H ; P_{H_2} ; ning temperaturaga bog'liq holda o'zgarishi grafiklarini ko'rib chiqamiz.



3.3-rasm. Dissotsiatsiya darajasi (α) atomar va molekulyar vodorodning partial bosimlarining (P_H va P_{H_2}) haroratga bog'liq grafigi.

3.5.1. Suyuq va gaz fazalari orasidagi fizik kimyoviy muvozanat to'g'risidagi ta'limot asoslari

Eritib payvandlashda fizik-kimyoviy jarayonlar odatda gaz va suyuqlik fazalari orasida ro'y beradi. Metall va gaz oksidlari metallida, boshqa materiallar oksidlarida bo'lishi mumkin. Bundan tashqari metallar va metall oksidlari gaz fazasida bo'g'lar ko'rinishida bo'lishi mumkin. Shuning uchun metall bo'lgan fazani ham belgilash qulaydir. – uni []. Agarda oksid yoki shlak fazani – () qovuslarda; gaz yoki par fazasini – qovuslar qo'yilmaydi.



reaksiya uchun muvozanat konstantasi bunday yoziladi:

$$K = \frac{(c^2 \cdot MeO)}{[c^2 \cdot Me] \cdot P_{O_2}}$$

yozilishi qulay bo'lishi uchun odatda konsentratsiya belgilari qo'yilmaydi, u holda formula

$$K = \frac{(MeO)^2}{[Me]^2 \cdot P_{O_2}}$$

ko'rinishda yoziladi.

Termodinamik hisob-kitoblar yordamida quyidagi qoidalar belgilangan:

1. Agar uch fazali sistemada sofmetall metallning sof oksidi – gaz. metall va metall oksidi alohida fazalar tarzida erkin holatda bo'lsa, ularning miqdori muvozanat konstantasining kattaligiga ta'sir ko'rsatmaydi. Bu holda

$$K_p = \frac{1}{P_{O_2}};$$

2. Agar uch fazali sistemada: metall-faza-metallning sof oksidi – gaz, metall boshqa metall eritmasida (qotishmasida) joylashgan bo'lsa, u holda uning eritmadagi konsentratsiyasini hisobga olish kerak

$$K_p = \frac{1}{[Me]^2 \cdot P_{O_2}};$$

3. Agar uch fazali sistemada: metall fazasi shlak fazasi – gaz. metall eritmada metall fazasida bo'lsa, eritmadagi metall oksidi shlak fazasida bo'lsa, u holda ularning tegishli eritmalaridagi konsentratsiyasini hisobga olish zarur.

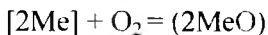
$$K = \frac{(MeO)^2}{[Me]^2 \cdot P_{O_2}};$$

3.6. METALLARNING GAZSIMON KISLOROD BILAN OKSIDLANISHI JARAYONLARI

3.6.1. Oksid dissotsiatsiyasi elastikligi (qayishqoqligi)

Ma'lum bir bosim ostida bo'lgan kislorodga sof metall tegib turgan eng oddiy holatni ko'rib chiqamiz.

Bu holda ajralish sirtida metallning metall oksidi hosil bo'lishi reaksiyasi yuz beradi



$$K = \frac{(MeO)^2}{[Me]^2 \cdot P_{O_2}};$$

Sof metall olingani uchun konsentratsiya birga teng bo'ladi va ifoda ko'rinishda bo'ladi.

$$K = \frac{(MeO)^2}{P_{O_2}};$$

Faraz qilaylik, metall oksidi metallda erimasin, u holda birinchi qoyidaga muvofiq biz uning konsentratsiyasini birga tenglashtiramiz. Unda bu

$$K_p = \frac{1}{P_{O_2}};$$

Formuladan P_{O_2} ni aniqlaymiz:

$$P_{O_2} = \frac{1}{K_p}$$

Bu formula quyidagi muhim xulosani chiqarishga imkon beradi.

Kislorodning partial bosimi muvozanat paytida muvozanat konstantining teskari kattaligiga teng doimiy kattalikdir.

Kislorodning partial bosimi muvozanat vaqtida **oksid dissotsiatsiyasi elastikligi** (qayishqoqligi) deb ataladi.

Agar metall ustida joylashgan gaz kislorod fazasidagi kislorodning partial bosimi shu metall oksidi dissotsiatsiyasi elastikligidan katta bo'lsa, u holda metall metall oksidini hosil qilib oksidlanadi.

Agar P_{O_2} shu metal oksidlanish dissotsiatsiyasi elastikligidan kichik bo'lsa, u holda metall oksidlanmaydi, balki metall oksidi sof metall va kislorod hosil qilib parchalanadi.

Oksid dissotsiatsiyasi elastikligi qanchalik katta bo'lsa, metall shunchalik qiyinroq oksidlanadi va o'zining oksidlanishdan shunchalik oson tiklanadi.

Metall oksidi dissotsiatsiyasi elastikligi kattaligini aniqlash uchun muvozanat konstantasining kattaligini aniqlash zarur.

$$\log K_p = -\frac{\Delta F}{19,15T}$$

Oksidlanish dissotsiatsiyasi elastikligi muvozanat konstantasiga teskari kattalik ekani hisobga olib, $\log P_{O_2} = \frac{\Delta F}{19,15T}$ ni hosil qilamiz.

3.6.2. Oksid dissotsiatsiyasi elastikligining temperaturaga bog'liqligi

Reaksiyaning erkin energiyasi kattaligini hisoblashni quyidagi formula bo'yicha amalga oshirish mumkun:

$$\Delta F_T^0 = \Delta H_{298}^0 - \Delta S_{298}^0 T - \Delta C_p^0 T \cdot M_0 ;$$

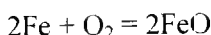
$$\log K_p = -\frac{\Delta F_T^0}{19,15T};$$

Oksid dissotsiatsiyasining elastikligi (qovushqoqligi) quyidagicha aniqlanadi:

$$\log P_{O_2} = -\frac{\Delta H_{298}^0}{19,15T} - \frac{\Delta S_{298}^0}{19,15} - \frac{\Delta C_p^0}{M_0 \cdot 19,15T}$$

Misol uchun temir oksidi dissotsiatsiyasi elastikligining temperaturaga bog'liqligini hisoblab chiqamiz.

Oksidlanish reaksiyasi quyidagicha:



“Termicheskie.....” dan asosiy termodinamik konstantalar olamiz

$$\Delta H_{298}^0 = 2(-263,7 \frac{KJ}{mol}) - 2 \cdot 0 - 0 = -527,4 \frac{KJ}{mol}$$

$$\Delta S_{298}^0 = 2(58,8 \frac{J}{mol \cdot grad}) - 2(27,2 \frac{J}{mol \cdot grad}) - 205 \frac{J}{mol \cdot grad} = 117,6 - 54,4 -$$

$$205 = -141,8 \frac{J}{mol \cdot grad}$$

$$\Delta C_p^0 = 2 \cdot (48,1 \frac{J}{mol \cdot grad}) - 2(25,1 \frac{J}{mol \cdot grad}) - 29,4 = 96,2 - 50,2 -$$

$$29,4 = 16,6 \frac{J}{mol \cdot grad}$$

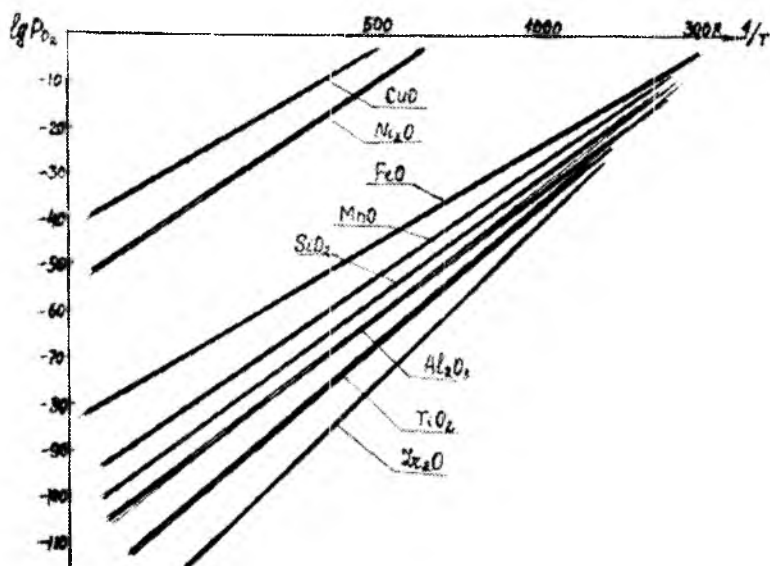
Bu ma'lumotlarni (1) formulaga qo'yib hosil qilamiz.

$$\log P_{O_2} = -\frac{27760}{T} + 7,46 - 3,86 \cdot M_0$$

$\log P_{O_2}$ ning temperaturaga bog'liqligi quyidagicha bo'ladi:

$T^{\circ}K$	$\frac{27760}{T}$	M_0	$\Delta C_p M_0$	$\log F_{O_2}$
298	93.2	0.0	0.0	-85,74
500	55,5	0,16	0,14	-48,9
1000	27,7	0.5	0.43	-21,16
1500	18,5	0,8	0.69	-12
2000	13,9	1,05	0,903	-8
2500	11,1	1.24	1,07	-5,2
3000	9,2	1.4	1.2	-3,5

Natijalari bo'yicha grafik chiqaramiz.



3.4-rasm. Temir oksidini elastikligini haroratga bog'liqlik grafigi.

Grafikning ko'rsatishicha, temperatura ko'tarilishi bilan oksidlar dissotsiatsiyasi qovushqoqligi ham oshar ekan. Oksidlar dissotsiatsiyachining elastikligiga qarab, mazkur moddaning kislorodga o'xshashligi (aktivligi) qanchalik kichik bo'lsa, mazkur moddaning kislorodga o'xshashligi (yaqinligi, aktivligi) shunchalik katta (yuqori) bo'ladi. Metallar aktivligi bo'yicha quyidagi tartibda taqsimlanadi.

Cu; Ni; Fe; Cr; Mn; Si; V; Al; Ti; Ca; K

3.7. GAZLARNING ERUVCHANLIGI

Suyuq metall quyidagi gazlar bilan aloqada bo'ladi:

O₂; O; N₂; N; H₂; H; CO₂; A_i; He va boshqalar

O₂; H₂ va N₂ uchun quyidagi erish kimyoviy formulasini yozish mumkin:

$$G_2 = 2[G]; \quad K = [G]^2 P_{G_2};$$

$$[G] = \sqrt{K_1} \sqrt{P_{G_2}}$$

Formula metallda erigan atomar gazning konsentratsiyasi ikki atomli gazning partsial bosimi kattaligidan olingan kvadrat ildizga proporsional ekanini ko'rsatadi.

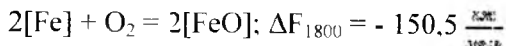
Atmosferada atomar holatdagi gaz mavjud bo'lgan holda erishning kimyoviy formulasi bunday yoziladi:

$$G = [G]; \quad K_p = \frac{[G]}{P_G}; \quad [G] = K_2 P_G$$

Ya'ni metallda erigan atomar gazning konsentratsiyasi uning atmosferadagi partsial bosimiga proporsionaldir.

3.7.1. Eritib payvandlashda metallning kislorod bilan o'zaro ta'sirlashuvi

Po'latni havo atmosferasida payvandlash jarayonida avvalo temirning oksidlanishi yuz beradi.



T_{er} da temirda O_2 ning eruvchanligi 0,16%ni tashkil etadi. Biroq payvandlashda chok metallning T_{er} dan yuqoriroq qizib ketishi munosabati bilan sezilarli katta miqdordagi $[\text{O}]$ bo'lishi kuzatiladi. bunda O_2 ning suyuq temirdagi eruvchanligi

$$\log[\% \text{O}_2] = \frac{-6320}{T} + 2,734 \quad (1) \quad \text{formula bilan aniqlanadi.}$$

Turli mualliflarning eksperimental ma'lumotlari po'latdagi O_2 ning miqdori 0,14 – 0,72% ni ko'rsatadib bu esa chok metallining oksidli kirishmalar bilan ifloslanishi bilan izoxlanadi.

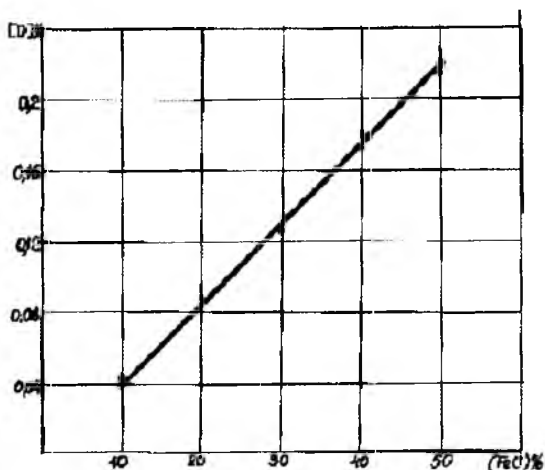
Reaksiya rivojlanadi:

$$[\text{FeO}] \rightleftharpoons (\text{FeO}) \quad (2) \quad L_{\text{FeO}} = \frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} \quad (3)$$

$$\log \frac{[\text{FeO}]}{(\text{FeO})} = \frac{-6320}{T} + 1,386 \quad (4)$$

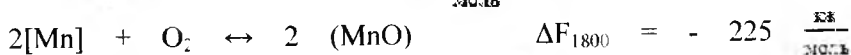
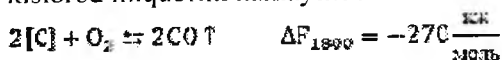
L – taqsimlash konstantasi FeO ning shlakdan metalga o'tishi.

Temir temperaturasining T_{er} dan 2500 °C gacha o'zgarishida L_{FeO} 0,011 dan 0,125 gacha ortadi, bu esa alohida oksidli fazani tashkil etuvchi va kislorodning umumiy miqdorini erish darajasidan yuqori oshiruvchi temirda FeO ning yetarlicha yuqori eruvchanligi to'g'risida dalolat beradi. Grafikda (3.5-rasm) kislorodning shlak va metall orasida taqsimlanishi to'g'risida A.A. Eroxinning eksperimental ma'lumotlari keltirilgan.

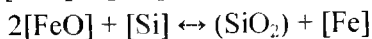
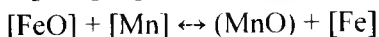
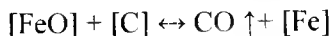


3.5-rasm. Kislorodni erigan metall va sh ak orasidagi taqsimlanishi.

Chok tarkibida legirlovchi elementlarning va kirishmalarning mavjudligi, kirilmalarning bevosita oksidlanishi munosabati bilan kislorod miqdorini kamaytiradi:



Yoki temir tiklanishi:



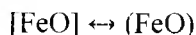
Payvandlashning turli xil usullarida chok metallidagi kislorod miqdori shlakli va gazli faza tarkibi va oksidlanish sharoitlari bilan belgilanadi.

Payvandlashning turli xil usullarida kislorodning miqdori to'g'risida o'rtacha ma'lumotlarni keltiramiz.

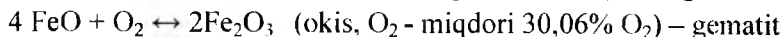
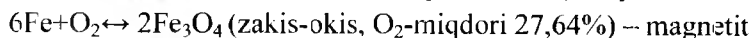
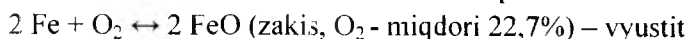
Chokning kamuglerodli po'lati va metallida kislorodning umumiy miqdori.

Material	Kislorodning miqdori, %	yig'indi
Tinch po'lat MCT3	0,003 ÷ 0,008	
Qaynayotgan po'lat MCT3	0,01 – 0,02	
Payvandlash simi CB-08	0,01 – 0,02	
Chok metalli.		
Gaz bilan payvandlash	0,05	
YOH1 13/45 elektrodleri bilan payvandlash	0,02 – 0,03	
OCU-45 flyusi ostida avtomatik payvandlash	0,03 – 0,05	
IM- elektrodida payvandlash	0,08 – 0,09	
Ohak qoplamali elektrod payvandlash	0,21	
Yolg'iz elektrodda payvandlash	0,25 ÷ 0,28	

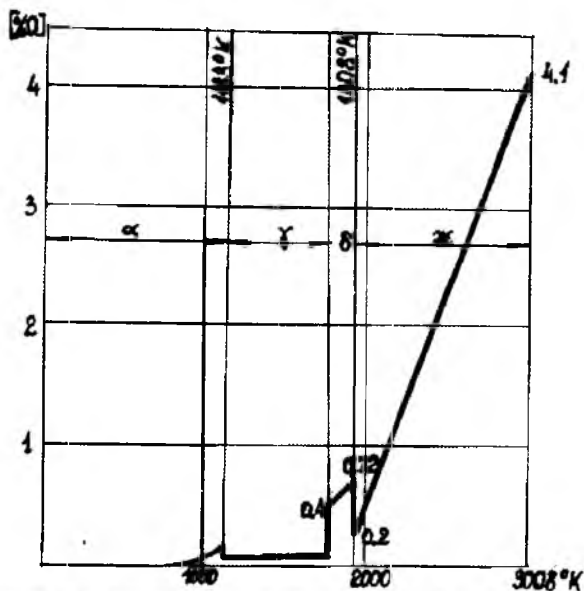
Shunday qilib havo atmosferada himoya qilib bo'lmaganda yoki shlakda FeO miqdori katta bo'lganda payvandlashda, masalan, TCM-7 elektrodleri bilan payvandlashda (2) reaksiyaning chapga rivojlanishi hisobigi



Temir kislorod bilan uchta oksidni hosil qiladi:



Bu uchta oksiddan faqat FeO oksidi temirda eriydi, va shuning uchun uning xossalariga eng kuchli ta'sir ko'rsatadi. Qolgan oksidlar temirda erimaydi, ularda faqat ayrim kirishmalar ko'rinishida ishtirok etishlari mumkin, va yuqori temperaturada oson yemiriladi (parchalaniladi).



3.6-rasm. Kislorodni temirdagi eruvchanligini haroratga bog'liqligi.

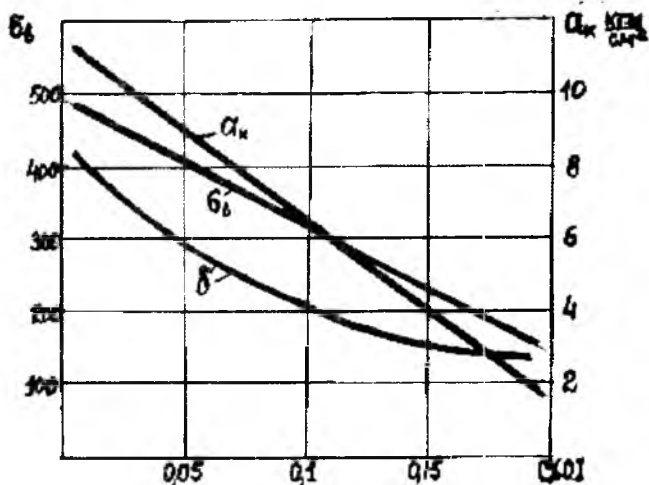
$$\log [\%O] = -\frac{-6320}{T} + 2,734 \text{ (Chipmen formulasi)}$$

$$\log [\%O]_{\alpha} = -\frac{-1450}{T} + 1,452 \text{ (akad. A.M. Samarin formulasi)}$$

Kislorodning γ temirda eruvchanligi juda kam, temperaturaga bog'liq emas va taxminan $[\%O] = 0,002\%$ ni tashkil etadi.

Kislorodning qattiq temirda eruvchanligi temperaturaning pasayishi bilan kamayadi, bu esa tuyingan eritmadan Fe_{α} ortiqcha oksidli fazaning ajralib chiqishicha va metallning oksidli kirishmalar bilan ifloslanishiga olib keladi.

Metallni yuqori tezlikda sovutishda xona temperaturasida Fe_{α} da to'yingan kislorod qayd etiladi, bu payvand birikmalari metallarining eskirishini vujudga keltiradi.



3.7-rasm. Kislorodni kam uglerodli po'latlarni mexanik xossalariga ta'siri.

Payvand chok metallida kislorod yoki oksidlarning eruvchanligining mavjudligi (erigan yoki alohida kiritmalar.....) payvand birikmaning mexanik xossalarini sezilarli darajada pasaytiradi, ayniqsa elastik ko'rsatkichlarini (.....zarba va nisbiy uzayish) pasaytiradi. Bundan tashqari po'latda O₂ mavjud bo'lishi korrozion mustahkamlikni namoyon qiladi va miqdori ko'p bo'lganda mo'rt qilib qo'yadi.

3.8. METALLNING VODOROD BILAN O'ZARO TA'SIRLASHUVI

Vodorod temir (shuningdek Ni, Al, Cu, va boshqalar) bilan kimyoviy birikmalar hosil qilmaydi va erimada atomar holatda bo'ladi.

Zr, Ti, V, Ta bilan esa kimyoviy birikmalar gidridlar hosil qiladi.

Erish mexanizmi uch bosqichda o'tadi:

1. Gazning metallga tegishida gaz molekulalari va metall sirtidagi atomlar o'rtasida tortishish kuchlari vujudga keladi va gaz

molekulalari tortilib, metall sirtida monomolekulyar plyonka tarzida joylashadilar. Bu hodisa **adsorbsiya** deb ataladi. Adsorbsiyada ma'lum miqdordagi issiqlikning ajralishi bilan gaz entalpiyasining o'zgarishi yuz beradi.

2. Metall sirtidagi gaz molekulalari atomlarga dissotsiatsiyalanadi. Dissotsiatsiya shuningdek ma'lum miqdordagi issiqlik yutilib gaz entalpiyasining o'zgarishi yuz beradi.

3. Metall sirtidagi gaz atomlari eritmada (metallda) gaz konsentratsiyasini oshirib, metall ichkarisiga diffuziyanadi. Gaz atomining metall ichiga o'tishida ham gaz entalpiyasining o'zgarishi yuz beradi. Metallda erishining to'liq jarayoni gaz **absorbsiyasi** deb ataladi. **Absorbsiya** xodisasi doimo gazning o'zgarishlari bilan bir kechadi.

Payvandlashning har qanday usulida erigan metall namlik va qoplamalarni organik birikmalari, himoyalovchi gaz, flyus, atrofdagi havo va boshqalarning hisob vodorod bilan to'yingadi. Vodorodning suyuq temirda eruvchanligi Siverts qonuniga bo'ysinadi:

$$\log(\%H) = -\frac{1720}{T} - 2,252 \quad (1)$$

Po'latda vodorodning eruvchanligining nixoyatda kichik foiz miqdorini hisobga olib, eruvchanlikni ko'pincha 100g metallda eritilgan vodorodni millimetrdan baholanadi. U holda:

$$\log V = 0,5 \log P_{H_2} - \frac{1745}{T} + 0,888 \quad (2)$$

Vodorodning po'latda eruvchanligi kristallanishda to'rt marta kamayadi, bu esa diffuzion vodorodning hosil bo'lishiga olib keladi, u 48-72 soat mobaynida doimiy kristall panjaradan kichik atom o'lchoviga ega bo'lib, payvandlanayotgan metalldan uzoqlanadi.

Bunda qolgan vodorodni qoldiq vodorod deb atash qabul qilingan bo'lib, uning miqdori odatda 1-1,5 ml/g 100g ni tashkil etadi.

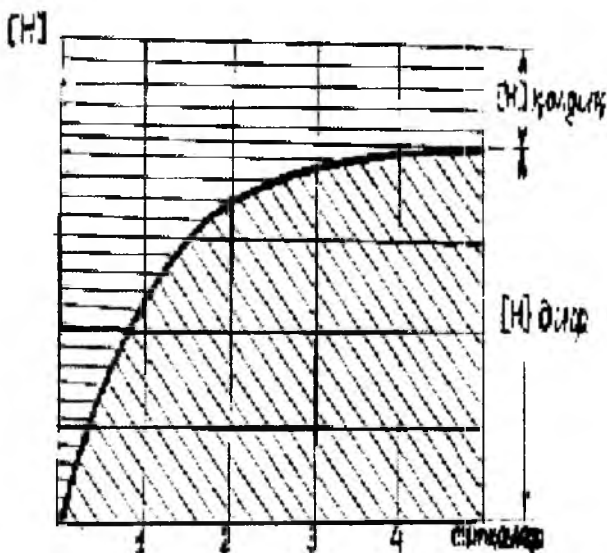
Payvandlashning turli xil usullarida diffuzion vodorod miqdori odatda quyidagini tashkil etadi.

Elektrod bilan dastaki yoy bilan payvandlashda:

organik qoplamalar bilan..... 15,00 $\frac{\text{mg}}{100\text{g}}$

ushaning o'zi organik birikmalarsiz.....	2,15	$\frac{\text{kg}}{100\text{rp}}$
ushaning o'zi qoplama namligi bilan (~4%)	6,7	$\frac{\text{kg}}{100\text{rp}}$
CO_2 da payvandlashda.....	0,04	$\frac{\text{kg}}{100\text{rp}}$
flyus ostida avtomatik payvandlashda	4,40	$\frac{\text{kg}}{100\text{rp}}$
Gaz bilan payvandlashda.....	5,00	$\frac{\text{kg}}{100\text{rp}}$

Vodorodning diffuziyasi po'latning tuzilishiga bog'liq holda 48-72 soat mobaynida kechadi. Toblash holida esa chokoldi hududida vodorodni vaqtincha to'plash amalga oshiriladi. Vodorod payvandlashda g'ovaklarning paydo bo'lishi sababi va ko'pgina hollarda sovuq yoriqlarning (darzlarning) paydo bo'lishiga sababchi bo'ladi. Umumiy ko'rinishda bir sutkada payvand chokidan barcha erigan vodorodning 60 - 70%, besh sutkada esa 80 - 85% uzoqlashtiriladi. Payvand chokinin noaniqliklarida to'planadigan qoldiq vodorod barcha erigan vodorodning 15 - 20% ni tashkil etadi.



3.8-rasm. Molekulyar vodorodni diffuziyasini vaqtga bog'liqligi.

Vodorodning diffuzion harakatchanligi payvand birikmaning tuzilmasi bilan aniqlanadi. Austenit tuzilma eng yuqori Harakatchanlikka va eruvchanlikka ega bo'ladi. Eng qiyin singuvchi tuzilma toblash tuzilmasi hisoblanadi.

Chok metallida vodorodning vaqtincha to'planishi payvand birikmaning mo'rtligini oshiradi. Vodorodning kristall panjara orqali diffuziyasi ikkinchi tur kuchlanishlarining vujudga kelishiga olib keladi, bu esa toblangan po'latlar uchun sovuq yoriqlarni (darzlarni) paydo bo'lishini yuzaga keltiradi.

Endi (2) tenglama bo'yicha 1535 °C (1808 °K) temperaturalar oralig'i uchun temir bilan eritilgan absorbttsiyalangan vodorod miqdorini hisoblab topamiz, bir atmosferaga teng bosimda eritma ustidagi molekulyar vodorodning, qaynash temperaturasi (3008 °K).

A.M. Morozov formulasi.

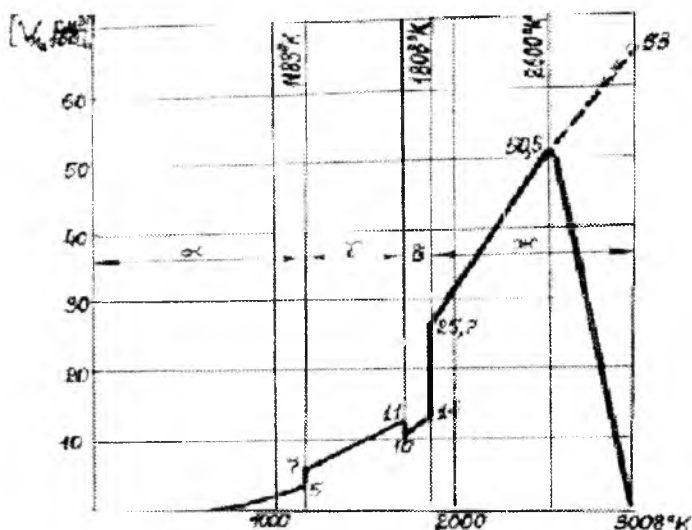
$$\log V = \log \left[V_{H_2} \frac{\text{cm}^3}{100\text{rp}} \right] = \frac{1}{2} \log P_{H_2} - \frac{1750}{T} + 2,38 \quad (2)$$

3.6-jadval

T°K	T°C	$\frac{1750}{T}$	$\log[V_{H_2}]$	$[V_{H_2}] \frac{\text{cm}^3}{100\text{rp}}$
1808	1535	0,97	1,41	25,5
2000	1727	0,875	1,505	32,0
2200	1927	0,795	1,585	38,5
2600	2327	0,675	1,705	50,5
3008	2735	0,580	1,8	63,0

Eritilgan temirda eritma vodorodning miqdori grafigi temirning erish yaqin temperaturalariga uchungina to'g'ridir. Yanada yuqoriroq temperaturada temirning jadal bug'lanishlari yuz beradi, yani temir bug'larining partsial bosimi orta boradi vodorodning partsial bosimi kamayadi.

Temirning qaynash temperaturasida (3008°K) temirning bug'lari bosimi bir atmosferaga teng bo'lib qoladi mos ravishda vodorodning partial bosimi nolgacha kamayadi. Bu paytda temirda erigan barcha vodorod chiqib ketadi.

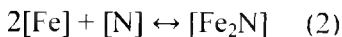
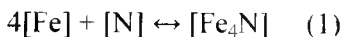


3.9-rasm. Eritilgan temirdagi muvozanat holatdagi vodorod miqdorining haroratga bog'liqligi.

Kristallanish paytida (1535°C) vodorodning jadal ajralib chiqishi odatda ajralib chiqayotgan gaz pufakchalarining metall kristallari tomonidan olib ketilishi bilan birga ketadi. bu esa metall massasida bo'shliqlarning hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

3.9. METALLNING AZOT BILAN O'ZARO TA'SIRLASHUVI

Azot chok metallida havodan o'tib eriydi. Havo azotning asosiy manbai hisoblanadi. Bunda miqdoriga bog'liq holda azot temir bilan ikkita nitridni hosil qilishi mumkin:



Payvandlashda azotning tag'chilligini hisobga olib temir nitridlarining hosil qilinishi asosan (1) reaksiya bo'yicha Fe_4N ni hosil qilish bilan kechadi.

Azot molekulası mustahkam birikma hisoblanadi va molekulyar azotning dissotsiatsiyasi juda past bo'ladi.

Shuning uchun atomar azotning partsiyal bosimi juda past bo'ladi va mos ravishda temirda azotning eruvchanligi juda kichik bo'ladi.

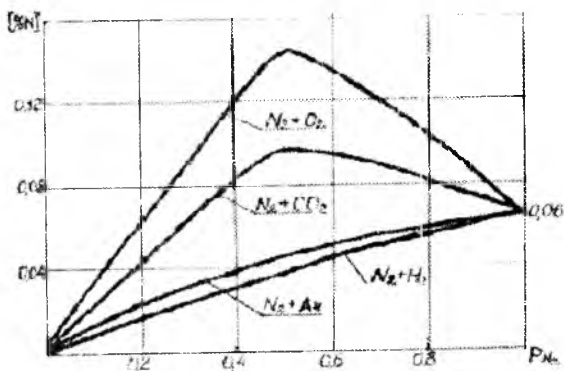
Chok metallini himoya qilishga bog'liq holda azot miqdori har xil bo'lishi mumkin (jadvalga qarang).

3.7-jadval

Payvanlash usuli	[%N] miqdori
Payvandlash simi	0.002 ÷ 0.003
Flyus ostida avtomatik payvandlash	0.002 ÷ 0.003
Gazli payvandlash	0.015 ÷ 0.02
Qo'lda yoyli payvandlash	0.02 ÷ 0.05
Qoplanmagan (ochiq) sim bilan payvandlash	0.105 ÷ 0.218

Azotning Fe da maksimal eruvchanligi 0,06% dan oshmaydi. Azotning po'latdagi eruvchanligi mustahkam nitridlarni hosil qiluvchi elementlar ko'paytiradi: Mn; Cr; Nb; V; Ti; Al; Ta. Quyidagi elementlar esa eruvchanlikni kamaytiradi. Ni; Co; Si; C.

Kislorod chokdagi azot miqdorini ayniqsa kuchli orttiradi (V.V. Podgaetskiy) ni ma'lumotlari.

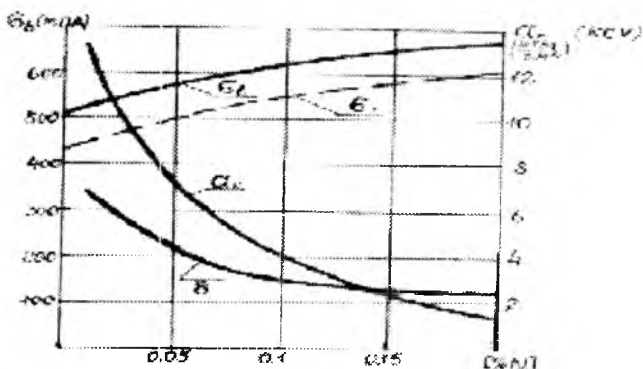


3.10-rasm. Azotni po'latdagi eruvchanligiga ta'siri

Azot eruvchanligining bunday tavsifi gaz fazasida azot oksidining hosil bo'lishini izoxlaydi, uni dissotsiatsiya qilishida ortiqcha energiyaga ega azot atomlari hosil bo'ladi. Mustahkamlik bir oz oshganda azotning mavjud bo'lishi payvand chokining plastikligini kamaytiradi va payvand mo'rtlashishiga olib keladi. Agar qoplamali elektrod bilan payvandlashda mo'rt buzilishiga o'tish temperaturasi (T_m) = - 40 °C bo'lsa, u holda yolg'iz (yalang'och) sim bilan payvandlashda T_m = + 100 °C.

Azot misda erimaydi va misni payvandlashda himoyalovchi gaz bo'lib hisoblanishi mumkin.

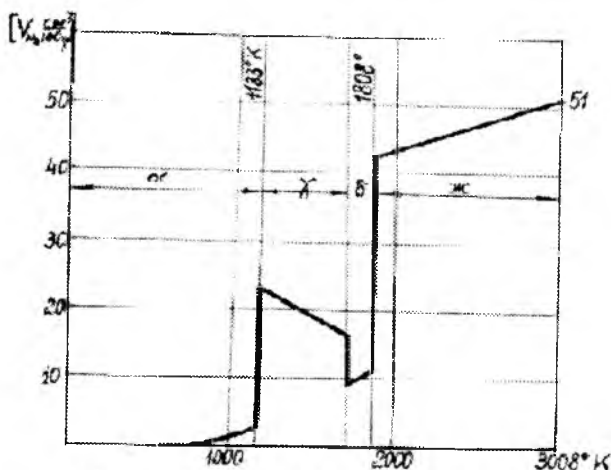
Payvand choklariga ta'sir qilishda azot kuchli austenizator bo'lib, faqat zanglamaydigan po'latlarni payvandlashda ta'sir ko'rsatadi.



3.11-rasm. Azotni kam uglerodli po'latlarni mexanik xossalariga ta'siri.

Azotning temirda eruvchanligi A.N. Morozovning tadqiqotlari ma'lumotlariga ko'ra quyidagi empirik formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$\log \left[V_{N_2} \frac{\text{cm}^3}{100\text{rp}} \right] = \frac{1}{2} \log P_{N_2} - \frac{203}{T} + 1,752$$



3.12-rasm. Azotni temirdagi eruvchanligi grafigi.

Azotning temirda eruvchanligining temperaturaga bog'liq grafigi. azot bosimi bir atmosfera bo'lganda xuddi vodoroddagi kabi o'ziga xos nuqtalarda eruvchanlikning katta miqdorda kamayishi kuzatiladi.

4.1. Elektr yoyining elektrod va payvandlash metallariga ta'siri

Elektr yoyi-gazlarda elektr razryadining turlaridan biri bo'lib, u boshqa turdagi razryadlardan gazning yuqori temperaturasi ($4000-15000^{\circ}\text{C}$), yuqori tok kuchi razryadiga va razryadda nisbatan kichik elektr maydon bilan farq qiladi.

Yuqori tok kuchlari ($1.0-2000\text{A}$), yoyda kuchlanish odatdagi tushishi ($10-60\text{V}$) razryad egallagan nisbatan kichik hajmlarda katta miqdordagi issiqlik energiyasining ajralishi imkonini ta'minlaydi.

Bu esa razryad ta'siri hududida payvandlanayotgan metallni yoy energiyasidan yuqori koeffitsient bilan foydalanib jadal eritishga imkon beradi, bu esa elektr yoyidan metallarni payvandlash uchun afzallik bilan foydalanishni ta'minlaydi.

Yoy fazasida gazlar o'rtasidagi hamda gazlar va metallar o'rtasidagi kimyoviy o'zaro ta'sir; yoki bu kimyoviy reaksiyalarning jadalligi asosan reaksiya hududining temperaturasi bilan belgilanadi.

Elektr yoyi hududida gazlarning yuqori temperaturalarini endotermik reaksiyalarning ustuvor kiyechishini ta'minlaydi. Bunda biz H, O va N kabi atomlar gazlarning yoki NO.OH kabi birikmalarni kuzatamiz.

Elektr yoyi hududidagi yuqori temperaturalar yuz berayotgan reaksiyalarning tezligini ancha ortiradi. Elektr yoyida yangi aktiv gazlarning vujudga kelishi gaz fazasining metall bilan o'zaro ta'sirlashuv jarayonini tubdan o'zgartiradi, bu esa payvand choklarining va mos ravishda uning fizika-kimyoviy xossalari katta o'zgarishlariga olib keladi.

Elektr yoyining asosiy elektr xususiyatlari razryad tokining katta zichlikda bo'lishi va razryad elektr maydonining nisbatan kichikligi hisoblanadi.

Razryadning zaruriy sharti gazda elektrning (tokning) razryad oraliq'i orqali ko'chirilishi amalga oshiriladigan elementar elektr zaryadlangan zarrachalar (ionlar, elektronlar) ning albatta mavjud bo'lishi hisoblanadi.

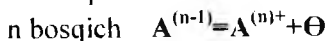
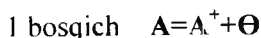
Ifodalangan zarrachalarning mavjudligi razryad oralig'ida gazlarning ionlanishi bilan ta'minlanadi.

4.2. Gazlar va bug'larning ionlanishi

Gaz atomi yoki molekulasining ionlanishi deb tashqi elektronning atomdan yoki molekuladan uzilish va uning hosil bo'lgan ionning kuch maydoni chegarasidan tashqariga chiqadigan masofaga uzoqlashishi jarayoniga aytiladi. Bu jarayonni kimyoviy belgilar yordamida atom yoki molekulaning ion (musbat zaryadli) va elektronga dissotsiyanishi jarayoni sifatida tasvirlash mumkin:



Bir necha elektronga ega atomlar yoki molekularlar bosqichli ionizatsiyani bo'lishdan kechirishi mumkin bo'lib, u elektronlarning atomdan yoki molekuladan ion zaryadining uzilib chiqqan elektronlar soniga karrali ortishi bilan ketma-ket uzilib chiqishi jarayonini ifodalaydi:



Ionlashtirish ishi

Elektronni atomdan yoki molekuladan ajratish uchun ma'lum miqdordagi energiyani sarflash zarur, bu energiya elektronni uzish va uni ionning kuch maydoni ta'siri sohasidan chiqarishga sarflanadi.

Energiyaning bunday sarfi ionizatsiya ishi deb ataladi. Atomdagi elektronning bog'lanish mustahkamligiga bog'liq holda u yoki bu miqdordagi energiyani sarflash kerak, shuning uchun turli xil moddalar uchun ionlashtirish (ionizatsiya) ishi turli xil bo'ladi.

Atom fizikasida ionizatsiya ishini elektron-volt bilan o'lchash qulaydir.

Bir elektron-volt bitta elektronning bir voltga teng potensial lar ayirmasidan o'tishidagi kinetik energiyani ortishini ifodalaydi.

$$1 \text{ e.v} = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ erg; } j \text{ ga aylantirganda:}$$

$$1 \text{ e.v} = 96,81 \text{ kJ/mol.}$$

Ionlashtirish energiyasini e.v bilan emas balki potensial lar ayirmasi bilan mazkur modda atomi yoki molekulasini ionlashtirish uchun zarur energiyani to'plash uchun elektronning o'tishi kerak bo'lgan potensial lar ayirmasi bilan o'lchash mumkin. Bu kattalikni ionlashtirish potensial i deb ataladi. U son jihatidan e.v da ifodalangan ionlashtirish ishiga teng. Misol tariqasida temir uchun ionlashtirish (u_i) va entalpiya ΔH_i potensial larini keltiramiz.

4.1-jadval

Ionlashtirish bosqichi	I	II
$U_i(v)$	7.83	24.3
$\Delta H_i \left(\frac{kJ}{mole} \right)$	758.1	1596

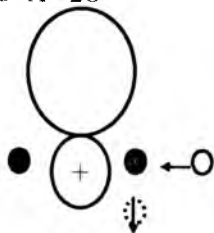
Jadvaldan ko'rinadiki har bir keyingi elektronning uzilishi yanada katta miqdordagi energiyalarning sarflanishini talab etadi. Shuning uchun yoy razryadida odatda birinchi darajadagi ionlashtirish kuzatiladi.

Ionlashtirish turlari

Gaz ionizatsiyasini turli xil yo'llar bilan amalga oshirish mumkin, shuning uchun ionlashtirishning bir necha turi farq qilinadi, ulardan asosiylari: **zarb bilan ionlash; foto ionlash; termik ionlash.**

Zarb bilan ionlashda bir zarrachaning kinetik energiyasi boshqasi bilan urilganda ikkinchi zarrachadan elektronni ajratishga sarflanadi. Elektronning atom yoki molekula bilan urilishida ionlanishning ehtimoli ko'proqdir, chunki elektron o'zining kichik massasi tufayli eng harakatchan elementar zarracha hisoblanadi.

Bunday jarayonni quyidagicha sxema bilan tasvirlash mumkin:



$\ominus$ - ion
 $\bigcirc$ - elektron

Kinetik energiyaga ega bo'lgan elektron neytral atom yoki molekula bilan to'qnashib to'plangan kinetik energiyasini elementar zarrachani ionlashtirishga sarflab, ionlashtirish ishiga teng yoki katta bo'ladi.

Foto ionlashda zarur ionlashtirish energiyasi nur energiyasi (kvantlarining) fotonlar energiyasini berish yo'li bilan hosil bo'ladi. Ionlanish imkoniyati uchun nur energiyasi kvanti ionlanish ishiga teng yoki katta bo'lishi kerak:

$$h\nu \geq Q_i;$$

bu yerda Q_i –ionlash ishi;

h – Plank doimiysi bo'lib, $6,623 \cdot 10^{-27}$ erg/cek ga teng.

ν – Yorug'lik To'lqin chastotasi 1/sek

Gazni yuqori temperaturalargacha isitganda termik ionlashtirish murakkab jarayon bo'lib, unda yuqorida tavsiflangan ionlashtirish turlarining ikkalasi ishtirok etadi. Temperatura orttirilganda termik ionlashtirishning asosiy sababi gaz elementar zarralari kinetik energiyasining ortishi hisoblanib, u ayrim zarrachalar uchun ionlashtirish ishiga teng kattalikkacha etadi.

4.3. Termik ionlanish darajasi

Termik ionlanish jarayoni gomogen gaz fazasidagi kimyoviy jarayon sifatida ko'rib chiqilgan. Bunday jarayonni hisoblashni hind astrofizigi Meg-Nad-Shax taklif etgan. uning 1921 yilda taklif etgan gazlar va bug'larni ionlash darajasini hisoblash formulasi quyidagicha (adabiyotda odatda Saga formulasi deb ataladi):

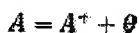
$$\frac{x^2}{1-x^2} \cdot P = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot T^{\frac{5}{2}} \cdot e^{\frac{eU_i}{kT}}$$

P – bosim, mm sim ust.

U_i – potensial ionlanishi (V).

Formula qanday olingan:

Ionlanish jarayonini quyidagi kimyoviy simvol (ifoda) bilan ifodalash mumkin:



bu reaksiyaning muvozanat konstantasi

$$K_p = \frac{P_{A^+} \cdot P_{e^-}}{P_A}$$

Ionlanish darajasi deb ionlanuvchi atomlar yoki molekulalar sonining ularning dastlabki soniga nisbatini aytiladi. Odatda ionlanish darajasi "X" orqali belgilanadi.

Bir mol gaz uchun:

Ionlashgan gaz mollari miqdori:

$$n_i = x$$

Hosil bo'lgan erkin elektronlar mollari miqdori:

$$n_{e^-} = x$$

qolgan gaz mollari miqdori:

$$n_A = 1 - x$$

Umumiy mollar soni:

$$\sum n = x + x + 1 - x = 1 + x$$

Partsiyal bosim:

$$P_{A^+} = P_{e^-} = \frac{x}{1+x} \cdot P;$$

$$P_A = \frac{1-x}{1+x} \cdot P;$$

Ionlanish darajasi orqali ifodalangan muvozanat konstantasi (doimiysi):

$$K_p = \frac{x^2 \cdot (1+x)}{(1+x)^2 \cdot (1-x)} \cdot P = \frac{x^2}{1-x^2} \cdot P$$

Bunda P – gaz aralashmasining umumiy bosimi.

Gaz bosimi kattaliklarini va doimiylarni bilgan holda gazning ionlanish darajasini aniqlash mumkin.

Muvozanat doimiysini aniqlash uchun gaz aralashmasining entalpiya farqini va entropiya farqini topamiz:

$$\Delta H = Q_1$$

$$\Delta S = \Delta S_{A^+} + \Delta S_{e^-} - \Delta S_A$$

Atom va ionning entropiyalari taxminan bir xil deb qabul qilib,

$\Delta S = \Delta S_{\theta}$ ni topamiz

Bir atomli gazning (bizning holda-elektron gazning) issiqlik sig'imi $5/2 R$

$$\lg K_p = \frac{-\Delta F}{19.15T} \quad (1)$$

$$\Delta F_T = \Delta H_{298}^0 - \Delta S_{298}^0 \cdot T + \int_{298}^T \Delta C_p dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p}{T} dT \quad \frac{\text{KJ}}{\text{MOL}}$$

ga teng ekanini hisobga olib muvozanat doimiysining logarifmini aniqlaymiz.

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_i}{RT} - \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{RT} \int_{298}^T dT + \frac{5}{2} \cdot \frac{RT}{RT} \int_{298}^T \frac{dT}{T}$$

Integrallarni aniqlab va hosil bo'lgan barcha doimiylarni bittaga birlashtirib, Saga formulasini hosil qilamiz:

$$\frac{x^2}{1-x^2} \cdot P = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot T^{\frac{5}{2}} \cdot e^{\frac{eU_i}{KT}}$$

eU_i – ionlanish ishi, erg hisobida,

K – Bolsman doimiysi bo'lib

$$1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{K}}{\text{KTCM} \cdot \text{град}} \quad \text{ga teng}$$

Standart kattaliklar yordamida odatdagi taqribiy hisoblash usuli bilan yetarlicha aniqlik darajasida quyidagini aniqlash mumkin:

$$\lg \left(\frac{x^2}{1-x^2} P \right) = \lg K_p = -\frac{\Delta H_i}{19.15T} + \frac{S_{\theta}}{19.15} + \frac{5/2 R}{19.15} Mo \quad (2)$$

$$S_{0246}^0 = 20.7 \frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град.}}$$

$$c_{0208}^0 = 20,83 \frac{\text{ж}}{\text{моль} \cdot \text{град.}} \quad \text{deb qabul qilib.}$$

$$\lg \left(\frac{x^2}{1-x^2} P \right) = -\frac{\Delta H_f}{19,15T} + 1,082M_0 + 1,08$$

ni hosil qilamiz.

Ayrim gazlar va bug'lar uchun ionlanish potensial lari va ionlanish entalpiyasi:

4.2-jadval

Modda	U_i (v)	ΔH_f $\frac{\text{жж}}{\text{моль}}$	modda	U_i (v)	ΔH_f $\frac{\text{жж}}{\text{моль}}$	mod- da	U_i (v)	ΔH_f $\frac{\text{жж}}{\text{моль}}$
He	24,5	2371	Si	8,15	785	Ca	6,1	588
Ar	15,7	1520	Fe	7,83	758,1	Ba	5,19	499
O	13,6	1310	Mn	7,7	739	Na	5,14	495
O ₂	12,5	630	Ni	7,6	735	K	4,32	420
N ₂	15,8	1512	Ti	6,85	655	Cs	3,9	378
H ₂	15,4	1495	Al	6,96	575			

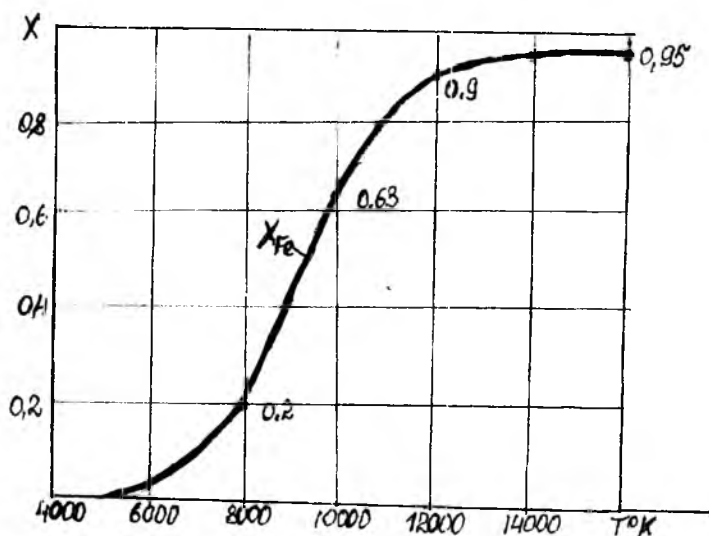
Jadvaldan ko'rinishicha, eng kam ionlanish potensial iga ishqorli metallar (K, Na, Cs), biroz yuqoriroq ionlanish potensial iga esa ishqorli-erli metallar (Ba, Ca), yana yuqorirog'iga esa boshqa metallar va eng katta ionlanish potensial iga ega gazlar ega bo'ladi.

Misol uchun temir bug'larining ionlanish darajasini turli temperaturalarda hisoblaymiz. Hisoblashni jadval shaklida amalga oshiramiz.

$$\lg K_p = -\frac{758100}{19,15T} + 1,082M_0 + 1,08$$

4.3-jadval

$T^{\circ}\text{K}$	$\frac{40000}{T}$	M_0	$1.082M_0$	$\lg R_p$	X
1000	40,0	0,508	0,552	-38,37	$6,6 \cdot 10^{-27}$
2000	20,0	1,05	1,14	-17,78	$1,29 \cdot 10^{-9}$
3000	13,3	1,41	1,53	-10,68	$4,56 \cdot 10^{-6}$
4000	10,0	1,69	1,84	-7,08	$2,9 \cdot 10^{-4}$
5000	8,0	1,88	2,05	-4,85	$3,63 \cdot 10^{-3}$
6000	6,65	2,05	2,23	-3,34	$2,13 \cdot 10^{-2}$
7000	5,7	2,19	2,38	-2,24	0,075
8000	5,0	2,34	2,55	-1,37	0,202
9000	4,44	2,43	2,64	-0,72	0,4
10000	4,0	2,53	2,75	-0,17	0,63



4.1-rasm Temir bug'larini disotsiatsiya darajasini haroratga bog'liqligi

Gaz aralashmalari ionlanishi

Agar gazlar aralashmasi mavjud bo'lsa, u holda aralashmadagi har bir gazning ionlanishi bitta gazga nisbatan boshqacha kechadi. Buning sababi shundaki ionlanish mahsuli elektron gaz aralashmadagi barcha ionlanuvchi gazlar uchun umumiy bo'ladi.

Aniq bir misol olaylik, faraz qilaylik, gaz temir va kaliy bug'lari aralashmasidan iborat bo'lsin. Gaz aralashmasidagi molyar ulushlar va ionlanish darajalari quyidagicha bo'lsin:

Temir bug'lari – A: X_{Fe}

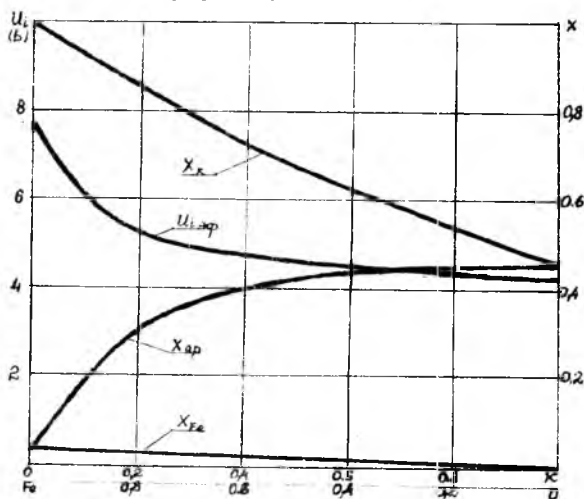
Kaliy bug'lari – B: x

$$X_{ap} = \frac{X_{Fe} \cdot A + X_K \cdot B}{A + B}$$

Qulaylik uchun samarali ionlanish potensial i tushunchasi kiritiladi. Samarali ionlanish potensial i **gazning ionlanish potensial i** bo'lib, u berilgan temperaturada tadqiq etilayotgan gazlar aralashmasi kabi o'shanday ionlanish darajasini beradi.

Gaz aralashmasida Fe va K bug'lari miqdorining nisbatiga bog'liq holdagi ionlanishning samarali potensial i, ionlanish darajasining umumiy va partsial darajasining o'zgarishi grafigi.

Hisoblashlar 5800 °K yoy temperaturasi uchun amalga oshirilgan.



4.1-rasm. Umumiy va partial ionlash darajasini Fe va K parlarini nisbatiga bog'liq samaradorligini o'zgarish grafigi.

Grafikdan ko'rinishicha, oson ionlanuvchi modda (K) ning ionlanish darajasi uning molyar ulushi kamayishi bilan ortadi (birgacha bo'lgan chegarada).

Qiyin ionlanuvchi moddalar uchun (Fe) teskari xodisa kuzatiladi.

Aralashmaning ionlanish darajasi aralashmadagi ionlanuvchi modda ulushi ortishi bilan ko'tariladi.

Samarali ionlanish potensial i oson ionlanuvchi moddaning nisbatan kichik ulushlaridayoq tez tushib, sof oson ionlanuvchi moddaning ionlanish potensial iga asta sekin yaqinlashadi.

Manfiy ionlarning hosil bo'lishi. Ayrim gaz ortiqcha elektronni o'ziga biriktirib, bu bilan manfiy ionni hosil qilishga qodirlar. Manfiy ionda elektronning atom bilan bog'lanishi mustahkamligi atomning elektronga yaqinligi bilan belgilanadi. u elektronning atomga birikishi tizim entalpiyasining o'zgarishi bilan o'lchanadi.

Ayrim gazlar uchun manfiy ionlar hosil bo'lishida enatalpiyaning o'zgarish kattaliklari.

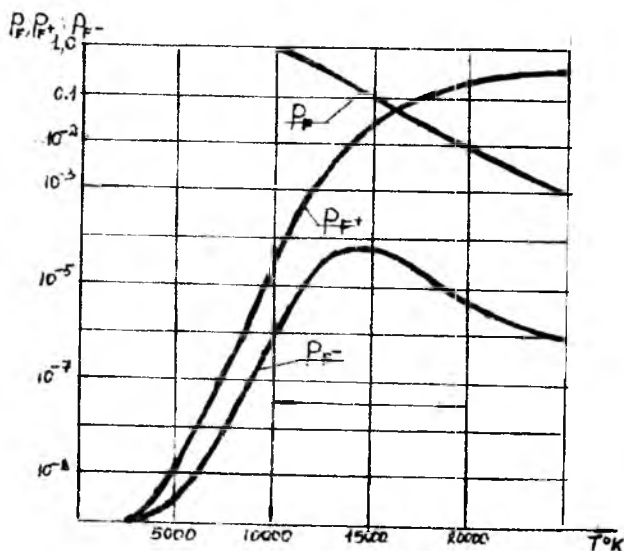
4.4-jadval

Gaz	Cl	F	H	O	OH
$\Delta H \frac{Kx}{\text{mole}}$	-256.2	-278.5	+146	+126	+160

Jadval ma'lumotlarining ko'rsatishicha, ftor elektronga eng ko'p yaqinlikka ega ekan. Ftorni ko'pincha yoy hududiga payvand choklari metallning g'ovakligini kamaytirish maqsadida kiritiladi, shuning uchun temperaturaga bog'liq holda ftorning manfiy ionlari miqdorini hisoblab chiqish qiziqish yo'qotadi.

Grafikdan ko'rinishicha, manfiy ifodalangan ionlar temperaturalarining keng oralig'ida paydo bo'ladi. Manfiy ionlarning maksimal partial bosimi (10000=20000 °K) temperaturalar intervalida hosil bo'ladi. Bosimning absolyut kattaligi eng katta bo'lib (maks~10⁻⁵), biroq zaryadlangan zarrachalar miqdori yoy oraligida

jarayonlarga ta'sir ko'rsatish uchun yetarlicha katta bo'lib hosil bo'ladi.

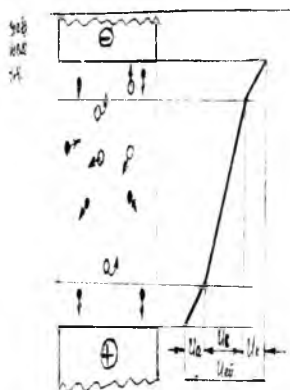


4.2-rasm. Ftor atomini musbat va manfiy ionlarini partsiyal bosimini haroratga bog'liqligi

4.4. YOY RAZRYADIDA FIZIK JARAYONLAR

Yoy razryadidagi elektr toki elektr zaryadlangan elementar zarrachalar, elektronlar va ionlar bilan ko'chiriladi. Agar zarrachalarni manfiy zaryadlangan zarrachalar elektronlarning harakati yo'nalishida ko'chirish jarayoni qarab chiqilsa, yoy razryadining uchta o'ziga xos sohasini belgilash mumkin:

1. Katod sohasi
2. Yoy ustini sohasi
3. Anod sohasi



Katod sohasi. Metall o'tkazgichda elektr toki faqat elektronlar bilan tashiladi. Ionlar metall panjarada mustahkam bog'langan. Razryad oralig'iga elektronlarini beradigan elektrod - katod deb ataladi. Chegara sohasida katodning sirti - gaz razryadli oraliqda tokning chegaraviy sirt orqali o'tishini ta'minlovchi murakkab elektr jarayonlar yuz beradi.

Yoy ustuni. Yoy ustuni deb ataluvchi razryad oraliq sohasi orqali tokning o'tishi yoy ustunida gazning ionlanishi uchun yetarli gazning yuqori temperaturasi mavjudligi bilan ta'minlanadi. Gaz - razryadli oraliqda vujudga keluvchi elektr maydon yoy ustunida ionlar va elektronlarning yo'naltirilgan harakatiga sabab bo'ladi. bu esa gaz razryadli oraliq orqali barqaror elektr tokini ta'minlaydi.

Anod sohasi. Gaz - razryad oralig'ining chegaraviy sohasida - ikkinchi elektrod sirti-anod sohasi deb ataladi, tokni chegaraviy sirt orqali ko'chirish yoy ustuni sohasidan anod sirti orqali elektronlarning ichkariga harakatlanuvchi elektronlar bilan ta'minlanadi. Katod sohasida yuz beradigan jarayonlarni mufassalroq ko'rib chiqamiz.

Yoy ustuni. Yoy ustuni chuda yuqori 6000 °K va undan yuqori temperaturalargacha qizitilgan.

$T_{\text{yoy ust}} = 810 \cdot U_{\text{ef}}$. Bunday temperaturada razryad oralig'ida gaz atomlari va molekularining sezilarli ionlanishi yuz berib, bunda musbat zaryadlangan ionlar va elektronlar katta miqdori paydo bo'ladi. Zaryadlangan elementar zarrachalar betartib issiqlik harakatida bo'ladi.

Yoy ustunida to'plangan energiya zaxirasi atrof fazoga sarflanadi. Ustun energiyasining katta qismi nurlanishga sarflanadi; energiyaning bir qismi zaryadlangan zarrachalarning yoy ustuniga yaqin sohaga diffuziya tufayli yo'qoladi; energiyaning bir qismi yoy ustunida uchib chiquvchi neytral gaz atomlari olib ketiladi (issiqlik o'tkazish xodisasi) va energiyaning yana bir qismi yoy ustunidagi endotermik, kimyoviy reaksiyalarda yo'qoladi (murakkab molekular ionlashuvi, dissotsiatsiyasi va x.k.).

Energiya yo'qotishlari tashqi manba-tok generatori, yoy ustunida " U_{us} " kuchlanish tushish vujudga kelishi bilan to'ldiriladi. Bunda tok manbai energiya sarflaydi:

$$W_{\text{yot}} = I_{\text{ef}} \cdot U_{\text{yot}}$$

bunda W_{yot} - ustundagi sarflangan energiya, vatt

I_{ef} - yoydagi tok kuchi, A:

U_{yot} - ustunda kuchlanishning tushishi.

Shunday qilib: $J_E \cdot U_{\text{ust}} = R_{\text{nur}} + R_{\text{dif}} + R_{\text{iss}} + R_{\text{kimyo}}$

$$E_{\text{yot}} = \frac{U_{\text{yot}}}{L_{\text{ef}}}$$

ga teng yoy ustunida elektr maydondan kuchlanganligi yoy ustunida zaryadlangan zarrachalarning yo'naltirilgan oqimini yuzaga keltiradi. Bu yo'naltirilgan harakat zarrachalarning tartibsiz issiqlik harakati bilan qo'shiladi.

Yoy ustunida ionlar va elektronlarning harakatchanligi

Zaryadlangan elementar zarrachalarning elektr maydon yo'nalishidagi harakatlanish tezligi elektr maydon kuchlanganligiga proporsional ravishda ortadi.

$$W = b \cdot E \left(\frac{\text{cm}}{\text{CGK}} \right)$$

bu yerda W - zaryadlangan zarrachaning harakatlanish tezligi.

E - elektr maydon kuchlanganligi,

b - proporsionallik yoki harakatchanlik omili $\left(\frac{\text{cm}^2}{\text{B} \cdot \text{CGK}} \right)$

Kuchlanganlik qancha katta bo'lsa, dreyf tezligi shuncha katta bo'ladi. Zaryadlangan zarrachalarning harakatchanligi qancha katta bo'lsa, ularni elektr maydonga ko'chirish shuncha oson amalga oshiriladi.

Zaryadlangan elementar zarrachaning harakatchanligi uning zaryadi kattaligiga, erkin yugurish kattaligiga, zarracha massasiga va uning issiqlik harakatining eng katta extimolli tezligiga bog'liq. Bu bog'lanishni frantsuz olimi Pol Lanjeven tomonidan gazlarning klassik kinetik nazariyasi asosida aniqlangan edi:

$$b = \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \cdot \frac{e_0 \cdot \lambda}{m \cdot \bar{U}} \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{B} \cdot \text{CGK}} \right)$$

bunda: e_0 - elektrostatik birliklar tizimi orqali ifodalangan zarrachaning elementar zaryadi,

λ - zarrachaning erkin yugurish yo'li (sm) da;

m - zarrachaning massasi;

$\bar{U}$ - zarrachalarning issiqlik harakati o'rtacha kvadratik tezligi, smG'sek hisobida.

Gazlarning kinetik nazariyasi ma'lumotlariga ko'ra zarrachaning erkin yugurish yo'li:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \cdot n \cdot \bar{\sigma}^2}$$

bu yerda: n - 1sm³ dagi zarrachalar miqdori;

δ - gaz zarrachasining bir sm^3 hisobidagi diametri, zarrachaning o'rtacha kvadratik tezligi zarrachaning o'rtacha energiyasidan aniqlanishi mumkin.

$$E = \frac{3}{2}kT = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad \text{bundan}$$

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

bu yerda k - Boltsman doimiysi, u $1.38 \cdot 10^{-6}$ erg/grad ga teng.

Elektronning biror gazda harakatlanishi holida uning erkin yugurish yo'li uning massasi kichik bo'lganidan gaz molekulasining erkin yugurish yo'lidan katta bo'ladi. Kinetik nazariya quyidagi bog'lanishni beradi:

$$\lambda_e = 4\sqrt{2} \lambda_m$$

bu yerda: λ_e - elektronning erkin yugurish yo'li, sm

λ_m - gaz molekulasining erkin yugurish yo'li.

Keltirilgan ma'lumotlar elektron va ionning elektrik elementar zaryadining istalgan razryadi shartlari uchun ionlar va elektronlarning harakatchanligini hisoblashga imkon beradi:

$e_0 = 4.8 \cdot 10^{-10}$ (CGSE) : elektron massasi - $m_0 = 9.106 \cdot 10^{-28}$ g

proton massasi - $m_H = 1.66 \cdot 10^{-24}$ g

vodorodning atom og'irligi - $N = 1.00813$

0°C temperaturada va bir atmosferaga teng bosimda bir kub.sm gazdagi molekularlar miqdori: $n_0 = 2.68 \cdot 10^{19}$

Ayrim moddalarning atomlari va molekulalarning angstrom hisobidagi ($\text{\AA} = 10^{-8} \text{sm}$) diametri.

4.5-jadval

Modda	δ angstrom	Modda	δ angstrom	Modda	δ angstrom
Ar	2,9	CO	3,23	Si	2,68
He	1,82	NO	3,09	Ca	2,54
H ₂	2,22	F ₂	3,18	Al	2,86

O ₂	3,02	C	1.72	Na	3.82
N ₂	3,22	Mn	2.62	Co	3.92

Yoy ustunida termik ionlash tufayli bir xil miqdordagi ionlar va elektronlar ishtirok etadi. Misol uchun temir bug'larida yoy razryadi holi uchun ionlar va elektronlarning harakatchanligini taqqoslaymiz (Fe ning atom og'irligi 55.85)

$$\frac{b_g}{b_{Fe}} = \frac{e_0 \cdot \lambda_g \cdot m_{Fe} \cdot \vec{U}_{Fe}}{e_0 \cdot \lambda_{Fe} \cdot m_g \cdot \vec{U}_g}$$

$$\frac{b_g}{b_{Fe}} = 4\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{m_{Fe}}{m_g}} = 4\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{55.85}{1.0083} \cdot \frac{1.66 \cdot 10^{-24}}{9.106 \cdot 10^{-28}}}$$

$$\frac{b_g}{b_{Fe}} \approx 1830$$

Hisoblashlarning ko'rsatishicha, amaliy holatdan yoy ustunida tokni ko'chirish faqat elektronlarga va $1/1830$ ga teng ion toki ulushi bilan amalga oshiriladi, uni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Formulalarni birlashtirib va shuningdek bosimning ta'sirini hisobga olib elektronlarning harakatchanligi uchun quyidagi oddiy bog'lanishni hosil qilish mumkin:

$$b_g = B \cdot \frac{\sqrt{T}}{\delta^2 \cdot p} \cdot \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{B} \cdot \text{cm}} \right)$$

bu yerda: $b - 3.62 \cdot 10^{-23}$ ga teng doimiy;

T - temperatura, °C;

δ - gaz atomi yoki molekulasi diametri, sm da;

P - gaz bosimi, atm;

Elektronlarning harakatchanligini bilgan holda va ionlarning harakatchanligini hisobga olmay, yoy ustunida tok zichligini hisoblash mumkin:

$$i_{zem} = e_0 \cdot n_g \cdot b_g \cdot \frac{U_{pg}}{L_{pg}}; \text{ Quyida}$$

e_0 - elektron zaryadi ($1.6 \cdot 10^{-19}$ kulon)

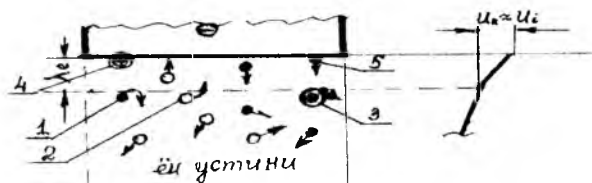
n_{Θ} – bir kub sm yoy ustunidagi elektronlar soni

U_{yoy} – yoy ustunda kuchlanishning tushishi, v hisobida.

L_{yoy} – yoy uzunligi. sm da

Katod sohasi. Katod sohasini nazariy jihatdan ikkita parallel tekislik bilan chegaralash mumkin: katod tekisligi va yoy ustuni tepasidagi chegaralovchi tekislik. Katod sohasida kuchlanishning ancha tushishi kuzatiladi - U_k , u katodli

tushish deb ataladi. U taxminan gazning yoy ustuni potensial ionlanishiga teng. Katodli tushish sohasi uncha katta emas va elektronning erkin yugurish uzunligi (10^{-5} sm) bilan o'lovchdosh.



Shuning uchun katod sohasida elektr maydon kuchlanganligi juda katta qiymatlarni qabul qiladi ($\sim 10^6$ v/sm). Katod sohasining kichik qiymati shunga olib keladiki, bunda ionlar va elektronlar bu sohada to'qnashmasdan uchib o'tishadi. Shunday qilib, katod sohasida biz yig'indi tokni ionlar toki va elektronlar toki yig'indisidan topamiz. Katod sohasida odatda o'rinli bo'ladigan toklarning tengligida istagan paytda katod sohasida nisbatan katta massasi va mos ravishda kichik harakat tezligi tufayli asosan ionlar mavjud bo'ladi:

Ionlar toki zichligi: $i_i = e_0 \cdot n_i \cdot w_i$;

Elektronlar toki zichligi: $i_{\Theta} = e_0 \cdot n_{\Theta} \cdot w_{\Theta}$;

Ionlar va elektronlar katod sohasidan o'tib aynan bir xil miqdordagi kinetik energiyani to'plashadi:

$$\frac{m_i \cdot w_i^2}{2} = \frac{m_{\Theta} \cdot w_{\Theta}^2}{2} \approx e_0 U_k$$

bundan

$$w_i = \sqrt{\frac{2e_0 \cdot U_k}{m_i}} \quad w_{\Theta} = \sqrt{\frac{2e_0 \cdot U_k}{m_{\Theta}}}$$

Biz $i_r \approx i_\Theta$ deb qabul qildik, bundan:

$$\frac{n_i}{n_e} = \sqrt{\frac{m_i}{m_e}};$$

Katod sohasida amalda faqat ionlar bo'ladi. Bu ionlar hajmiy musbat zaryad yaratib, u katod sohasida yuqori elektr kuchlanganligining sababi hisoblanadi.

Katod sohasi chegarasiga issiqlik harakati natijasida uchib o'tadigan yoy ustuni elektronlari katodning elektr maydoni tomonidan yoy ustuniga qaytarib tashlanadi (1-vaziyat). Yoy ustuni ionlari elektr maydoni tomonidan katod sohasiga tortiladi (2-vaziyat). Katod yoy ustuni yo'nalishida katod sohasida uchib o'tkan elektronlar katodning elektr maydonida $e_0 \cdot U_k$ ga teng va yoy uzunligi neytral molekullarini ionlashtirish uchun yetarli kinetik energiyani to'playdi (3-vaziyat).

Yoy ustuni-katod yo'nalishida katod sohasini uchib o'tgan va ushancha miqdordagi energiya to'plangan ionlar katodga urilib:

1. O'zining kinetik energiyasini katodga beradi shu bilan uni qizitadi;

2. Katoddan elektronni uzib oladi va uni biriktirib, katoddan neytral molekulasini hosil qiladi yoki ustuniga kiradi yoki katodda erib ketadi (4-vaziyat)

Chiqish ishi. Katoddan elektronni uzib olish uchun elektronning katod musbat ionlari tomonidan tortib turish kuchlarini engish kerak. Shuning uchun bu kuchlarni engish uchun ma'lum miqdorda ish sarflash zarur. Bu ish miqdori **chiqish ishi** deb ataladi va elektron-voltlarda o'lchanadi. Odatda chiqish ishi **ϕ** harfi bilan belgilanadi. Chiqish ishining kattaligi katodning materialiga va katodni qoplab turuvchi sirt plyonkalarining tarkibiga bog'liq. Agar kuchlanishning katodli tushishi chiqish ishining ikki karra kattaligidan katta bo'lsa, u holda ion katoddan bitta emas balki ikkita elektronni urib olish uchun yetarli energiya zaxirasiga ega bo'ladi. (5-vaziyat).

4.5. KATODDAN ELEKTRONLAR EMISSIYASI

Elektronlar katodni mustaqil tashlab ketishlari mumkin (5-vaziyat). Bunday jarayon elektron emissiyasi deb ataladi. Emissiyaning ikki turi farq qilinadi.

Termoelektron emissiya. Katod qizitilganda elektronlarning issiqlik harakati kuchayadi va ayrim elektronlar chiqish ishidan ertiroq bo'lgan kinetik energiya zaxirasiga ega bo'ladi. Bu holda elektron katod sirti chegaralaridan tashqariga uchib chiqishi mumkin.

Termoelektron emissiyaning miqdoriy bog'lanishlari.

Richardson-Deshman formulasi bilan aniqlanadi:

$$j = AT^2 \cdot e^{-\frac{\varphi}{KT}} \left(\frac{A}{\text{CN}^2} \right); \quad \exp\left(-\frac{\varphi}{KT}\right)$$

bunda: j - termoelektron emissiya tokining zichligi;

φ - chiqish ishi, e -v hisobida,

K - Boltsman doimiysi, $(1,38 \cdot 10^{-23})$ j/grad hisobida;

A - Katod materialiga bog'liq doimiy $(\approx 62,2 \frac{\text{A}}{\text{CN}^2 \cdot \text{grad}})$

Formuladan ko'rinishicha termoelektron emissiya katodning harorati ortganda kuchli ortadi.

Ayrim metallar uchun elektronning chiqish ishi:

4.6-jadval

Metall	Elektronlarning chiqish ishi, e-v	
	Toza sirt	Oksidli sirt
Kaliy	2,02	0,46
Natriy	2,12	1,8
Kalsiy	3,34	1,7
Bariy	2,29	1,59
Jelezo	4,74	3,92
Volfram	4,54	-

Shuni takidlash lozimki, katod sirtida ifloslanishlarning, ayniqsa oksidlar (K_2O , CaO , BaO) ning mavjud bo'lishi chiqish ishining kattaligiga kuchli ta'sir ko'rsatadi.

Avtoelektron emissiya. Katod sirti yaqinida kuchli elektr maydoni mavjud bo'lganda katoddan elektronlar emissiyasi engillashadi, ya'ni elektronning chiqish ishi kamayadi.

Bu holda termoelektron va avtoelektron emissiyaning umumiy formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$j = A \cdot T^2 \exp\left(\frac{-\varphi - \Delta\varphi}{kT}\right); \frac{A}{\text{cm}^2}$$

bunda

$$\Delta\varphi = e \frac{3}{2} \times E^{\frac{1}{2}}, \quad j = j_0 * e^{-\frac{439\sqrt{E}}{T}}$$

Yoy razryadlarida termoelektron emissiya qiyin eruvchan katodlarda ustuvor o'rinni egallaydi (W, C). Boshqa katodlarda (Cu, Al, Fe va boshqalar) emissiyaning ikkala turi o'rinli bo'ladi.

Anod sohasi. Katod sohasidagi kabi anod sohasida ham kuchlanish tushishlari mavjud, anodda - U_a ; u elektronlarni anod tomonidan yutilishi tufayli ionlarning musbat hajmiy zaryad bilan vujudga keladi. Issiqlik harakati natijasida anod sohasi chegarasiga uchib kelgan yoy ustuni ionlari anodlarning elektr maydoni tomonida qaytadan yoy ustuniga qaytarib tashlanadi (1-vaziyat). Yoy ustuni elektronlari uchib kelib anodning elektr maydoni tomonidan tortiladi (2-vaziyat) va kuchlanish tushishi anod sohasidan o'tishda kinetik energiyani to'plab, anodga urilib, bu energiyani anodga berib uni isitadi (3-vaziyat). Bunda elektronlar anod ichiga kiradi (4-vaziyat) bunda qo'shimcha ravishda chiqish ishiga teng ma'lum miqdordagi energiya ajratadi, u ham anodni qizdirishga sarflanadi.

Shunday qilib, anod sohasida ham elektr toki elektronlar tomonidan amalga oshiriladi.



4.6. Yoyning energetik balansi

Yoyning energetik balansi va turli omillarning yoy balansi moddalarining o'zgarishiga ta'siri elektr yoyli payvandlash amaliyoti uchun muhim ahamiyatga ega, chunki elektrod materiallarining erish unumdorligini va payvandlanayotgan metallarning erishi jadalligini aniqlaydi.

Yoyning energetik balansini katod, yoy ustuni, anod sohalariga xos bo'lgan qismlarga bo'lamiz.

Katodda energetik balans.

Balansni qismlarga ajratamiz: kirim va chiqim, ular issiqlik muvozanati shartlariga ko'ra teng bo'lishi kerak: elektron tokni yoydagi tokga nisbatini f deb belgilaymiz.

$$f = \frac{J_a}{J_y}$$

J_{yo} - yoyning to'liq toki

$f \cdot J_{yov}$ - yoyning elektron toki ulushi

$(1-f) J_{yoy}$ - yoyning ion toki ulushi

U_k, U_{ust}, U_a - katodli, ustunli, anodli kuchlanish tushishi.

U_i - ionizatsiya potensial i, v-da;

ϕ - chiqish ishi, e - volt hisobida;

e_0 - elektron va ionning elementar zaryadi, birlik uchun qabul qilingan;

Avtoelektron emissiya. Katod sirti yaqinida kuchli elektr maydoni mavjud bo'lganda katoddan elektronlar emissiyasi engillashadi, ya'ni elektronning chiqish ishi kamayadi.

Bu holda termoelektron va avtoelektron emissiyaning umumiy formulasi quyidagicha bo'ladi:

$$j = A \cdot T^2 \exp\left(\frac{-\varphi - \Delta\varphi}{KT}\right); \frac{A}{\text{cm}^2}$$

bunda

$$\Delta\varphi = e \frac{3}{2} * E^{\frac{1}{2}}; \quad j = j_0 * e^{-\frac{439\sqrt{E}}{T}}$$

Yoy razryadlarida termoelektron emissiya qiyin eruvchan katodlarda ustuvor o'rinni egallaydi (W, C). Boshqa katodlarda (Cu, Al, Fe va boshqalar) emissiyaning ikkala turi o'rinli bo'ladi.

Anod sohasi. Katod sohasidagi kabi anod sohasida ham kuchlanish tushishlari mavjud, anodda - U_a ; u elektronlarni anod tomonidan yutilishi tufayli ionlarning musbat hajmiy zaryad bilan vujudga keladi. Issiqlik harakati natijasida anod sohasi chegarasiga uchib kelgan yoy ustuni ionlari anodlarning elektr maydoni tomonida qaytadan yoy ustuniga qaytarib tashlanadi (1-vaziyat). Yoy ustuni elektronlari uchib kelib anodning elektr maydoni tomonidan tortiladi (2-vaziyat) va kuchlanish tushishi anod sohasidan o'tishda kinetik energiyani to'plab, anodga urilib, bu energiyani anodga berib uni isitadi (3-vaziyat). Bunda elektronlar anod ichiga kiradi (4-vaziyat) bunda qo'shimcha ravishda chiqish ishiga teng ma'lum miqdordagi energiya ajratadi, u ham anodni qizdirishga sarflanadi.

Shunday qilib, anod sohasida ham elektr toki elektronlar tomonidan amalga oshiriladi.

Energiyaning kirishi:

1. Ionlarning kinetik energiyasi:

$$(1-f)J_{ust} \cdot U_k$$

2. Ionlarni deionizatsiyalash energiyasi:

$$(1-f)J_{ust} \cdot U_i$$

1. Yoy ustuni nurlanishi ulushi:

$\Delta_k \cdot R_{yo}$ Δ_k - katodga to'g'ri keluvchi ustun nurlanishi ulushi.

4. Kiruvchi energiya yig'indisi:

$$(1-f)(U_k + U_i)J_{yc} + \Delta_k R_{yo}$$

Energiya sarfi.

1. Elektronlarning katoddan chiqishi uchun energiya sarfi:

$$I_e \frac{\varphi}{e_0}$$

2. Katod nurlanishiga energiya sarfi: R_k

3. Katodni qizitish uchun energiya sarfi: W_k

4. Yig'indi sarfi: $I_e \frac{\varphi}{e_0} + R_k + W_k$

Yoy balansini kirish chiqimiga teng:

$$(1+f)(U_k + U_i) \cdot I_{on} + \Delta_k \cdot R_{on} = \frac{\varphi}{e_0} \cdot I_{on} + W_k + R_k$$

Yoy ustuni energiya balansini.

Energiya kirishi:

1. Tashqi tok manbai olib kirgan energiya: $J_{ust} \cdot U_{ust}$

2. Katodli kuchlanish tushishi sohasidan uchib o'tgan elektronlarning kinetik energiyasi:

$$f \cdot J_{yo} \cdot U_k$$

3. Yig'indi kirish: $J_{yo} \cdot U_{ust} + f \cdot J_{yo} \cdot U_k$

Energiya sarfi:

1. Katod sohasiga ketgan ionlar olib ketadigan energiya:

$$(1-f) \cdot U_i \cdot J_{yoy}$$

2. Nurlanishga sarflangan energiya:

$$R_{nup} = \Delta_k \cdot R_{kn} + \Delta_a \cdot R_{an} + \Delta_{atropo\phi} \cdot R_{an}$$

bu yerda Δ_k , Δ_a , $\Delta_{atropo\phi}$ katodni anodni qisman isitishga va atrof fazoga yo'qotiladigan umumiy nurlanish ulushlari.

3. Zaryadlangan zarrachalarning atrof fazoga diffuziyasiga sarflangan energiya:

$$R_{dif}$$

4. Yoy ustuni neytral gazining issiqlik o'tkazuvchanligiga sarfi:

$$R_{issiqlik}$$

5. Yoy ustunida endotermik reaksiyalarga sarf: $R_{kimyoviy}$

Shunday qilib (1) formulaga nisbatan aniqlashtirilgan yoy ustuni balansi

$$I_{an} \cdot U_{yoy} + f \cdot I_{an} \cdot U_k = (1-f) I_{an} \cdot U_i + R_{nup} + R_{dif} + R_{issik} + R_{kimyoviy}$$

Anoddagi energiya balansi

Energiya kirishi

1. Elektronlar olib kiradigan energiya:

$$I_{an} \left(U_{yoy} + \frac{\varphi}{e_0} \right)$$

2. Yoy ustunining nurlanish energiyasi:

$$\Delta_a \cdot R_{nup}$$

3. Yig'indi kirim:

$$I_{an} \left(U_{yoy} + \frac{\varphi}{e_0} \right) + \Delta_a \cdot R_{nup}$$

Energiya sarfi:

1. Anodning nurlanish energiyasi: R_a

2. Anodni isitishga sarflanadigan energiya: W_a

3. Yig'indi sarf: $R_a + W_a$

Anoddagi umumiy balans

$$I_{\text{an}} \left(U_{\text{yct}} + \frac{\varphi}{e_0} \right) + \Delta_a \cdot R_{\text{yct}} = R_a + W_a$$

Agar yoyning barcha uchta sohasi balansi yig'indisi olinsa, payvand yoyining foydali harakati koeffitsientini aniqlash mumkin.

$$I_{y_0} \cdot U_{y_0} = I_{y_0} (U_k + U_{y_0} + U_a) = W_k + W_a + \sum R_{y_0} + R_k + R_a$$

Amaliyotda qo'llaniladigan payvand yoyi energiyasidan foydalanish xususiyatiga qarab payvandlash metodlarini quyidagi turlarga ajratish mumkin:

1. Mustaqil ta'sir ko'rsatuvchi yoy. Uning xususiyati shundaki, payvandlash uchun yoy ustuni nurlanish energiyasi ulushidan foydalaniladi.

2. Elektrodi erimaydigan to'g'ridan to'g'ri ta'sir ko'rsatuvchi yoy. Anodda yoki katodda qabul qilingan qutblanganlikka bog'liq holda payvandlanayotgan metallni qizitishga sarflanadigan energiyadan foydalaniladi.

3. Elektrodi eruvchi to'g'ridan to'g'ri ta'sir ko'rsatuvchi yoy. Asosan katodda va anodda ajraladigan energiya va qisman yoy ustuni nurlanish energiyasidan foydalaniladi.

4. Atom-vodorod alangasi. Bu metodda yoy volfram elektrodlar orasidagi vodorod atmosferasida yonadi.

Payvandlanayotgan metallni eritishga va eriyotgan elektrodning erishiga sarflanadigan energiyani foydali issiqlik deb qabul qilib, payvand yoyining FIK ni aniqlash uchun tenglama tuzish mumkin.

Mustaqil ta'sir qiluvchi yoy:

$$\eta_{\text{an}} = \frac{\Delta_m \cdot R_{\text{hypa}}}{I_{\text{an}} \cdot U_{\text{an}}};$$

Bunda Δ_m – metallni payvandlashga sarflanadigan ustunning nurlanishi ulushi.

$$\eta_{\text{an}} = 0,2 \div 0,3.$$

Elektrodi erimaydigan to'g'ridan to'g'ri ta'sir ko'rsatuvchi yoy:

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{W_K + \Delta_{\text{э}} \cdot R_{\text{гир}}}{I_{\text{эл}} \cdot U_{\text{эл}}}; \quad \text{ёки} \quad \eta_{\text{эл}} = \frac{W_K + \Delta_{\text{э}} \cdot R_{\text{гир}}}{I_{\text{эл}} \cdot U_{\text{эл}}}$$

$$\eta_{\text{эл}} = 0,3 \div 0,4.$$

Elektrodi eruvchi to'g'ridan to'g'ri ta'sir ko'rsatuvchi yoy:

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{W_K + W_a + (\Delta_a + \Delta_{\text{э}}) \cdot R_{\text{гир}}}{I_{\text{эл}} \cdot U_{\text{эл}}};$$

$$\eta_{\text{эл}} = 0,7 \div 0,9.$$

Atom vodorodli alanga:

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{\Delta_{\text{э}} \cdot R_{\text{кинетик}} + \Delta_{\text{э}} \cdot R_{\text{гир}}}{I_{\text{эл}} \cdot U_{\text{эл}}}$$

bunda $\Delta_{\text{э}}$ - payvandlanayotgan yoy ustuni nurlanishning ekzotermik reaksiyalari va energiyalari issiqligi ulushi.

$$\eta_{\text{эл}} = 0,4 \div 0,5$$

Payvand yoyning eng katta FIK eruvchi elektrod bilan payvandlash metodi uchun hosil bo'ladi. shuning uchun u texnikada eng ko'p qo'llaniladi.

4.7. Elektr yoyning temperaturasi va volt-amper tavsifi

Yoyning ta'sir ko'rsatish hududida ajraladigan energiya tok kuchining elektrodlar o'rtasidagi kuchlanishning tushishiga ko'paytmasi sifatida aniqlanishi mumkin:

$$W_{\text{yoy}} = J_{\text{yoy}} \cdot U_{\text{yoy}}$$

bunda W_{yoy} - yoy hududida ajraladigan energiya, vatt hisobida.

J_{yoy} - tok kuchi, A da.

U_{yoy} - yoydagi kuchlanish.

Elektr yoyining holatini yoyning to'rtta asosiy parametrlari bilan tavsiflash mumkin:

Tok kuchi - J_{yoy}

Tok zichligi - i_{yoy}

Yoydagi kuchlanish - U_{yoy}

Yoy uzunligi - L_{yoy}

Elektrodlarning o'lchamlari va ular orasidagi masofalar doimiy bo'lganda yoyning elektr parametrlari elektrodlarning materialiga yoydagi gaz tarkibiga va yoy ustunida elektrodlar va gazning temperaturasiga bog'liq bo'ladi.

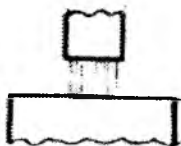
Elektrod o'lchamlarining va ular orasidagi masofani o'zgarishi o'z navbatida uning elektrik parametrlariga ta'sir qiladi. Shu tarzda yoyning elektrik parametrlari geometrik va fizik omillarga bog'liq bo'ladi.

Payvandlash amaliyotida geometrik omillarning ta'sirini elektr yoylarining quyidagi shakllari bilan tavsiflash mumkin:

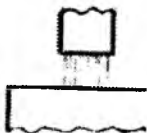
a) Simmetrik yoy - bunda elektrodlar bir xil.



b) Assimetrik yoy - bunda elektrodlar o'lchamlari xar xil.



c) Erkin kengayuvchi yoy - bunda elektrodlar o'lchamlari yoy ustuni o'lchamlaridan katta.

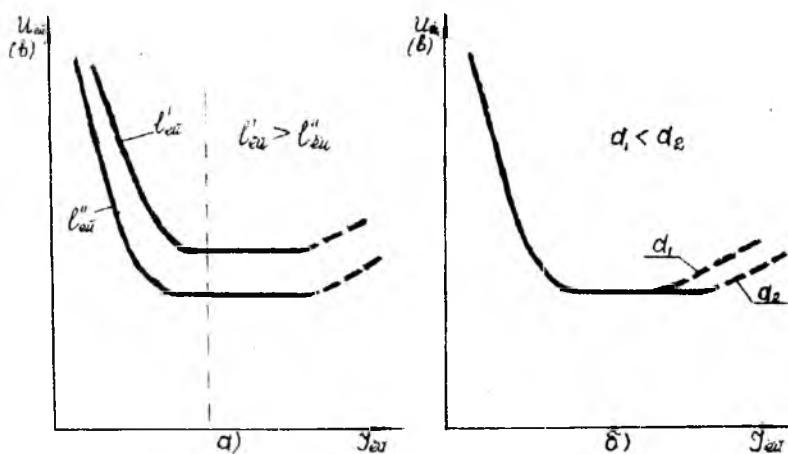


d) Siqilgan yoy - bunda yoy ustunining kengayishi imkoniyati bitta yoki ikkala elektrodning o'lchamlari bilan cheklanadi.



Elektr yoyini oqilona ta'minlash, elektrparametrlarni va yoyning elektrod'larga issiqlik ta'sirini avtomatik tartibga solish masalalarini xal qilishda yoyning juda **muhim va qulay** tavsifi yoyning **statik-volt amper tavsifi** hisoblanib, u yoyda tok kuchining o'zgarishiga bog'liq holda kuchlanishning o'zgarishi tavsifini ifodalaydi.

Bu bog'lanishning o'ziga xos ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:



4.-rasm. Yoydagi kuchlanishni payvandlash toki ta'siri:
a - har xil uzunlikda, b - elektrodning har xil diametrlarida

Yoyning turli uzunligida va elektrod'larning turli diametrlarida yoydagi kuchlanishning tok kuchiga bog'liqligi.

Yoydagi tok kuchini uning kichik qiymatlarida ortirish kuchlanishni sezilarli darajada pasaytiradi.

Yoyni uzaytirish $J_{yoy} = \text{const}$ bo'lganda kuchlanishni oshirishga olib keladi. Tok kuchini bundan keyin ham oshirib borilganda (katodning diametri o'zgarmas bo'lganda, va tok zichligi ortirilganda) yoyning kuchlanishi deyarli o'zgarishsiz qoladi. Bunda katod dog'ining d

o'Ichami katod cheti o'Ichamiga ortadi va uning bundan keyingi kengayishi qiyinlashadi (elektrodning yon sirtlariga ko'chish bilan amalga oshirilishi kerak) va tokni yana ham orttirilganda kuchlanishning ortishi yuz beradi va volt-ampere tavsif o'suvchi bo'lib qoladi.

Boshqa teng sharoitlarda elektrodning diametri katta bo'lganda volt-ampere tavsifining o'chuvchi tarmog'i faqat tok kuchi katta bo'lganda vujudga keladi.

Nisbatan uncha katta bo'lmagan tok kuchida (zichligida) yoy kuchlanishi, tok kuchi va yoy uzunligi o'rtasidagi bog'lanish G. Ayrton formulasi bilan ifodalanadi:

$$U_{\text{an}} = a + bL_{\text{an}} + \frac{c + dL_{\text{an}}}{I_{\text{an}}}$$

Bunda a, b, c va d - elektrodning material va gaz oralig'i tarkibiga bog'liq koeffitsientlar. Tok kuchi katta bo'lganda tenglamaning oxirgi xadi (bulagi) uncha katta emas va bog'lanishni soddalashtirish mumkin:

$$U_{\text{an}} = a + bL_{\text{an}}; \quad a \approx U_K + U_d$$

4.8. ELEKTRODNING QIZISHI VA ERISHI

Elektrod metalli issiqlikning ikki manbai orqali isitiladi:

1. Elektrod uchidagi yoy ajratadigan energiya bilan;
2. Elektrod orqali tok o'tganda Joule-Lentz issiqligi bilan.

Nisbatan kichik yuzada katta miqdordagi issiqlikning ajralishi va elektrodning uncha katta bo'lmagan massasiga kichik miqdordagi issiqlikning o'tkazilishi elektrod uchidagi metallning kuchli qizishiga olib keladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, elektrod metalli qaynash temperaturasigacha qiziydi va qisman bug'lanadi. Elektrodning uchida ajraladigan energiya miqdorini yoy energiyasi balansidan aniqlash mumkin. Hisoblashlarni soddalashtirish uchun elektrod uchi va yoy ustuni orasidagi nur energiyasi almashuvlarini hisobga olmaymiz. U

holda to'g'ri qutiblanishda (elektrod katod vazifasini bajaradi) payvandlash holi uchun:

$$W_k = \left[(1 - f) U_k + U_D - \frac{\varphi}{e_0} \right] \cdot I_{\text{kat}} \quad (1)$$

Teskari qutiblanishda (elektrod anod vazifasini bajaradi) payvandlash holi uchun:

$$W_a = \left(U_a + \frac{\varphi}{e_0} \right) \cdot I_{\text{an}} \quad (2)$$

O'zgaruvchan tokda payvandlash holi uchun:

$$W_n = \frac{W_a + W_k}{2} \quad (3)$$

Issiqlik muvozanati shartlaridan katod sohasi yoy ustuni chegarasida ion toki ulushini aniqlaymiz:

$$\alpha - \beta = \frac{U_k}{U_k + U_i}$$

va uning qiymatini (1) formulaga qo'yamiz va quyidagini hosil qilamiz:

$$W_k = \left(U_k - \frac{\varphi}{e_0} \right) \cdot I_{\text{kat}} \quad (4) \quad W_n = \frac{U_k + U_a}{2} \cdot I_{\text{an}} \quad (5)$$

Elektrod ustida yoy ajratadigan energiya miqdorini va yoy qizitgan issiqlik miqdorini bilgan holda elektrod metallining erish unumdorligini doimo bilish mumkin:

$$g_{\text{er}} = \frac{W_{\text{er}}}{q}$$

bunda W_{er} - yoyning elektrod uchida ajratadigan energiya miqdori vatt hisobida:

q - elektrod metallini qaynashgacha qizitilgan issiqlik miqdori,

$\frac{W_{\text{er}}}{q} = \frac{C \cdot m}{r}$ hisobida;

g_{er} - vaqt birligi ichida (g/sek) yoy eritadigan elektrod metalli miqdori.

Ayrim metallarni qaynash temperaturasi gacha qizitilganda issiqlik miqdori to'g'risidagi ma'lumotlar (D.M. Rabkin. A.S N2. 1951-y)

4.7-jadval

Metall		Fe	Al	Mg	Cu	Zn	Sn	Pb	W
Qaynash harorati	$^{\circ}\text{C}$	273	205	111	259	90	227	174	593
		5	6	0	5	7	0	4	0
Teplosode rj	$\frac{\text{BATT} \cdot \text{COK}}{r}$	206	257	151	141	51	543	266	137
		0	0	0	0	3			0

Payvandlash texnologiyasida payvandlash unumdorligini hisoblash uchun juda qulay kattalik bir soatda gramm hisobida eritilayotgan metallning tok kuchi birligiga bo'lingan miqdorini aniqlovchi $k_{zp}(\alpha_{zp})$ erish koeffitsienti hisoblanadi:

$$k_{zp}(\alpha_{zp}) = \frac{g_{z,z} \cdot 3600}{I_{z,z}} = \frac{W_{z,z} \cdot 3600}{I_{z,z} \cdot q} = \frac{U_{z,z} \cdot 3600}{q} \left(\frac{r}{A \cdot \text{coat}} \right)$$

bu yerda $U_{z,z} = \frac{W_{z,z}}{I_{z,z}}$ elektrodda kuchlanishning foydali tushishi deb ataladi.

U to'g'ri qutblanishda payvandlash uchun:

$$U_z = U_k - \frac{\varphi}{\epsilon_0}$$

Teskari qutiblanishda payvandlash uchun:

$$U_z = U_k + \frac{\varphi}{\epsilon_0}$$

O'zgaruvchan tokda payvandlash uchun:

$$U_z = \frac{U_k + U_d}{2}$$

Agar temir dastaki payvandlash uchun me'yoridagi toklarda (160 – 200 A)

$$U_k \approx 10B ; \quad U_d = 2.5B \pm 0.5 \quad (\text{Rabkin D.M bo'yicha})$$

$$\frac{\varphi}{\epsilon_0} = 4.18 \text{ V}; \quad q = 2060 \frac{\text{BATT} \cdot \text{COK}}{r_p} \text{ deb qabul qilinsa.}$$

Erish koeffitsienti uchun amaliy kattaliklarga yaqin quyidagi ma'lumotlarni olamiz:

4.8-jadval

Tok turi va qutblanganlik	O'zgarmas		O'zgaruvchan
	to'g'ri	teskari	
$K_{ps} \frac{r}{\sin \pi \cdot \cos \pi}$	11,7	17,1	14,4

Elektrodga ionlanish potentsial i past bo'lgan oson ionlanuvchi moddalar (masalan kaltsiy tuzlari) ni kiritish erish koeffitsientini pasaytiradi. Masalan, yupqa oxak qoplangan elektrodlar uchun:

$$\frac{r}{s_p} = 3,0 \text{ B}; \quad U_k = 9,0 \text{ B}; \quad U_a = 2,5 \text{ B}; \quad q = 2060 \frac{\text{B} \cdot \text{cm}}{\text{rB}};$$

4.3.3-jadval

Tok turi va qutblanganlik	O'zgarmas		O'zgaruvchan
	to'g'ri	teskari	
$K_{ps} \frac{r}{\sin \pi \cdot \cos \pi}$	9,6	11,4	10,5

Elektrod orqali tok o'tganda elektrod Joule-Lents issiqligi bilan qiziydi. Bunda yoy bilan qizitishdan hosil bo'ladigan issiqlik Joule-Lents issiqligi bilan qo'shiladi va elektrodning erish koeffitsienti ortadi. Elektrodning erimagan qismini elektrod qulochi (vo'let) deb ataymiz.

Bu qulochning biror nuqtasida ajralgan energiya miqdori uning uzunligi birligida Joule-Lents qonuniga muvofiq quyidagicha teng bo'ladi:

$$W = I_{\text{yoy}}^2 \cdot R t = i^2 \cdot F_{\text{sa}} \cdot \rho \cdot t \cdot l \quad (8)$$

bunda J_{yoy} - tok kuchi;

R - elektrod uzunlik birligining om hisobidagi qarshiligi;

ρ - elektrod metallining Om sm hisobidagi solishtirma elektr qarshiligi;

F_e - elektrod kesimining sm^2 hisobidagi yuzi;

t - ko'rib chiqilayotgan uchastkani tok ostida o'tishli vaqti, sek hisobida.

Ko'pchilik hollarda ρ temperaturaga kuchli bog'liq bo'ladi. Hisoblashlarni soddalashtirish uchun ρ ning temperaturaga bog'liq bo'lmagan holni olamiz (amalda bunday hol austenit. xrom-nikel elektrodlar bilan payvandlashda bo'lishi mumkin) va konveksiya hamda nurlanishga yo'qotishlarni hisobga olmaymiz.

Elektrodning qulochi (vo'let) har bir uchastkasida uning temperaturasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$T = \frac{t^2 \cdot \rho \cdot i}{c \gamma} \quad (9)$$

bunda c - metallning issiqlik sig'imi, $\frac{\text{BATT} \cdot \text{cm}}{\text{g}}$

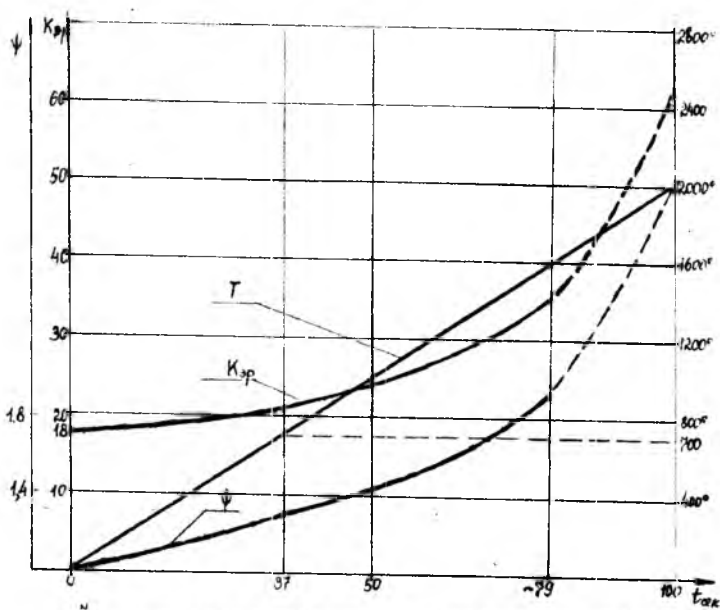
γ - metallning solishtirma og'irligi, g/sm^3

(9) formuladan ko'rinishicha, elektrod qulochining (vo'let) biror uchastkasidagi temperatura uning tok ostida bo'lishi vaqtiga proporsionaldir.

Temperaturaning vaqtga bog'liqligi tok zichligi $1000 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$ va boshlang'ich erish koeffitsienti $18 \frac{\text{B}}{\text{A} \cdot \text{cm}^2}$ bo'lganda austenitli, xromnikelli elektrodga payvandlash holi uchun $\rho = 10^{-4}$ om sm.

Elektrod eriy boshlashidan taxminan 79 sek dan so'ng tok keltiriladigan joyda (tokopodvod) elektrodning temperaturasi metallning erish temperaturasiga teng bo'lib qoladi. Bunda keyincha payvandlash mumkin bo'lmay qoladi, chunki bu joyda elektrod yoy bu joyga etmasidan oldinroq eriy boshlaydi.

Grafikdan ko'rinishicha elektrodning K_{er} juda kuchli o'zgaradi. K_{er} koeffitsientining bunday o'zgarishi metallning choki bir tekis yotqizilishi buzadi, bu esa payvandchining chok bo'ylab yoini harakatini tezlashtirishga majbur etadi.



4.7-rasm. Erish koeffitsientini vaqtga bogʻligʻligi grafiqi.

Bu oʻz navbatida yoyning payvandlanayotgan metallga beriladigan issiqlik miqdorini kamaytiradi va mos ravishda chetlarining erishini kamaytiradi. Shuning uchun sifatli payvand chokini olish uchun tokning yoʻl qoʻyiladigan zichliklari va elektrodlar uzunliklari kattaligini cheklash zarur.

Tokning chegaraviy zichliklari va elektrodlar zichliklarini hisoblash uchun juda qulay kattalik erish notekislari koeffitsienti deb ataluvchi oxirgi va boshlangʻich erish tezliklari nisbati yoki erish koeffitsienti hisoblanadi:

$$\psi = \frac{v_{sp,ox}}{v_{sp,dox}} = \frac{K_{sp,ox}}{K_{sp,dox}} \leq 1,3$$

Amaliyotda payvandlash sifatini taʼminlash uchun erish notekislari koeffitsienti $\psi=1.3$ kattalikdan ortmasligi kerak. Grafikda bu koeffitsient payvandlash boshlangandan soʻng 37 sek dan keyin hosil boʻladi, bunda elektrodning (tok keltiruvchi nuqtasi) yoʻl qoʻyiladigan qizish temperaturasi 700 °C dan ortiq boʻlmasligi kerak (tokopodvodda).

4.9. YOYDA METALLNI KO'CHIRISHNI TADQIQLANISH USULLARI VA KO'CHIRISHNING ASOSIY SHAKLLARI

Elektrodning eriyotgan metallni elektrodan asosan suyuq metall tomchilari ko'rinishida, va qisman bug' ko'rinishida payvandlash vannasiga ko'chadi. Yoyning yonish sharoitlaridan ko'chirilayotgan tomchilarning o'lchami ham kuchli darajada bog'liq bo'ladi.

Metallni ko'chirish jarayoniga quyidagi omillar ta'sir ko'rsatadi:

- 1) Elektrod materiallari, yoy oralig'idagi qoplamalar va gaz tarkibi
- 2) Rejimning asosiy tashkil etuvchilari: elektrod diametri, tok kuchi, yoydagi kuchlanish, tokni turi qutblanganlik.

Elektrodni eritishda katta elektrodinamik kuchlar va metall bug'larining reaktiv bosimi kuchlari vujudga kelib, ular tomchi hosil bo'lish jarayonlarini, tomchining elektrodan uzilishini va yoy oralig'i orqali ko'chishini ancha qiyinlashtiradi.

Yoyning yonishi jarayonida payvandlash rejimi asosiy parametrlarining ancha katta tebranishlari yuz beradi. Bu tebranishlar gazlarning yoy ustunidagi harakati va metall tomchisining vujudga kelishi jarayonida tebranishlari bilan paydo bo'ladi. Bu tebranishlar juda qisqa vaqt oraliqlarida sodir bo'ladi. Masalan, yoy oraligining qisqacha tutashuvlari bilan kechadigan metall tomchilarining ko'chishi payvand yoyining yonish sharoitlariga bog'liq holda sekundiga 5 dan 150 martagacha yuz beradi.

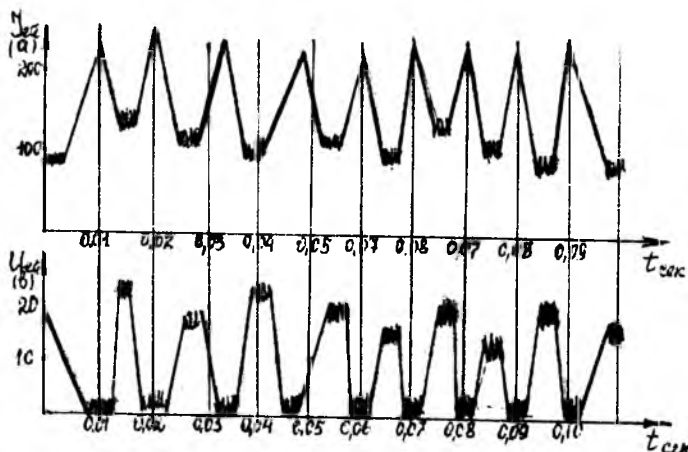
Jarayonning bunday qisqa vaqtda sodir bo'lishi jarayonning ikir chikirlarini o'rganishini ancha murakkablashtiradi.

Tadqiqot metodlari: 1. Svetograf yordamida payvandlashda qisqa tutashuvlar chastotasini tadqiq etish. E.O. Paton nomidagi IES da 1938 yilda svetograf deb ataluvchi asbob yordamida o'rganilgan. Asbobning ishlash g'oyasi yorug'likka sezgir qog'ozga metallni ko'chirishda yoyning yonishi va uchishi momentlarini yozib olishdan iborat.



1-электр ёйи;
2-линза;
3-ёруғалikka сезгир қозғоз,
4-баробдан;

Ostsillograf yordamida tadqiqot o'tkazish. Vaqt bo'yicha payvandlash rejimi ($J_{yoy} \cdot U_{yoy}$) elektr parametrlarining o'zgarishini ostsillograf yordamida yozish faqat, qisqa tutashuvlar chastotasini aniqlashgina emas. balki yoy orqali metallni ko'chirish jarayoni vujudga keltirgan bu parametrlarning tebranishlarini ham aniqlashga imkon beradi.



4.8-rasm. Tok va kuchlanishni elektrod metalini elektr yoyi orqali ko'chish ossillogrammasi.

Tok va kuchlanish ostsillogrammasi bo'yicha fakat tomchilarni uzilishlar (tutashishlar) bilan kesuvchi kuchirish bilangina emas, balki qisqa tutashuvsiz ko'chirish bilan o'rganish mumkin.

Yoydan bevosita tutib olinadigan tomchilar o'lchamlarini tadqiq etish.

Ko'chirishning mayda tomchili jarayonini metallni tadqiq etish yoydan tomchini bevosita tutib olishi mumkin. Bunday uslublarga quyidagilar kiradi:

a) tomchilarning suvga tushishida tutib olish metodi;

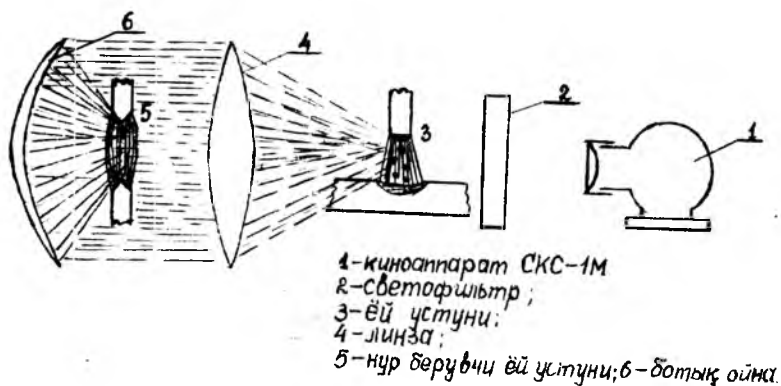
b) tomchilarning parafin bilan qoplangan plastinaga tushishida tutib qolish metodi;

d) massiv plastinaga erib tushishida tutib olish metodi;

Kinosyomka yordamida ko'chirish jarayonlarini tadqiq etish

Tomchi hosil bo'lishi va uning payvand vannasiga ko'chirilishi jarayonini bevosita kuzatish payvandlashda yoyning yonish jarayonini kinos'yomka qilishni qo'llanishda mumkin bo'ladi. Alohida kino kadrlarni ularning ketma-ketligida o'rganish, tomchilarning o'lchamlarini, ularning yoy oralig'i orqali uchish tezligini aniqlashga, yoyning yonish shartlarining ko'chirish jarayoniga ta'sirini aniqlashga imkon berdi.

Xodisa istiqbollari sinxron kinos'yomkaning qo'llanishi va payvandlashning elektr rejimi ostsilogrammasi.



4.9-rasm. Elektrod metallini payvand yoyi orqali ko'chishini tezkor kino ko'rinish sxemasi

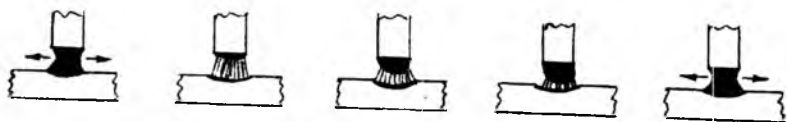
Metallni payvandlash yoyida ko'chirish shakli

Payvandlash sharoitlariga tok egri chizig'i, kuchi, zichligi va shakli, himoyalash turi, yoyning qutblanganligiga bog'liq holda to'rtta shakli farqlanadi:

1. Qisqa tutashuvli tomchili ko'chirish;
2. Qisqa tutashuvsiz tomchili ko'chirish;
3. Oqimli mayda tomchili ko'chirish;

4. Nobarqaror tomchili ko'chirish;

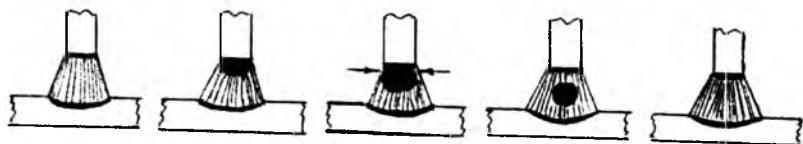
Qisqa tutashuvli tomchili ko'chirish-ko'chirishning eng ko'p uchraydigan shakli bo'lib, bunda payvandlash yoyning kichik uzunligida amalga oshiriladi. Tok kuchi kichik bo'lganda qisqa tutashuvlar chastotasi kichik bo'ladi. Tok kuchi oshirilganda chastota sekundiga 150-ga va undan ortiqqa ortadi.



- 4.10-rasm. Elektrod materialini qisqa tutash bilan ko'chishi.

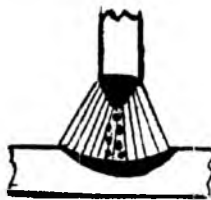
Qisqa tutashuvlarsiz tomchili. Ko'chirishning bu shakli ko'chirilayotgan tomchining o'lchami yoy oralig'i uzunligidan kichik bo'lganda, payvandlashning yuqori rejimlarida payvandlash hollarida hosil bo'ladi.

Bu shakl flyus ostidagi avtomatik va yarimavtomatik payvandlash holatlari uchun va kislotli qoplamali elektrodni dastaki payvandlash uchun me'yorida bo'ladi ($j \geq 10 \text{ a/mm}^2$)



4.11-rasm. Elektrod materialini qisqa tutashsiz ko'chishi.

Oqimli mayda tomchili ko'chirish. Ko'chirishning bu shakli konus elektrodni uchida suyuq erigan metall hosil bo'lishi bilan xos bo'lib, unda metallning mayda tomchilari uzluksiz uzilib turadi. Inert gazlarda payvand qilish $j \geq 10 \text{ a/mm}^2$ da o'ziga xos xususiyati payvandlash rejimining elektr parametrlarining mutloq barqarorligi hisoblanadi. Oqimli mayda tomchili ko'chirish barcha hollarda, tokning yuqori zichliklarida amalga oshirilganda hosil bo'ladi. Amalda ko'chirishning bu shakli inert gazlarda (argon, geliy) payvandlashda foydalaniladi.



4.12-rasm. Oqimli mayda tomchili ko'chirish.

Nobarqaror oqimli ko'chirish. Tokning zichligi yanada oshirilganda elektrod metallning oqimli mayda tomchili ko'chirilishi nobarqaror oqimli ko'chirishga o'tadi. Bu shakl shunisi bilan o'ziga xoski, bunda elektrod uchidagi suyuq metall konusi nobarqaror bo'lib qoladi, fazoda tartibsiz harakatlanib, ko'pincha elektroddan uzilib turadi. Bunda payvandlashning elektr rejimi barqarorligi buziladi, metallni ko'chirishning bunday shakli amaliy payvandlash uchun yaramaydi.



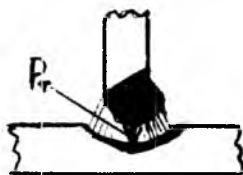
4.13-rasm. Nobarqaror oqimli ko'chirish

4.10. YOYDA AMAL QILUVCHI KUCHLAR

Metallni ko'chirish xususiyati metallni sachratish jarayoni barqarorligiga, chokning shakllanishiga, metallning sachrab sochilishiga, yoyda va vannada metallurgik jarayonlarning jadalligiga katta ta'sir ko'rsatadi. Ko'pchilik hollarda oqimli ko'chirish maqsadga muvofiq, u chokning yaxshiroq shakllanishini va sifatini ta'minlaydi. Yoydagi erigan metallga ta'sir ko'rsatuvchi asosiy kuchlar quyidagilardir:

1. Og'irlik kuchlari; 2. Sirt jaranglik kuchi; 3. Suyuq o'tkazgichdagi elektrodinamik kuchlar; 4. Reaktiv kuchlar; 5. Elektrostatik kuchlar.

Og'irlik kuchlari. Metallning quyi holatda ko'chishiga imkon beradi va yuqori (ship) holatida ko'chishiga qarshilik qiladi. Ular kichik toklarda payvandlashda, elektrodinamik kuchlar xali nisbatan uncha katta bo'lmaganda eng katta ta'sir ko'rsatadi.



Sirt taranglik kuchlari. Suyuqlik tomchilariga (boshqa kuchlar bo'lmaganda) sferik shakl beradi, tomchilarni shipda tutib turadi va metall tomchilarini suyuq payvand vannasiga so'rib oladi. Bunda sirt jaranglik suyuqlik ichida ortiqcha bosim hosil qiladi:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R} \frac{dH}{cm^2}$$

σ - sirt jaranglik koeffitsienti bo'lib u $\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta l}$ ga teng, bunda ΔF - chegarada ta'sir etuvchi kuchlar; Δl - uzunlik;

4.9-jadval

Metall	Mg	Zn	Al	Cu	Fe	Ti	Mo	W
$\sigma \frac{dH}{cm}$	650	770	900	1150	1220	1510	2250	2680

σ - temperatura oshishi bilan uncha katta o'zgarmaydi va shuning uchun doimiy kattalik deb hisoblash mumkin.

Metallning chok metallida eruvchi gazlar bilan birikishi va u bilan kimyoviy birikma hosil qilishi sirt jaranglik kuchi kattaligini o'zgartiradi. Masalan, xromnikelli austenitli po'latda azot miqdorining sirt jaranglik kattaligiga ta'siri quyidagi qiymatlarga ega (Dyatlov V. I.):

4.10-jadval

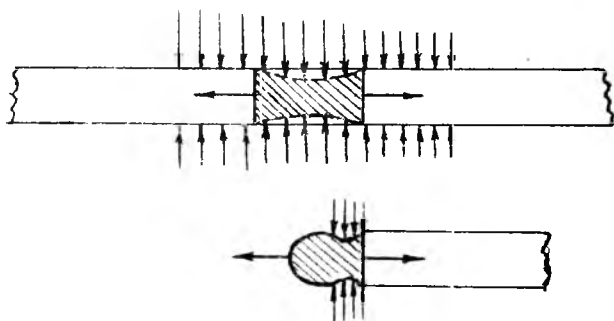
Xromnikelli austenitli po'latda N miqdori, %	Sirt taranglik
0.02	1100
0.08	1430
0.16	2100
0.23	2500

Kislorod sirt jaranglikni pasaytiradi. Kislorod bilan to'yingan Fe ning sirt jarangligi 1030 din/sm ga teng. Agar metall shlak bilan qoplansa, fazalararo sirt tarangligi asosan kamayadi. Shlak qoplangan po'lat uchun bu kattalik 875 dan 900 din/sm gacha o'zgaradi. G-shlaklar uchun 300 dan 400 din/sm chegaralarda o'zgaradi. Agar elektrod uchidagi tomchi shlak qatlami bilan qoplangan bo'lsa u holda shlak metall chegarasida va sirt tarangligi chegarasida fazalararo sirt taranglikning yig'indi ta'sirini hisobga olish zarur.

Bu holda tomchidagi yig'indi sirt taranglik 1175 dan 1250 din/sm gacha bo'ladi.

Elektrodinamik kuch (Pinch-effekt kuchlari). O'tkazgich orqali elektr toki o'tganda bu o'tkazgichni siquvchi elektrodinamik kuchlar vujudga keladi. Bu kuchlar o'tkazgichni deformatsiyalash uchun kichik bo'lib, lekin suyuq o'tkazgichni deformatsiyalashga yetarlidir. Faraz qilaylik, qattiq o'tkazgichda suyuq metall qismi mavjud bo'lsin. Bu o'tkazgichdan tok o'tganda uning butun uzunligi bo'yicha

o'tkazgichni siquvchi elektrodinamik kuchlar vujudga keladi. O'tkazgichning suyuq qismida bu kuchlar gidrostatik bosimning oshishini vujudga keltiradi, shu bilan birga o'z navbatida o'tkazgichning qattiq qismlarini bir biridan itaruvchi o'qiy kuchlarini vujudga keltiradi.



4.14-rasm. Payvandlashda elektrodinamik kuchlarni hosil bo'lish sxemasi.

O'tkazgichning bir qattiq uchastkasi (qismi) olib tashlanganda bu kuch suyuq qismni qattiq qismdan ajratadi. O'qiy elektrodinamik kuchining tok kuchiga bog'liqligini akad. K.K. Xrenov nazariy jihatdan hisoblab chiqdi.

$$P_{s,k} = A \cdot I^2$$

A - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, $u0,005 \text{ din/sm}^2$. Agar o'tkazgich turli xil kesimlarga ega bo'lgan holda, o'tkazgichning kichik kesimidan katta kesimiga tomon yo'nalgan qo'shimcha o'q kuchi vujudga keladi, K.K. Xrenovning hisoblariga ko'ra bu kuch:

$$P_{s,k} = A \cdot I^2 \cdot \ln \frac{R_2}{R_1};$$

Bunda $F_2 \approx F_1$ - o'tkazgichlarning katta va kichik kesimi. Shunday qilib natijalovchi elektrodinamik kuch quyidagicha teng bo'ladi:

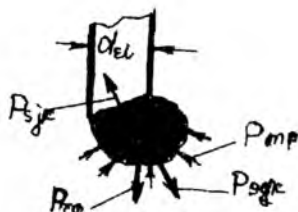
$$P_{s,k} = A \cdot I^2 (1 + \ln \frac{R_2}{R_1});$$

A - proporsionallik koeffitsienti bo'lib, $u P_{ek}=0.005 \text{ din/sm}^2$.

Payvandlashda elektrod metallini ko'chirish holida biz suyuq o'tkazgichning o'zgaruvchan kesimiga doim ega bo'lamiz. Tok kuchi kichik bo'lganda elektrodinamik kuchning kattaligi uncha katta bo'lmaydi va uning metallni ko'chirishga ta'siri uncha katta emas.

Tok kuchi katta bo'lganda elektrodinamik kuchning ta'siri xal qiluvchi ahamiyatga ega bo'ladi. mm

Reaktiv kuchlar. Bug'larning reaktiv bosimi odatda tomchining boshlang'ich uzilishiga qarama-qarshi ta'sir ko'rsatadi. Teskari qutblanganlikda payvandlashda bug'larning reaktiv bosimi to'g'ri chiziqdagiga qaraganda kichik. V.I. Dyatlov CO₂ muhitda payvandlashda metall tomchisiga ta'sir etuvchi bug'larning reaktiv bosimi kuchi aniqlangan. Bunda bug'larning vannaga bosim kuchi singari u payvand toki kvadratiga proporsional:



$$P_n = K \cdot I^2$$

$$k = 0,0125 + 0,05$$

Elektrostatistik kuchlar yoyning o'tuvchi sohalarida ayniqsa, katom yonida (bu yerda E ning qiymati 10^5-10^7 v/smga etishi mumkin) katta gradientga (maydon kuchlanganligiga) ega bo'lishi oqibatida vujudga keladi.

Yoy ustunida $E_{yoy} < E_k$ (1000 marta) bo'lgani uchun bosimlar farqi vujudga keladi. Bosimlar farqi quyidagi formulaga ko'ra baholanishi mumkin:

$$\Delta P = P_k - P_m = \frac{1}{8\pi} (E_k^2 - E_m^2) \text{ мм чм уст.}$$

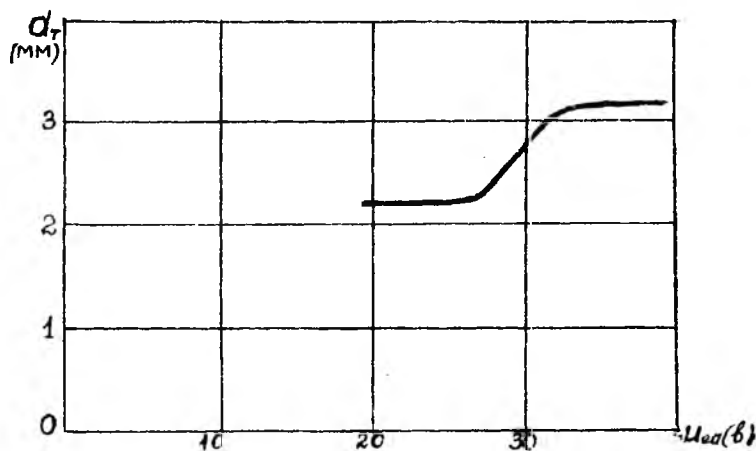
Bosim bir qancha mm sim ust.ga etadi. Masalan, yuqorilikdagi elektr maydoni vannadagi metallni teskari qutblanganlikda katoddan anod tomon konus ko'rinishida cho'zib uni deformatsiyalashi mumkin. Ko'p atomli gazlar (N₂, CO₂) muhitda payvandlashda amaliy jihatdan metallni oqimli ko'chirish juda qiyin. Buni nisbatan past haroratlarda bunday gazlarda paydo bo'ladigan dissotsiatsiya

sterjenining hosil bo'lishida uni sovutish hisobiga payvand yoyini siqish darajasini oshirib tomchi ustiga dog'ni tortish bilan izoxlash mumkin.



4.11. PAYVAND TOKI VA KUCHLANISHNING KO'CHIRISHGA TA'SIRI

Yoydagi kuchlanishning ko'chib o'tuvchi tomchilar o'lchamiga ta'siri (payvandlash CO_2 da, $d=1,6$ mm li simda, simni uzatish tezligi 154 m/soat bo'lganda amalga oshiriladi). V.I. Dyatlov va Sun-Tszi-Tsen tajribalari.



4.15-rasm. Ko'chayotgan tomchi diametrini yoydagi kuchlanishga bog'ligi.

Grafikdan ko‘rinishicha, yoyda kuchlanish kamayishi bilan (yoy oralig‘i kamayishi bilan) tomchining o‘lchami kamayadi. 32V kuchlanishda qisqa tutashuvlar boshlanadi va yoyda kuchlanishning bundan keyingi pasayishi bilan tomchilarning o‘lchami 2 mm gacha kamayadi. Metallni ko‘chirishning bu shakli dastakni payvandlashda va CO₂ muhitida yarim avt payvandlashda ko‘pincha uchraydi.

Teskari qutblanishda CO₂ da payvandlashda sinni uzatish tezligi 252 m/soatda diametri 0,8 mm bo‘lgan sim bilan payvandlashda metallni ko‘chirishga yoydagi kuchlanishning ta‘siri to‘g‘risida keltirilingan.

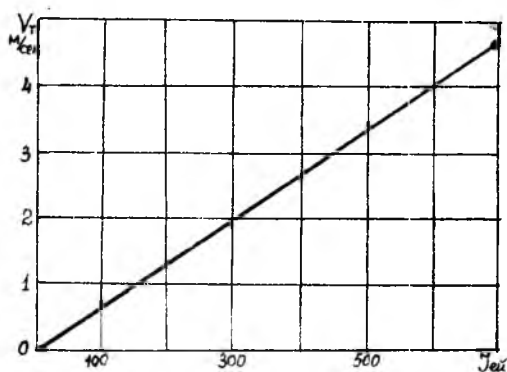
4.11-jadval

Metallni ko‘chirish tavsifi	Yoydagi kuchlanish		
	17 V	20 V	24 V
Yoy yonganda qaror topgan tok(A)	40	50	65
Yoyning uzunligi (mm)	0,8	1,1	1,8
1 sek-da elektroddan vannaga o‘tadigan tomchilar soni	150	100	28
Tomchilarning maksimal diametri	0,8	0,9	1,34

V.I. Dyatlov tajribalari. Turli tok kuchida tomchilarning uchish tezligini o‘lchash tok kuchi erishishi bilan tomchilarning uchish tezligining ortishini ko‘rsatadi.

Teskari qutblanganlikda CO₂ da $d_c=0,8+1,6$ mm li sim bilan payvandlash.

Grafikdan ko‘rinishicha, 500A ga teng tok kuchida tomchini uchish tezligi 3 m/sek dan oshardi.



4.16-rasm. Tomchilarni koʻchish tezligini payvand tokini kuchiga bogʻliqligi.

5-BOB. PAYVANDLASH METALLURGIYASI

Payvandlash metallurgiyasi odatdagi metallurgik jarayonlardan payvandlash termik siklini harorati va suyuq holdagi payvandlash vannasini qisqa va qt mavjudligi bilan ajralib turadi, bundan kelib chiqib pavand chok metaliga ishlov berish vaqti qisqa bo'ladi. Payvandlash vannasida kristallanish jarayonlari o'ziga xos bo'lib, payvand chok chegarasi va metal xossalari o'zgargan termik ta'sir zonasidan boshlanadi.

5.1. KARBONAT ANGIDRID MUHITIDA KAM UGLERODLI PO'LATLARNI ELEKTR YOYI BILAN PAYVANDLASH USULI

Payvandlanayotgan muhitda atmosfera ta'sirlaridan payvandlanuvchi moddalarni himoya qilishda metallurgik ta'siri bo'yicha turlicha gazlar qo'llaniladi: inert gazlar, masalan. *Ar*, *He*, hamda aktiv gazlar – CO_2 , N_2 . Inert gazlar payvandlanuvchi moddada erimaydi va asosiy metall bilan va uning tarkibiga kiruvchi legirlovchi elementlar bilan kimyoviy birikmalar hosil qilmaydi. Inert gazlar himoyasida payvandlashda payvandlanayotgan modda metalli havodan ajratilgan (izolyatsialangan) holda bo'lgani uchun metallurgik reaksiyalar faqat vannadagi elementlar orasidagina kyechishi mumkin.

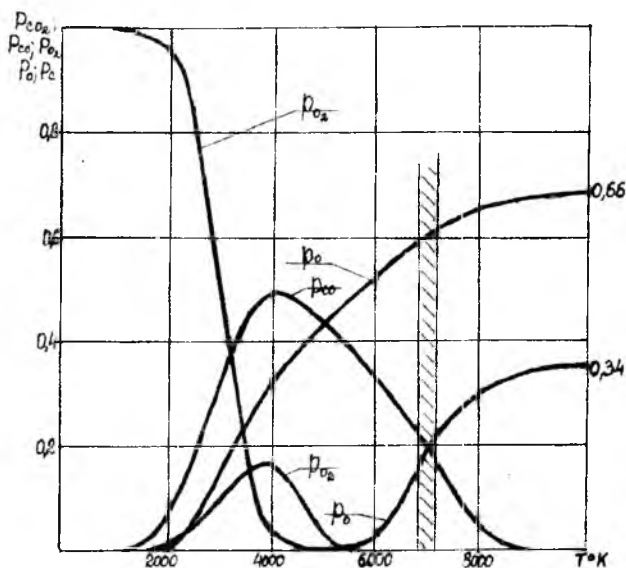
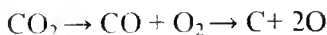
Aktiv gazlar yoki ularning dissotsiatsiyanishi mahsulotlari payvandlash jarayonida payvandlash metalli bilan unda erib ketadi yoki u bilan va legirlovchi element bilan kimyoviy birikma hosil qiladi, yoki hosil bo'lgan birikmada eriydi.

Aktiv karbonat angidrid gazi kam uglerodli po'latlarni yoy bilan payvandlashda suyuq metallni havo ta'siridan himoya qilishining samarali va juda tejimli vositasi ekan.

Ayrim tadqiqotchilarning CO_2 dan eruvchi elektrodlar bilan kam uglerodli po'latni payvandlashda qo'llanish dastlab chok metallida bo'shliqlarning hosil bo'lishi tufayli ijobiy natija bermadi.

K.V. Lyubavskiy va N.M. Novojilov payvand chokida bo'shliqlar paydo bo'lishining sabablarini o'rganishdi, payvandlashda CO_2 ning suyuq metall bilan o'zaro ta'sirlashuvini tadqiq etishdi va CO_2 da eruvchi elektrod bilan po'latlarni payvandlashning qoniqarli variantini topishdi. CO_2 da payvandlashning o'ziga xos xususiyati kislorodga kimyoviy jihatdan ancha yaqin bo'lgan elementlarning (*C, Al, Ti, Mg, V, Si, Mn...*) nisbatan kuchli yonishidir.

Yonib tugashi uning CO_2 sifatida ham, yoyning yuqori temperaturasi ta'sirida CO_2 ning dissotsiatsiyasi natijasida hosil bo'ladigan atomlar kislorod hisobiga ham yuz beradi.



5.1-rasm. Karbonat angidridni tarkibini temperatura oshishi bilan o'zgaruvchanlik grafigi.

Grafik bo'yicha: payvand yoyning temperaturasida:

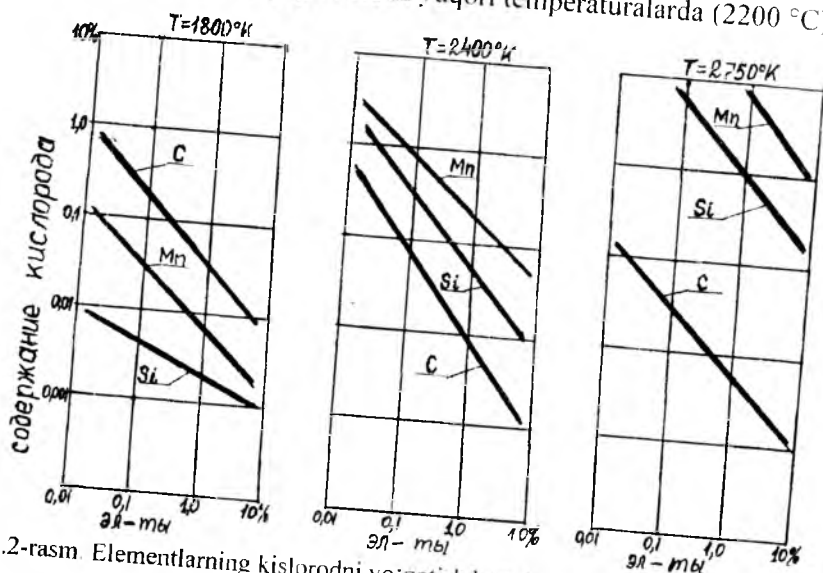
$$\left. \begin{array}{l} P_{\text{CO}} \approx 0.2 \text{ atm} \\ P_{\text{C}} \approx 0.2 \text{ atm} \\ P_{\text{O}} \approx 0.6 \text{ atm} \end{array} \right\} 1 \text{ atm}$$

Bunda asosan atomar kislorod bo'lishi ko'rinadi. Payvandlashda suyuq metall va gazning o'zaro ta'sirlashuvi ularning bir biri bilan aloqasi qisqa muddatli bo'lishiga qaramay, juda jadal yuz beradi.

Bu holat payvandlash hududida avj oluvchi nihoyatda yuqori temperaturalar va kislorodga bog'liqligiga yaqin bo'lib, u o'z navbatida temperaturaning o'zgarishi bilan har bir element uchun o'zgaradi.

Kislorodni yo'qotish (erigan metallardan chiqazib tashlash) qobiliyati bu temirdan yoki boshqa materialdan O_2 ni olib qo'yish qobiliyatidir, chunki po'latning qotishidan yaqinroq temperaturalarda ($1535^{\circ}C$) eng kuchli kislorodni yo'qotuvchi (tortib oluvchi) Si hisoblanadi, undan keyin V, Cr, Mn, C keladi.

Temperatura ortishi bilan elementlarning kislorodni yo'qotish kuchi o'zgaradi. Metallning qotishidan yuqori temperaturalarda ($2200^{\circ}C$).

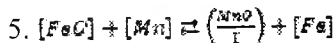
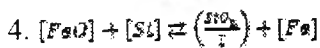
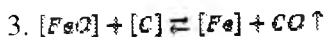
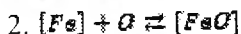
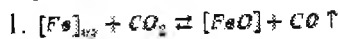


5.2-rasm Elementlarning kislorodni yo'qotish kuchini temperaturaga bog'liqlik grafigi.

Si ning kislorod yo'qotish qobiliyati kamayadi, bundau Al, Ti va C dan orqada qoladi.

Eng yuqori temperaturalar oralig'ida (yoy oralig'ida va bevosita yoy ostida suyuq vannada) Al, Ti, C kislorodga eng yaqinlik qiladi.

Metallida *Al* va *Ti* bo'lmaganda payvand moddalarning asosiy kislorodni yo'qotuvchisi - *C*, *Si* va *Mn* hisoblanadi. Shunday qilib payvandlash hududida quyidagi reaksiyalar yuz berishi mumkin:



Reaksiya hududidan xavoga (*CO*) yoki shlakka (*MnO*): (*SiO₂*) ; *C*, *Si*, *Mn* oksidlovchilarning va achitqilarning boshqa elementlarining uzluksiz chiqib ketishi reaksiyalarining oksidlanish yo'nalishida kyechishiga imkon beradi. 3-chi reaksiya eng noqulay reaksiyadir, chunki *CO* chok metallida bo'shliqlar paydo bo'lishiga imkon beradi.

K.V. Lyubavskiy va N.M. Novojilov 3-chi reaksiyani o'rganib uglerod yonib ketmasligi uchun, payvandlashni kremniy-marganetsli sim bilan olib borishni taklif etishdi. Shunda 3-si reaksiya bo'lmaydi, hamda sim orqali kiritilgan kremniy va marganets vannadagi kislorodni shlakga olib chiqadi. Bajarilayotgan asosiy talablardan payvand chokida legirlovchi elementlarni miqdori yani *Si* va *Mn* ni 0,5 - 0,7% bo'lishi shart.

Kremniy-marganetsli simning kimyoviy tarkibi

Simning markasi	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
C'B-08ГC	< 0,1	0,7-1,0	1,0-1,3	< 0,2	< 0,3	< 0,03	< 0,04
C'B-08Г2CA	< 0,1	0,7-0,95	1,8-2,1	< 0,2	< 0,3	< 0,03	< 0,035

Sim tarkibida *Si* miqdorini orttirishda 3-reaksiya o'rniga 4- reaksiya ro'y beradi.

Zanglamas po'latlarni karbonat angidrid muhitida payvandlash mumkinmi? Mumkin. Payvand simi markasi-12X18H10T bo'lishi shart, va shu sim orqali kislorodga aktiv elementlarni miqdori ko'proq va karbid hosil qiluvchi elementlar ham bo'lishi shart.

Kompozitli mikrolegirlangan payvandlash simlari.

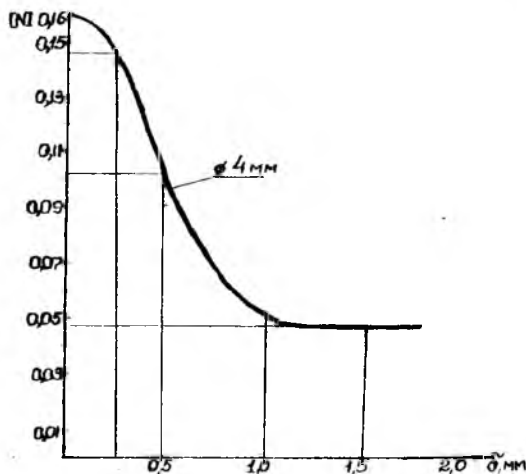
5.2-jadval

Simning markasi	Qutb	Yoy yonishining tavsifi	Tarqoq lik koeff.	Payvand chokining mexanik xossalari			
				σ_B , MPa	ψ , %	δ , %	$\sigma_{K\sigma}$ $\frac{kg}{cm^2}$
СВ-08Г2С	Teska ri	Barqaror tarqoqlik koeff. yuqori	10÷16	585÷590	58÷68	24÷30	96÷155
СВК-09Г2СЦ	Teska ri	Barqaror	3÷6	560-640	60÷68	24-32	140÷160
СВК-14Г2СНЦ	To'g'ri	Barqaror oqimli	1,5÷3	580-650	63÷69	26-33	125-169

5.2. QOPLANGAN ELEKTROD BILAN PAYVANDLASH METALLURGIYASI

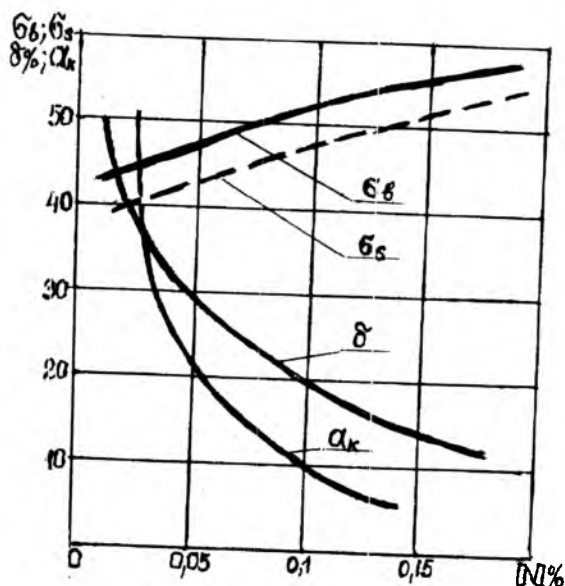
Bu metodni birinchi marta N.G. Slavyanov taklif etdi. U eritib payvandlash vannasiga maydalangan shisha kukunini qo'shishni taklif etdi. Yalang'och sim ustiga qoplama yuritilgan-elektrodlar bilan va metallurgik jarayonlarni tadqiq etishga oid dastlabki tajribalarni frantsuz olimi D. Seferian o'tkazdi. Seferianning birinchi tajribalari quyidagilardan iborat edi. U aynan bir xil diametrli simlar olar va asosan shlak hosil qiluvchilardan, turli qalinlikda surtib chiqaradi, lekin bunda xech qanday achitqisiz (raskislitel) va gaz hosil qiluvchilarsiz eritishni amalga oshirar edi. Keyin surtilgan qoplamaning xar bir qalinligi uchun eritilgan metallda (chokda) azot miqdorini aniqlar edi. U elektrod qoplama qalinligining azot miqdoriga bog'liqligining quyidagi grafigini hosil qiladi.

Azot ba'zi metallarda (*Cu*, *Ni*, kumush *Ag*) amaliy jihatdan erimaydi, shu munosabat bilan u himoya qiluvchi neytral (inert) gaz sifatida qo'llanishi mumkin.



5.3- rasm. Elektrod qoplama qalinligining azot miqdoriga bog'liqligi grafigi.

Marten pechlarida eritiladigan po'latlarda azotni miqdori - 0,005-0,008%.



5.4-rasm. Azot miqdorini metall chokining mexanik hossalarniga ta'siri.

Temirda (temir qotishmalarida) azot eriydi va kimyoviy birikmalar-nitridlarni (Fe_2N va Fe_4N) hosil qiladi. Azot titanda kuchli ravishda eriydi. Alyuminiy va boshqa metallar va po'latlardagi legirlovchi (Cr) qo'shimchalar bilan azot kimyoviy birikma hosil qiladi.

Grafikdan ko'rinishicha (5.5-rasm), elektrodلarni ortiqcha qalin qoplama bilan qoplash kamroq samara beradi. Shuning uchun N_2 miqdorini (0,04-0,05% - bu ko'rsatgich o'n barobar ko'p) kamaytirish zarur. Chok metallidagi erigan azot miqdorini chokni mexanik xossalari ta'siri (5.6-rasm). Qoplamani qalinligi optimal bo'lishi kerak.

Shuning uchun hisoblashlarda (elektrod qoplamalarda) qoplamaning nisbiy og'irligi tushunchasi kiritilgan:

$$G_{\text{nisb}} = \frac{G_{\text{qopl}}}{G_{\text{st}}} \cdot 100\%$$

bunda G_{st} - sterjenning qoplama surtilgan qismi og'irligi;
 G_{qopl} - surtilgan qoplamaning og'irligi.

Bu nisbat payvandlash elektrodlar uchun 20% - 40% chegarasida o'zgarib turadi.

Eritma koeffitsientini unumdorligini oshirish uchun qoplamaga temir kukuni qo'shiladi. Shuning uchun qoplamaning nisbiy og'irligi 100%-200% chegaralarida o'zgarib turadigan elektrodlar mavjud bo'lib, ular katta unumdorlik beradi, ammo ularning texnologikligi yomonlashadi.

D. Seferianning tajribalarini prof. N. Kuzmak takrorladi. U qoplama qalinligining azot miqdoriga bog'liqligi bilan bir vaqtda azotning mexanik xossalari ta'sirini ham bir vaqtda o'lchadi.

5.2-jadval

δ , (mm)	0	0,1	0,5	1,0	1,5
[% N]	0.17	0,16	0.08	0.04	0.038
σ , MPa	275	300	400	420	420
δ , %	3	4	18	<u>28</u>	20,0
$\sigma \cdot 10^{-2}$	10	15	110	<u>140</u>	100

Elektrodlar qoplamasining qalinligi optimal deb hisoblanadi, chunki qoplama qalinligi xaddan ortiq bo'lganda eritilgan metallning mexanik xossalari pasayadi (jadvalda tagiga chizilgan, qiymatlarga qarang).

D. Seferianni tajribalarini shuningdek V.I. Dyatlov va prof. I.I. Frumin takrorladilar.

Tomchilar tirqishdan uchib o'tib, parafinda qolib ketadi: keyin elektrod metall tomchilari parafindan olinib, ularning o'lchamlari, surma qalinligi o'lchanadi. Tomchilar esa kimyoviy tahlil qilishga (N_2 miqdorini aniqlashga) jo'natiladi.

Bu eksperiment ham D. Seferianning tajribalarini tasdiqlaydi.

Keyinroq (50-yillar oxirida) prof. G.L. Petrov quyidagi tajribalarni o'tqazdi: turlicha diametri ochiq (qoplamasiz) elektrodni olib, eritishni amalga oshirdi. Keyin esa sof elektrodning diametriga bog'liq holda azot miqdorini aniqladi.

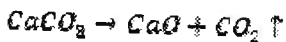
Sof elektrodning o'zi bilan qoplamasiz erishida metallidagi [% N] miqdori

Elektrod (sof) diametri, mm	6	4	2	1
Eritilgan metallidagi [% N] miqdori	0,105	0,13	0,18	0,218

Nima uchun diametri 1 mm simni (elektrodni) eritganda azot miqdori ikki barobar ko'payadi, diametri 6 mm ga nisbatan. Sirtning solishtirma kontakt qarshiligi katta bo'lgani uchun. Juda muhim va qiziqarli tajribalar. Keltirilgan ma'lumotlardan kichik diametrlilik elektrodlar bilan payvandlashda azot kuchliroq erishi ko'rinadi (kuzatilmoqda).

D. Seferianni egri chiziqlarini ko'rib chiqib, qoplama og'irlik koeffitsientini (yoki qoplama qallinligini) ma'lum bir darajada oshirishini uning himoyaviy ta'sirining yanada jiddiy ortishiga olib kelmasligi kelib chiqadi. Bundan tashqari, og'irlik koeffitsienti xaddan ortiq bo'lsa elektrodning qo'llanilishi ularning texnologik xossalari pasayishiga olib keladi. Shuning uchun faqat bitta shlak hosil etuvchi qoplama hisobiga metall chokida azot miqdorini 0,04–0,05% dan kam olish imkoni bo'lmaydi.

Qoplamaning himoyaviy ta'sirini jiddiy yaxshilashga uning tarkibiga elektrodni erish jarayonida katta miqdorda gaz ajratishga qodir gaz hosil qiluvchi komponentlarni kiritish bilan erishiladi. Gaz hosil qiluvchi komponentlar sifatida chit matolar, oziq-ovqat uni, dekstrin, sellulyoza, mramor kiritiladi.



Ajralayotgan CO_2 temir metallini atmosfera havosi ta'siridan himoyalovchi hisoblanadi.

Ochiq (yalang'och) sim bilan payvandlash (1962-63 y.) usuli ixtiro etilgan. Bu simlar Kievda akademik E.O. Paton nomidagi Payvandlash Institutida ishlab chiqilgan. Bunday simlar tarkibida nodir metallar bilan legirlangan bo'lib, hamda kuchli oksidlovchilar (kislorod xaydovchilar) - *Ti*, *Al*, *Zr* va boshqalar kiritiladi, ular

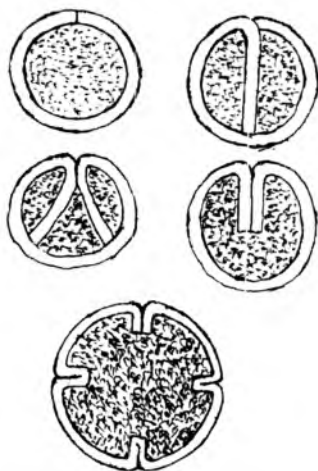
oltingugurt va fosfor bilan birikadi va metallning tuzilishini (strukturasini) maydalaydi. Nodir metallar (strontsiy, lantan, seriy, ittriy) miqdori taxminan 0,14%. Bunday ochiq (yalang'och) legirlangan simlar bilan payvandlashda mexanik xossalar qoplangan elektroddek hosil bo'ladi. Mexanik xossalar. plastiklik, qovushqoqlik, bo'shliklar va issiq yoriqlarning paydo bo'lishiga qarshi mustahkamligi oshadi, chok atrofidagi hududda yoriqlar bo'lmaydi, yoyning yonish barqarorligi ortadi, (tseriy, lantan, ittriy - chiqishishi kam-φ). Po'lat (ochiq elektrod uchun) markasi – 20ГЧЛОТ (tarkibida - 0,14% nodir metallar).

Modifikatorlar - tuzilmani (strukturani) maydalaydi Legirlovchilar fizik-mexanik xossalarni oshirish uchun kiritiladi. Yonishning barqarorligini oshirish uchun ionlovchi moddalar kiritiladi. $\frac{SiO_2}{SiO_2}$ – shisha moduli deyiladi. Eng yaxshi vositalarni $Na_2O \cdot SiO_3$ va $K_2O \cdot SiO_3$ aralashma turli nisbatlarda eng yaxshi xossalarni beradi.

5.4-jadval

Qoplamalar tasnifi

Shlak hosil qiluvchilar (oksidlar)				Gazsimon lar	Legirlov chilar	Kisloroddan tozalovchi	Modifi katorlar	Ionlov chilar	Elimlov chilar	Forma beruvchilar
kis: o tali	asosli	amfot erli	tuzlar							
SiO_2 TiO_2 B_2O_3	FeO MnO MgO CaO	Al_2O_3 Cr_2O_3	CaF_2	Torf Krax mal Tsell- yuloza va unlar	Cu Ni Cr V Nb Mn	Mn Si Al Ti Zr	Al Ti Zr Nb	Na_2O K_2O Ba_2O	Silikat kleyi $K_2O \cdot SiO_2$ $Na_2O \cdot SiO_2$ dekstrin	Kaolin benton it



5.5-rasm. Payvandlash va eritib qoplash uchun kukunli simlar.

5.5-jadval

Oksidlarning fizik xossalari

Modda	Zichligi g/sm ³	Erish temperaturasi, T _{er} °C
<i>SiO₂</i>	2,9	1710
<i>TiO₂</i>	3,0	1560
<i>FeO</i>	5,9	1370
<i>MnO</i>	5,0	1600
<i>MgO</i>	3,2	2800
<i>CaO</i>	3,4	2570
<i>Al₂O₃</i>	4,0	2050
<i>Cr₂O₃</i>	5,0	1980
<i>CaF₂</i>	3,16	1375

Elektrod qoplamalariga zarur talablar qo'yiladi:

- payvand yoyining barqaror yonishi;
- metall elektrodini-tomchilarini sachramasdan tekis ko'chirish;
- chok materialini kesiklarsiz, oqovalarsiz va kerakli profilda bo'lishini uchun metallni yaxshilab ho'llash;
- erigan metallda zich choklar, yoriqsiz va g'ovaksiz;

- hosil bo'ladigan shlak eritilgan valikdan (qotgan valikdan) oson ajralishi kerak;

- kimyoviy, mexanik xossalari. shuningdek kimyoviy-fizik xossalari davlat standartining texnik talablarini qoniqtirishi kerak;

- qoplamalar odam uchun zararli gazlarni ajratmasligi kerak. (TQM-7 elektrod qoplamalari – zararli, payvandlashda bu elektrodlar marganets bug'larini ajratib, kasallikni chaqiradi). YOHI-13/55 qoplamani ftorli birikmalarni ajratadi, ular tish qobiqlariga zararli ta'sir ko'rsatadi. YOHI 13/55 qoplamasi o'zgarmas tokda payvandlashda juda yaxshi sifatga erishiga imkon beradi. Elektrod qoplamalari tarkibiga ko'ra davlat standarti bo'yicha tasniflash mumkin: **I-Kislotaliy** (qoplama tarkibiga asosan Mn, Fe, Si ning oksidlari; OMM-5, TQM-7, YHI-1, ME3-04 kiradi; gaz himoyasi elektrodning erishi jarayonida ajraluvchi organik komponentlar bilan vujudga keladi).

II. Ftorli-kaltsiyli turdagi (asosli) qoplamalar temir va marganesning oksidlariga ega emas. Ularning asosi kalsiy-karbonati (marmar) va eruvchan shpat (flyuorit) hisoblanadi.

Gaz himoyasi qoplamani erish jarayonida kaltsiy karbonatini dissotsiatsiyalash natijasida yaratiladi. Kislorod haydovchilar (raskislitel) sifatida qoplama ferrosilitsiy, ferromarganetsni o'z ichiga olishi mumkin, bunday turdagi elektrodلarga - YOHI 13/45, QY-1, QY-7, QY-9 kiradi.

III. Rutil qoplamali Dala shpati, magneziiy va boshqa shlak hosil qiluvchi komponentlarni qo'shish bilan asosan rutilda (TiO_2) da yasalgan rutil turdagi qoplamalar. Bu turdagi qoplamalar amalda temir oksidini o'z ichiga olmaydi. Gaz himoyasini yaratish uchun qoplamalarga organik moddalar (sellyuloza, dekstrin) va karbonatlar kiritiladi, kislorod haydovchi (raskislitel) uchun esa ferro-marganets, ferro-kremniy, ferro-titan kiritiladi.

Misol: AHO-4, AHO-5, MP-3.

IV. Organik qoplamalarga 50% gacha gazsimon moddalar (oziqa uni, selluloza). BCY-2; OMA-2; BCL-1 markalash - xar bir turdagi elektrodلarga xarflar biriktirilgan: rutilalarga – «T», ftorli-kaltsiyli-

«Φ», kon oksidlilarga – «P». organiklarga - «O». Yangi standart bo'yicha qoplama turi: A - kislotali. Б - asosli. Ц - sellyulozali, P - rutilli.

5.6-javab

Ayrim elektrod qoplamalari tarkibi

Qoplama turi	Krem nezem	Kon (rudalar)	Karbon atlar	Ferroqotishmalar	Temir kukuni	Organik modda	Qopl. nisbiy og'irligi
Kon-oksidi	25-35	30-35	0-15	20-30	-	0-5	10-30
Rutilli	5-10	$\frac{30+50}{TiO_2}$	15-25	10-25	-	2-8	30-50
Ftorli-kaltsiyli	5-20	$\frac{30+50}{CaF_2}$	30-50	20	10-30	-	30-50
Organik	5-10	$\frac{15+30}{TiO_2}$	0-5	10-20	0-10	40-50	10-15
Yuqori unumdorli elektr	5-10	10-15	5-10	6-10	30-60	0-3	100

5.3. PAYVAND SHLAKLARINING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Payvandlash flyuslari yoki elektrod qoplamalarini eritishda hosil bo'ladigan payvand shlaklari, shuningdek oksidlash tiklash reaksiyalari natijasida CO_2 da payvandlashda ularni odatdagi metallurgik shlaklardan (po'lat eritish jarayonida) farq qiluvchi bir qator o'ziga xos xossalarga ega bo'lishi kerak.

Payvand shlaklariga qo'yiladigan asosiy talablar shundan iboratki, ular payvand choki metallning ma'lum tarkibdagi va xossaga ega bo'lishni ta'minlashi kerak.

Ikkinchi talab payvandlashning texnologik jarayonini ta'minlash yoy razryadining barqarorligi, chokning yaxshi shakllanishi va shlak qobig'ining oson ajralishi hisoblanadi.

Fizik xossalari:

1. Qoplamalarning solishtirma og'irligi;
2. Qoplamaning erish temperaturasi;
3. Shlakning qovushqoqligi.

Shlakning solishtirma og'irligi komponentlarning solishtirma og'irligiga va uning miqdoriga bog'liq.

A, B - komponentlar

a, b - komponentlar miqdori

γ_A, γ_B - solishtirma og'irlik

Shlak qalqib chiqishi uchun shlakning solishtirma og'irligi payvandlanayotgan metallning solishtirma og'irligidan kamroq bo'lishi maqsadga muvofiq. Aks holda payvand chokida shlaklar-nuqsonlar bo'lishi mumkin.

Erish temperaturasi. Shlaklar shishasimon moddalardan iborat va doimiy erish temperaturasiga ega emas, erish esa asta-sekin ikki temperatura kiritirilishi bilan amalga oshiriladi: 1 - yumshatish temperaturasi; 2 - eritish temperaturasi;

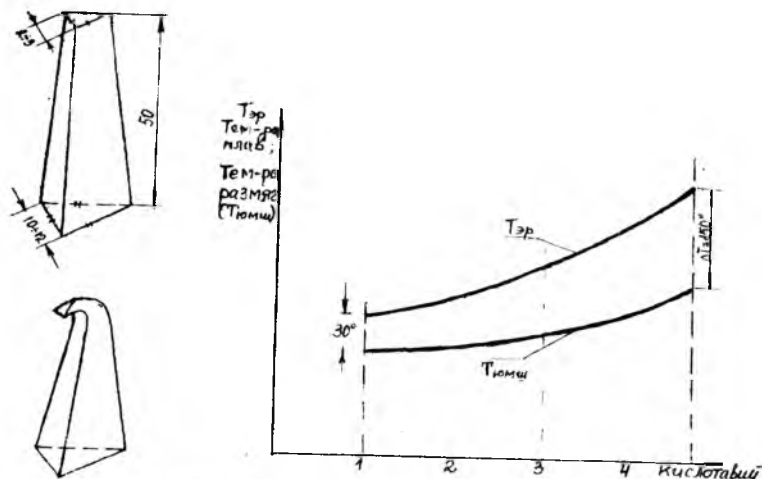
Ular orasidagi farq shlakning temperatura intervali deyiladi. Qisqa va uzun shlaklar farq qilinadi.

Qisqa-kichik intervalga ega bo'lgan shlaklar (suyuq holat intervali qisqa).

Shlakning (kislotnost) kislotalikligi

$$\frac{\sum c \cdot \text{SiO} \cdot \text{TiO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3}{\sum c \cdot \text{FeO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{CuO}}$$

Shlakning asosiyli - kislotalikligi teskari kattalik.



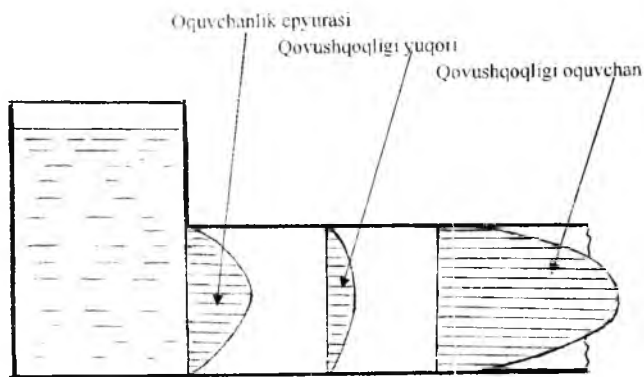
5.6-rasm. Shlaklarning temperatura intervaliga bog'liqligi.

Vertikal va shipdagi choklarni payvandlash uchun qisqa shlaklarga ega bo'lish kerak. Yumshashtirish va eritish temperaturasi Zeger metodi yoki konusi bilan aniqlanadi.

Bunday konus qoplamadan tayyorlanadi, olovga bardosh taglikga (podkladka) qo'yiladi va pechga joylanadi. Keyin temperatura asta-sekin ko'tariladi.

Konus yumshay bohlaydi va uchi bukiladi va shu harorat yumshash harorati bo'ladi. Yana isitishni davom ettiramiz va konus to'liq eriganda, u holda bu temperatura erish temperaturasi bo'ladi.

Yumshash harorati va erish harorati aniqlamasa ham bo'ladi. qovushqoqlikni aniqlash yetarli, qovushqoqlikka teskari bo'lgan kattalikni oquvchanlik deyiladi.



5.7-rasm. Shlaklarning oquvchanlik tezligini epyurasi.

$$\eta = P/F \cdot \frac{d^2v}{dx^2}$$

$\frac{d^2v}{dx^2}$ – tezlik gradienti:

F – kesim yuzi:

η – qovushqoqlik koeffitsienti:

P – kuch.

Suyuqlikning bir qatlami harakatlanishining boshqa qatlamiga nisbatan qarshiligi – qovushqoqlik. 1 puaz = $1 \frac{\text{P}}{\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^2}$ yoki qisqachasantipuaz deyiladi. Po'lat uchun shlakning temperaturasi 1100-1400 °C bo'lishi, ya'ni kristallanish haroratidan kichik bo'lishi kerak.

Qovushqoqlik puazlarda o'lchanadi- $\frac{\text{dyn} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2}$

Suv 20,5 °C da dists $\eta = 0,017$ puaz

Po'lat T_{er} 1600 °C $\eta = 0,025$ puaz

Cho'yan T_{er} 1400 °C da $\eta = 0,012$ puaz

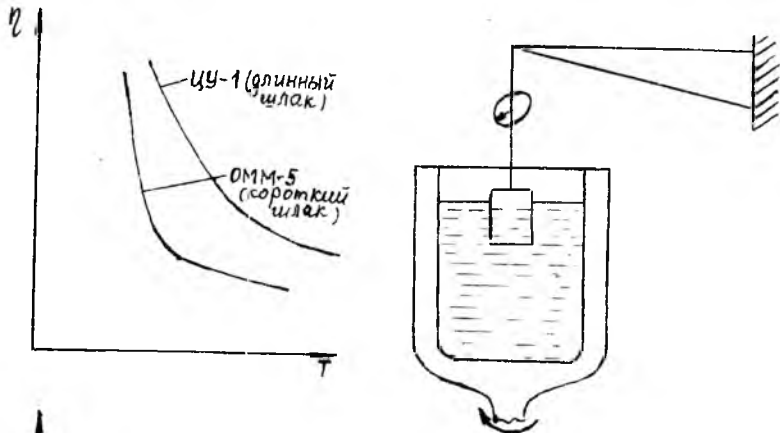
Glitserin normal harorat $\eta = 7 \div 8$ puaz

Oquvchan shlaklar $\eta = 5 \div 10$ puaz

Quyuyq shlaklar $\eta = 15 \div 20$ puaz

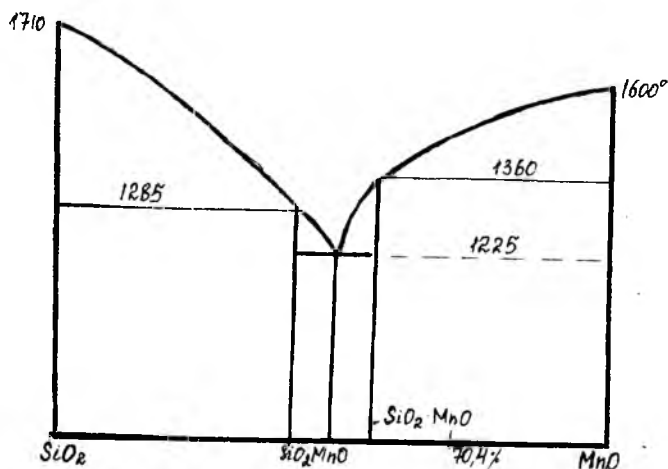
Oqmaydigan shlaklar $\eta > 20$ puaz

Qovushqoqlikni aniqlash. Shlaklar uchun qovushqoqlik Morgulius metodi bilan aniqlanadi.



5.8-rasm. Shlaklarning qovushqoqligini Morgulius metodi bilan aniqlash.

Qovushoqlik qancha katta bo'lsa, tor shuncha kuchliroq buraladi. Erigan shlakda yuqoridan silindrlilik bog'langan ip seziladi. Silindirning suyuqlik bilan strelka bo'yicha buralganlik burchagi va qovuhsqoqlik koeffitsienti aniqlanadi.



5.9-rasm. SiO_2 - MnO ko'p qo'llaniladigan shlaklarni tanlash diagrammasi.

Uning haroratga bog'likligi

ЦУ-1 (uzun shlak) Ftorli-kaltsiyli qoplamalar. ОММ-5 (qisqa shlak) kon - oksidli.

SiO_2 - MnO - bu tizim shlaklarni tanlahda tez-tez qo'llaniladi.

Bu diagramma bo'yicha ikki karrali shlaklar tanlab olinadi, uch karralilari ham bo'ladi. CaF_2 -shlakni kuchli suyuqlantiradi.

5.4. AKTIV OKSIDLARNING O'ZARO MUNOSABATLARI NAZARIYASI

Shlaklar kimyoviy xossalariga ko'ra aktiv va passiv shlaklarga bo'linadi. Oksidning aktivligi reaksiyada faol ishtirok etuvchi oksidning ulushini ko'rsatadi. Aktiv oksidlarga – SiO_2 ; MnO ; FeO ; CaO ; Na_2O ; K_2O kiradi. Agar bu oksidlar shlakda mavjud bo'lsa, u holda ular payvand vannasining suyuq metalli bilan albatta ta'sirlanadi, miss uchun aktiv SiO_2 passiv oksid hisoblanadi.



1. $(MnO) + [Fe] = [Mn] + (FeO)$
2. $(SiO_2) + 2[Fe] = [Si] + 2(FeO)$
3. $[C] + [FeO] = [Fe] + CO_2 \uparrow$
4. $(FeO) = [FeO]$ bu reaksiya uchun muvozanat konstantasini yozamiz:

$$K^{SV} = \frac{[FeO]}{(FeO)}, \text{ bundan } [FeO] = K^{SV} * (FeO).$$

Bu reaksiyalar muvozanat bo'lmaguncha yuz beradi.

Bu reaksiyadan shlakda temir oksidi qancha ko'p bo'lsa, metallda temir oksidi shuncha ko'p bo'lishi ko'rinadi, bu esa maqsadga muvofiq emas.

(1) reaksiyaning muvozanat konstantasini yozamiz:

$$(2) \quad K' = \frac{[Mn] \cdot (FeO)^2}{(SiO_2)^2}, \quad [Mn] = K' * \frac{(Mn)}{(FeO)^2}$$

Bu reaksiyadan ko'rinadiki, Mn oksidi qancha ko'p bo'lsa va shlakda temir oksidi qanchalik kam bo'lsa, u holda payvand choki

metallida Mn shunchalik ko'p bo'ladiki. 2 va 3 reaksiyalar uchun muvozanat konstantalarini yozamiz:

$$K' = \frac{[Si] \cdot (FeO)^2}{(SiO_2)}; [Si] = K' \cdot \frac{(SiO_2)}{(FeO)^2}.$$

Bu reaksiyadan ham ko'rinadiki, kremniy oksidi qancha ko'p bo'lsa va shlakda temir oksidi qanchalik kam bo'lsa, u holda payvand choki metallida Si shunchalik ko'p bo'ladi.

SiO_2 , MnO , FeO oksidlar eritmada joylashgan deb yuqorida aytgan edik. Agar ular eritmada bo'lsa, u holda bir biri bilan o'zaro ta'sirlashuvga kirishishlari mumkin:

$(SiO_2) + (FeO) = (SiO_2 \cdot FeO)$ - temir silikati;

$(SiO_2) + (MnO) = (SiO_2 \cdot MnO)$ - manganets silikati;

$(TiO_2) + (FeO) = (TiO_2 \cdot FeO)$ - temir titati.

5.7-jadval

Silikatlar	$Na_2O \cdot SiO_2$	$2CaO \cdot SiO_2$	$MnO \cdot SiO_2$	$FeO \cdot SiO_2$
$\Delta H \left(\frac{KCal}{Mol} \right)$	$-286 \left(\frac{KCal}{Mol} \right)$	$-144 \left(\frac{KCal}{Mol} \right)$	$-63 \left(\frac{KCal}{Mol} \right)$	$-47 \left(\frac{KCal}{Mol} \right)$

Bu reaksiyalar ekzotermik; u holda temperatura oshirilganda albatta silikatlar parchalanadi (yemiriladilar).

$$K = \frac{(FeO \cdot SiO_2)}{(SiO_2) \cdot (FeO)}; (FeO \cdot SiO_2) \approx (SiO_2) + (FeO)$$

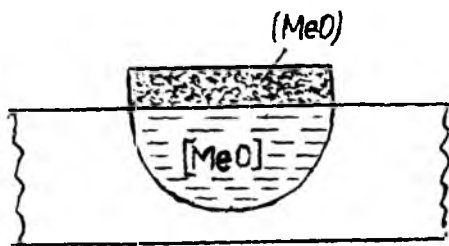
Emirilishda hosil bo'ladigan oksidlar miqdori **erkin oksidlar** deb ataladi.

Moddada bo'lgan (qolgan) oksidlar miqdori **bog'langan oksidlar** deyiladi. Kimyoviy metallar bilan faqat erkin oksidlar o'zaro ta'sirlashadi. Temir silikatini olamiz $FeO \cdot SiO_2$ va unga harorat qanday ta'sir ko'rsatadi.

8-jadval

Temperatura	0 °C	1500 °C $T_{er m}$	2000 °C vannaning o'rtacha harorati	2500 °C tomchi harorati
$(FeO \cdot SiO_2)$	100	76	68	16
(SiO_2)	0	7	9,0	24
(FeO)	0	17	23	60

Harorat ortganda shlakdagi erkin oksidlar miqdori ortadi. Quyidagi tajriba amalga oshiriladi.



5.9-rasm. Diffuzion kislorodni yo'qotuvchiligini haroratga bog'liqligi

Elektrod uchidan ajralgan tomchini tahlil qilishadi.

Barcha asosiy reaksiyalarning 80% bo'lib o'tgani (yana elektrod uchida tomchi hosil bo'layotgan davri va yoy oralig'ida oqib o'tayotganda); 20% reaksiyalar suyuq payvand vannasida bo'lib o'tar ekan.

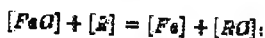
Payvand choki metallida gazlar miqdori beradigan elektrod turlari

5 9-jadvali.

Qoplama turlari	[%O]	[%N]	$[H_2] \frac{cm^3}{100g}$
Quruq (ochiq) elektrod	0,2÷0,3	0,15÷0,2	1,5÷2,0
Kislotaviy "A"	0,1÷0,12	0,015÷0,025	15
Rutilli "P"	0,08÷0,09	0,015÷0,025	2,5 gacha
Asosli "B"	0,03÷0,05	0,01÷0,02	4 gacha
Tselyullozaviy "L"	0,02÷0,03	0,02÷0,03	50 gacha

5.5. KISLORODNI ERIGAN METALLDAN CHIQUARISH (QAYTARISH) NAZARIYASI

Kislorodga katta yaqinlikka ega bo'lgan elementlar metallidagi kislorodni olib qo'yadigan jarayonga kislorodni yo'qotish deyiladi (suyuq payvand vannasidan). Jarayonni sxematik tarzda quyidagicha ifodalaymiz:



$$K = \frac{(RO)}{[FeO] \cdot [R]}; [FeO] = \frac{1}{K} \cdot \frac{(RO)}{[R]}$$

Metalldagi kislorod miqdori kislorod qaytaruvchi oksidi qancha kam bo'lsa shuncha kam bo'ladi. $\frac{1}{K}$ kislorod qaytaruvchining kislorodga yaqinligini hisobga oladi; ΔH - kislorod qaytaruvchining qobiliyatini tavsiflaydi.

Turli xil kislorod yo'qotuvchilar uchun ma'lumotlar

5.10-jadval

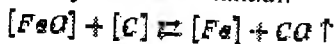
R kislorod qaytaruvchi	Cr	Mn	V	Si	Ti	Zr	Al	Mg	Ca
$\Delta H(\frac{RO}{meta})$	-106,7	-115	-142	-161	-210	-285	-286	-336	-365

Eng noaktiv kislorod qaytaruvchi - Cr hisoblanadi. Odatdagi po'latlarda u kislorod qaytaruvchi bo'lmaydi. Mg va Ca oson bug'lanadi; payvand choki metalliga tushirish (kiritish) juda qiyin.

Zr - juda qimmatbaho metall, shuning uchun kislorodni xaydashda (qaytaruvchi sifatida) juda kam qo'llaniladi. Al - kuchli kislorod qaytaruvchi, lekin u kuchli (tez) oksidlanadi va erishi qiyin Al_2O_3 (oksid) asosiy metallni ifloslantiradi. Shuning uchun ko'pincha kislorod qaytaruvchi sifatida Si, Mn, Ti dan foydalaniladi.

Kislorodni haydash (qaytarish) turlari

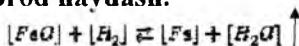
Reaktsiyalarni gazsimon mahsulotlarini olib achitish (kislorodni xaydash). Bu turdagi eng ko'p o'ziga xos xususiyatga ega reaksiya uglerod bilan kislorodni haydash hisoblanadi:



Erigan temirda CO ning eruvchanligi juda kam; amaliy jihatdan uni erimaydigan deb hisoblash mumkin. Buning natijasida CO payvand vannasidan chiqib ketishiga intiluvchi puffakchalar ko'rinishida ajraladi.

Yuqori temperaturalarda uglerodning kislorod haydovchi sifatidagi taʼsirining aktivligi juda yuqori boʻladi, temperatura pasayganda uglerodning kislorod haydovchi qobiliyati pasayadi.

Vodorod bilan kislorod haydash.



Vodorodning kislorod haydovchi sifatidagi kamchiligi uning metallarda yuqori darajada eruvchanligi hisoblanadi, bu esa boʻshliq va yoriqlar (sovuq darzlar) hosil boʻlishiga olib kelishi mumkin. Payvand birikmalarining xossalariga miss va qotishmalarini payvandlashda vodorod bilan kislorodni xaydash ham ayniqsa kuchli taʼsir koʻrsatadi.

Metallni reaksiyaning kondensatsiyalangan mahsulotlarini beruvchi kislorod haydovchi bilan kislorod haydash darajasi bir qator omillarga bogʻliq boʻladi. Kislorodni qaytarish darajasi quyidagilarga bogʻliq:

- a) materialdagi kislorod qaytaruvchi konsentratsiyasiga;
- b) aktiv kislorodga oksidlash miqdori (RO)ga;

Materialda, binobarin shlakda ham RO miqdorining ortishi, R kislorod haydovchi taʼsirini susaytiradi.

Masalan, temir asosdagi qotishmalarni payvandlashda payvand vannasining achishi Mn, Si, Ti va Al bilan amalga oshiriladi. Bu elementlarning oksidlari yuqori erish temperaturasiga ega, taxminan 1650° dan 2050 °C gacha. Payvand vannada hosil boʻladigan oksidlar qattiq yoki erigan holda boʻladi.

Payvand vannasi hajmining eng katta qismida bu oksidlar qattiq holatda uchraydi. Asosan bu metall eritmasidagi mayda, dispers qattiq zarrachalardir.

Kislorod qaytaruvchi elementlarning vazifasi metallda erigan kislorodni faqat bogʻlashgina emas, balki metalldagi oksidlarni shlakka yoʻqotish hamdir. Payvand vannasida kristallanish davrida qiyin eruvchi, kam koagulyatsiyalanuvchi oksidlarni beruvchi, dispers holatda qoluvchi shlaklar va kislorod qaytaruvchilar qoʻllanishi maqsadga muvofiq emas.

Mn	Si	Ti	Al
$T_{er}=1244\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{er}=1440\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{er}=1750\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{er}=658\text{ }^{\circ}\text{C}$
$\gamma=7,46\text{ g/sm}^3$	$\gamma=2,37\text{ g/sm}^3$	$\gamma=4,54\text{ g/sm}^3$	$\gamma=2,7\text{ g/sm}^3$
MnO-metallda erimaydi	SiO ₂ -metallda erimaydi	TiO ₂ -metallda erimaydi	Al ₂ O ₃ -metallda erimaydi

Diffuzion kislorod kaytaruvchi usuli

Kislorod haydashning bu turi temir kislorod qaytaruvchi suyuq materialdan shlakka qisman o'tishiga asoslangan, chunki uni bu ikki faza orasida taqsimlash Nernst taqsimlash qonuniga bo'ysunadi, ya'ni

$\frac{[FeO]}{[Fe]} = L$, bunda L-taqsimlash konstantasi bo'lib, FeO ning metall dan

shlakka o'tish darajasini belgilaydi. Achitishning bu turini rivojlantirish uchun shlakdagi erkin temir oksidini konsentratsiyasi kamayib borishi muximdir; shunda temirning yangi oksid portsiyalari metall dan shlakka o'tadi.

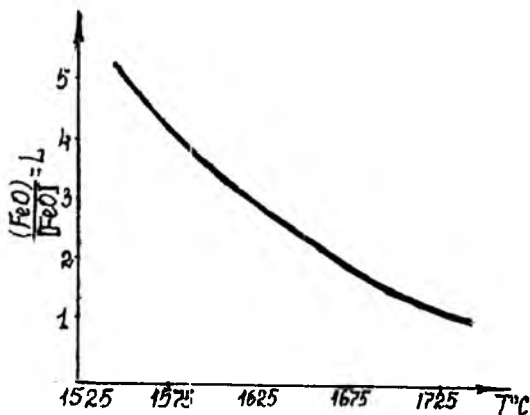
Shlakka temirning erkin oksidi kamayishiga quyidagi yo'llar bilan erishiladi.

1. Temirning erkin oksidini kislotali oksidlar birikmasi kompleksiga bog'lash bilan (silikatlar hosil qilish bilan).

2. Shlaklarni kimyoviy jihatdan neytral bo'lgan qo'shimchalar bilan aralashtirish.

Temperatura ortishi bilan L kamayadi. Buning ma'nosi - yuqori temperaturalarda temir oksidi past temperaturalardagiga qaraganda kamroq miqdorda metall dan shlakka o'tishi mumkin. Kislorod qaytaruvchilarning bunday ko'rinishida FeO ni metall dan shlakka o'tqazish shlak-metall chegarasida diffuziya yo'li bilan yuz beradi.

Diffuzion kislorod qaytaruvchi jarayoni elektrodda tomchi paydo bo'lishida va uni ko'chirishda eng ko'p sezilarlidir, chunki bunga ancha yuqori temperatura, tomchi metallini jadal aralashtirilishi va kontakt sirtining kattaligi imkon beradi.



5.11-rasm. Diffuzion kislorodni yo'qotuvchiligini haroratga bog'liqligi.

Metallni kislotaviy shlaklar yordamida kisloroddan tozalash

Kislotaviy shlaklar bilan FeO ni metallda erimaydigan temir silikatlariga bog'lash reaksiyasi kuzatiladi:



$$K = \frac{(\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2)}{(\text{FeO}) \cdot (\text{SiO}_2)} \quad (2)$$

FeO ni silikatlarga bog'lash temir oksidining metalldan shlakka qo'shimcha o'tishini vujudga keltiradi. $\frac{(\text{FeO})}{[\text{FeO}]} = L$

$$(\text{FeO}) = L \cdot [\text{FeO}] \quad (3)$$

3 tenglamani 2 tenglamaga qo'yamiz:

$$K = \frac{(\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2)}{L[\text{FeO}] \cdot (\text{SiO}_2)}; [\text{FeO}] = \frac{(\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2)}{(\text{SiO}_2)} \cdot K'$$

Shunday qilib, metallda FeO ni kamaytirish uchun kislotaviy shlaklardan foydalanishda shlakda (SiO_2) kislotaviy oksid miqdorini o'ttirish lozim, ya'ni shlakning oksidlanishini oshirish va shu bilan bir vaqtda shlakda hosil bo'ladigan temir silikatlari miqdorini kamaytirish lozim.

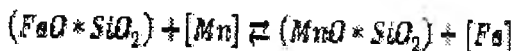
Ammo shlakda SiO_2 miqdorining oshishi shlakning fizik, demak texnologik xossalarining ancha yomonlashishiga olib keladi, shlak

uzun, quyuq bo'lib qoladi, uning aktivligi keskin pasayadi. payvandlash jarayonining barqarorligi ham buziladi.

Shuning uchun shlaklarning yuqori kislotaviy qobiliyatini saqlab qolish uchun:

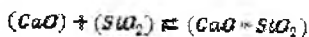
1. SiO_2 ni qisman yoki to'liq TiO_2 (titan ikki oksidi) bilan almashtirish; bu yo'l bilan shlakning kerakli oksidlash darajasini saqlab qolish, uni yanada suyuq oquvchan va qisqa qilish mumkin bo'ladi;

2. Bunday shlaklarga yo'l-yo'lakay asosiy oksidlarni beruvchi kislorod qaytaruvchi elementlar kiritish maqsadga muvofiq. Ularning roli temirni silikatlardan tiklashga va shlakda ($\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) miqdorini kamaytirishiga keltiriladi.



Asosiy shlaklar yordamida metallni kisloroddan tozalash

Asosiy shlaklarda, kislotaviy shlaklardan farqli ravishda asosiy oksidlar mavjud bo'lib, ulardan eng kuchlisi CaO hisoblanadi. Shuning uchun bunday shlaklar diffuzion kislorod qaytaruvchi qobiliyatiga ega bo'lmaydilar, chunki ularda juda kam miqdorda mavjud bo'lgan SiO_2 (yoki TiO_2) shlakning asosiy oksidlari bilan kompleks birikmaga bog'lanadilar



ya'ni va shlak metallidan FeO ni ajratib olmaydi. Metallni achitish va unda foydali legirlovchi elementlarni saqlab qolish uchun asosiy shlaklarga maxsus qo'shimchalar-aktiv elementlar (kislorodga aktiv elementlar) qo'shiladi.

Aktiv elementlar o'zlarini metallning odatdagicha kislorod qaytaruvchidek tutishadi, mahsulotlari esa shlakka o'tadi.



5.6. CHOK METALLINI LEGIRLASH

Legirlash metallga legirlovchi elementlarni kiritish jarayoni bo'lib, bu elementlar chok metallga maxsus xossalar beradi. Payvandlash vannasida u yoki bu elementning holatini baholash uchun uning **oksidi dissotsiatsiya elastikligi** qiymati bo'yicha aniqlanadigan kislorodga yaqinligini bilish zarur.

Ayrim elementlarni kislorodga o'sib boruvchi yaqinlik bo'yicha quyidagi qatorga joylashtirish mumkin (1600 °C temperaturagacha):

Cu, Ni, Co, Fe, W, Mo, Cr, Mn, N, Si, Ti, Zr, Al...Ca

Bu qatorda temirdan chap tomonda joylashgan elementlar payvand vannasining legirlovchi elementlari sifatida amalda to'la o'zlashtirib olinadi. SHuning uchun oksidlovchi sharoitlar mavjud bo'lganda payvand vannasida masalan, Al va Ti kabi elementlar bilan legirlash qiyin.

Payvandlash vannasida etarlicha to'la o'zlashtirilgan elementlar kislotalovchi (achituvchi) sharoitlarni iloji boricha kamaytirilganda (Ar da, vakuumda payvandlash) oson oksidlanadi.

Legirlangan qo'shimchanning o'tish koeffitsienti-chok metalliga o'tgan bitta legirlangan qo'shimchanning uning legirlovchi elementining metallga kiritayotgan umumiy miqdoriga nisbati.

5.12-jadval

Legirlovchi elementlar	Cu	Ni	Co	W	Mo	Cr	V	Mn	Si	Ti
η turli po'latlar uchun turlicha: elektrod qoplamadan o'tish koef.	0,95	0,95	0,95	0,93	0,93	0,75	0,7	0,5	0,4	0,2
η sim orqali		0,95	anchagina yuqori		0,97	0,8		0,62		

1. O'tkazuvchi elektr sim hisobiga legirlash barqaror natijalar olish nuqtai nazaridan (chok tarkibining o'zgarmasligi) ishonchli metodlardan biridir.

Bunda legirlovchi qo'shimchalar yoki o'tqazish materiali sterjeni metallida bo'lishi yoki o'zaqda (serdechnik) mavjud bo'lgan kukun ko'rinishida kiritiladi.

2. Elektrod qoplamasiga yoki flyusga kukunsimon metall qo'shimchalarining kiritilishi sifatli elektrodlar bilan payvandlashda legirlashning eng keng tarqalgan usulidir.

3. Metallarni oksidlaridan tiklash. Bu usul kislorodga temirga nisbatan kamroq yaqinligi bo'lgan elementlar (Cu, Ni) uchun foydalanish eng oson.

5.7. PAYVANDLANAYOTGAN CHOKLAR METALLARINI MODIFIKATSIYASI (Birlamchi tuzilmasini maydalash)

Modifikatsiya deb ishlov berishning metallurgik usuliga aytilib, bu usulda chokning birlamchi tuzilmasini maydalashga erishiladi.

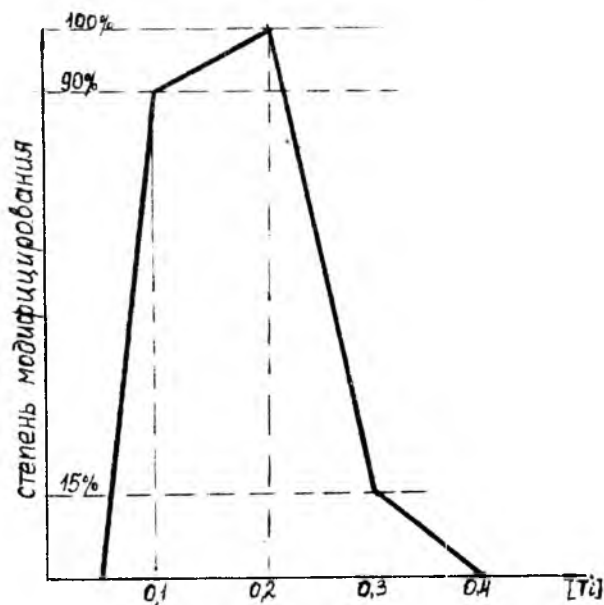
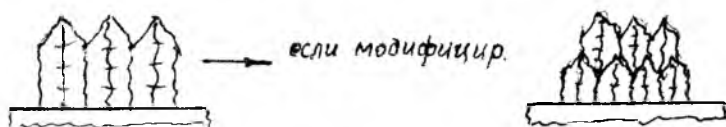
Maydalanganlarni hosil qilish chok metallining birlamchi tuzilmasi mo'ljalini buzib, mexanik xossalarning oshishiga imkon beradi, chok metallni anizotropiyasini minimumga keltiradi, shuningdek chok metallida issiq darzlar hosil bo'lish qarshiligini oshiradi.

Zamonaviy qarashlarga muvofiq modifikatsiyalash jarayoni quyidagi hollarda o'rinni oladi:

1. Suyuq metallda qo'shimchalar (inokulyator) ning mayda zarrachalari bo'lib, ular sovitilganda kristallarning qo'shimcha markazlari bo'lib qoladi, buning natijasida kichik o'lchamdagi juda ko'p miqdorda kristallar hosil bo'ladi. Ti, V, Al va boshqa elementlar aktiv modifikator bo'lib xizmat qiladi.

2. Qorishmaga sirtqi aktiv aralashmaning uncha katta bo'lmagan miqdori qo'shilib, ular kristallanish jarayonida ularning ustiga

qarshilik ko'rsatib, adsorbtsiyalanadi. Mg, Ca, Na, K - modifikatorlar bo'lib ular sirt tarangligini kamaytiradi.



5.12-rasm. Modifikator miqdorining modifikatsiya samaradorligiga ta'siri.

Modifikatsiya samaradorligiga nima ta'sir ko'rsatadi:

- 1) modda modifikatsiyasi miqdori;
- 2) payvand vannasining o'ta qizishi;

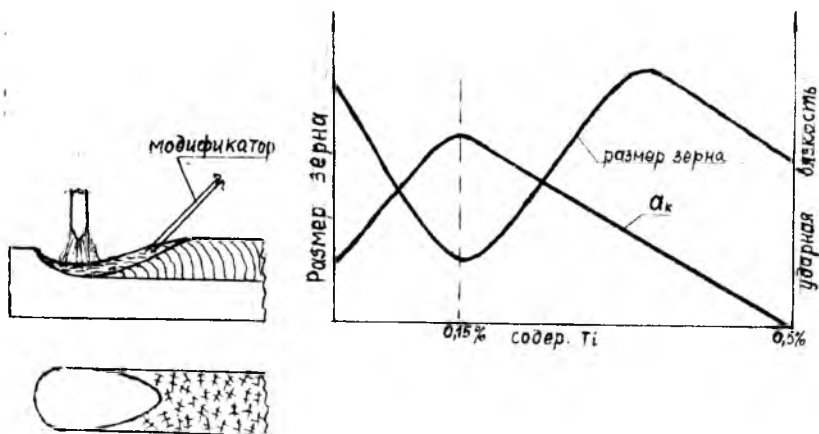
misol. Modda modifikatori miqdorining ta'siri. (zanglamaydigan po'lat modifikatsiyasi tajribalari. Xrenov-Kushnarev)

Modifikatsiya juda murakkab jarayon. Grafikdan ko'rinishicha, modifikatsiya juda tor orliqda va oz miqdorda yuz beradi.

Ko'pchilik tadqiqotchilarning ishlari bilan o'ta qizishning modifikatsiya jarayoniga salbiy ta'siri aniqlangan.

Masalan, Teraf sof aliminiyni modifikatsiyalash jarayonini zarur miqdordagi Ti ni qo'shish yo'li bilan agar harorat likvidus chizig'ini 70-90 °C dan ortiq bo'lmagan holda modifikatsiya effekti ravshan ifodalanishini aniqladi.

Modifikatorlarni elektrod sim orqli kiritganda choklar modifikatsiyasining bo'lmashligini extimol o'ta qizishning salbiy ta'siri bilan izohlash mumkin. (Movchan B.A.)



5.13-rasm. Modifikator miqdorining metall chokining mexanik xossalari ga ta'siri

Elektrod metalli tomchilari o'tadigan yoy oraliq'ining yuqori temperaturasi, shuningdek simdan modifikator tushadigan payvand moddasi markaziy qismining yuqori temperaturasi o'ta qizish va dezaktivatsiya uchun sharoit yaratadi.

Modifikatorlarning eng yaxshi xossalari ular flyus (eritib olingan yoki eritmasdan keramik) orqali kiritilganda yoki suyuq payvand vannaga bevosita kiritilganda namoyon bo'ladi.

Modifikatorlar elementlarini flyus orqali kiritishda shuni hisobga olish zarurki bunda modifikatorlarning ijobiy ta'siriga faqat ma'lum bir, odatda ularning kichik miqdorida eritiladi.

Masalan, Ti va Al miqdorining chok metallida optimal miqdordan oshirish ko'pincha teskari effektni asosiy qovushqoqlikning keskin

pasayishini va birlamchi strukturasi yiriklashuvini vujudga keltiradi (K.K. Xrenov - Yu.A. Yuzvenko).

5.8. KRISTALLANISH TO'G'IRISIDA ASOSIY NAZARIY MA'LUMOTLAR

Metall qotish jarayonida kristallar hosil bo'lish jarayoni kristallanish deyiladi. Kristallanish jarayoni ikki bosqichdan iborat:

1. Kristall kurtaklarining yokikristallanish markazlarining hosil bo'lishi.

2. Keyingi o'sishi (bu markazlardan kristallarnging o'sish jarayoni).

Shuning uchun kristallanish jarayoning kinetikasi ikki kattalik bilan tavsiflanadi: kurtaklar (kristallanish markazlari) ning hosil bo'lishi tezligi va kristallarning o'sish tezligi. Eritmadan kristallarning ajralishi uchun zarur shart o'ta to'yinish va o'ta sovushning mavjudligidir.

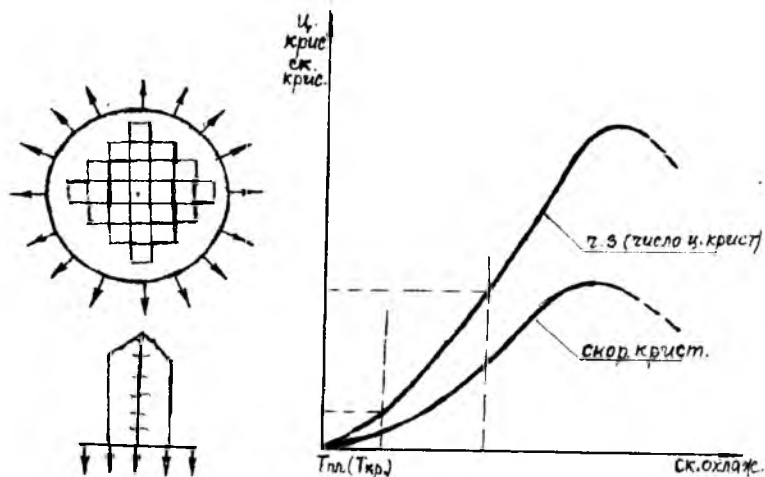
Metallning tuzilmasiga kristallanish markazi ta'sir ko'rsatadi. Kristallanish markazlari miqdori tushunchasi kiritiladi. Kristallanish markazlari soni - 1sm^3 dagi kurtaklar miqdoridir. Kristallanish tezligi deb o'sayotgan devorning markazdan uzoqlashishni aytish qabul qilingan: $\Delta S \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$.

O'zgarmas temperaturada kristallanish markazlar miqdori doimiy qoladi. Metall kristallanish uchun metallni sovutish kerak. O'ta sovutish yuzaga kelishi bilan biz kristallanish markazlarining ortganini hosil qilamiz. Kristallanish markazlari miqdori va kristallar tezligi o'ta sovitishga bog'liq.

O'ta sovitish o'rniga ko'pincha sovitish tezligini o'lchash qulay.

O'tasovitish va sovitish tezligi orasida bevosita bog'liqlik mavjud. O'ta sovitish o'zgarishi bilan kristallanish markazlari miqdori va kristallanish tezligi o'zgaradi. Bu bog'liqlik akad. Tomman bog'liqligi deb ataladi. Bu egri chiziqlar Tomman tomonidan metallar uchun emas, balki kichik kristallanish tezligiga ega bo'lgan organik moddalar uchun olingan edi.

Biroq keyinnchalik oson eruvchan metallarning kristallanishini kuzatishlar bu nazariyaning metallar uchun ham to'g'ri ekanligini tasdiqladi. Kichik sovitish (rasm. q) tezligi. Bu holda kam miqdorda kristallanish markazlarini olamiz (hosil qilamiz) yirik donador tuzilma hosil bo'ladi, sovitish tezligi katta, bu holda kristallanish markazlari (km) ko'payadi va kristallanish tezligi ortadi (mayda donali tuzilma hosil qilinadi).



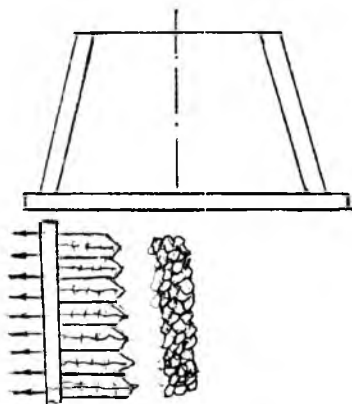
5.14-rasm. Sovutish tezligini kristallanish tezligiga va strukturasi ta'siri.

Quymalarda metallarning kristallanishi

Faraz qilaylik issiqlik ajratish bir tekis bo'lsin. Dendritni bir tekis sovitishda tekis yuza hosil bo'ladi.

Issiqlikni notekis ajratilish holati. Bu holda birinchi tartibli o'q tezroq o'sadi, keyin ikkinchi o'qlar vujudga keladi, lekin uzunligi qisqaroq bo'ladi. Bu dendrit ustunsimon dendrit deb ataladi.

Dendritning yo'nalishi issiqlik ajralishi yo'nalishiga doimo perpendikular bo'ladi. Dendrit issiqlik ajraladigan tomonga qarama-qarshi o'sadi.



5.15-rasm. Metall kristallanishini quymalarida ko'rinishi.

X o'qi yaqinida dendrit teng o'qli bo'ladi. Agar mis quymasini olsak, u holda teng o'qli dendritlarni X o'qida kuzatmaymiz.

5.9. PAYVANDLASH VANNASI, UNING HOSIL BO'LISHI VA ASOSIY TAVSIFLARI

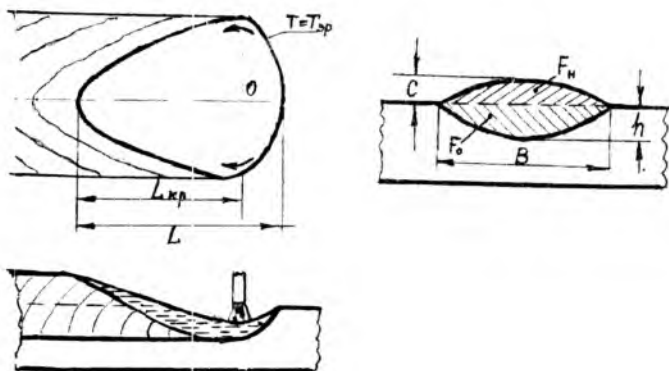
Payvandlovchi issiqlik manbalari ta'siri natijasida asosiy payvandlanuvchi metall eriydi. Izotermik sirt bilan chegaralangan metall $T=T_{er}$ erigan metallning payvand vannasini hosil qiladi.

Eritib payvandlashning ko'pchilik hollarida bu hududga erigan qo'shimcha metall kelib tushadi, u atrof muhit bilan o'zaro ta'sirlashuv natijasida u yoki bu turdagi o'zgarishlarga duch keladi.

F_0 - payvand chokini erigan metall bilan to'ldirib payvandlash yuzi.

F_H - eritib qoplangan yuza

Eritiladigan vannada uning old qismidan kelib tushadigan asosiy metall va eritib qoplanadigan metall aralashtiriladi.



5.16-rasm. Payvand vannasi hosil bo'lishi va asosiy o'lchamlari.

Issiqlik manbai orasida ma'lum bir masofada temperaturaning pasayishi kuzatiladi va erigan metall qota boshlaydi. Shu munosabat bilan payvand vannasini bosh va dum qismlarga ajratish mumkin.

Gaz oqimlarining yoki elektr tabiatli kuchlar masalan, yoyli payvandlash ta'siri natijasida suyuq metallda odatda chuqurcha (**krater**) hosil qilib, surib chiqariladi. Bunda suyuq metall vannaning bosh qismidan ancha sovuq bo'lgan dum qismiga ko'chadi.

O'ta eritish va eritib qoplash hududlarining chegaralari tavsiflari qizitish uyg'otadi.

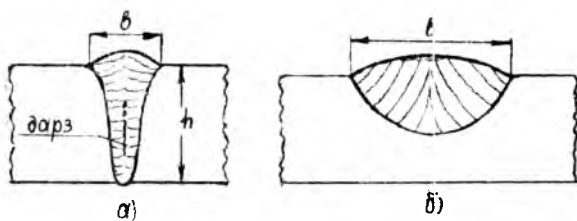
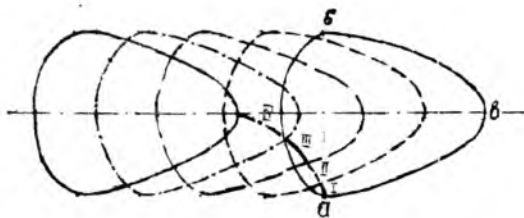
Asosiy metallning o'ta erish (proplavlenie) hududlari chegaralari erish shakli koeffitsientini tavsiflaydi: $\varphi_{np} = \frac{z}{h}$

Eritib qoplash hududi chegaralari valik shakli koeffitsienti bilan tavsiflanadi.

$$\Psi_z = \frac{z}{c}$$

Vanna uzunligining eniga nisbati vanna shakli koeffitsienti deyiladi

$$\varphi = \frac{z}{B}$$



5.17-rasm. Payvand vannasining chuqurligi va kengligi o'rtasidagi nisbati.
a - tor va chuqur; b - keng va chuqur bo'lmagan.

Payvandlash vannasining issiqlik manbayi orqasidagi uzunligini (uzunligining asosiy qismi)
$$L = \frac{q}{2\pi\lambda T_{\text{sp}}} \quad \text{formula bo'yicha}$$
 hisoblash mumkin.

Bu yerda:

q-issiqlik kuch quvvati

Eritib quyish chuqurligi kuch quvvatiga proporsional:

$$h = \frac{q}{4\pi\lambda T_{\text{sp}} * \varphi}$$

Payvandlash vannasi uchun juda muhim tavsiflar bo'lib uning hajm va metallning suyuq holatda bo'lish vaqti hisoblanadi.

Tez ta'sir ko'rsatuvchi issiqlik manbayi uchun temperaturaning integral tenglamasi bilan V.I. Dyatlov payvandlash vannasining $V(\text{sm}^3)$ hajmi uchun quyidagi ifodani hosil qildi:

$$V_{\text{va}} = \frac{q^2}{4\pi\lambda * \gamma * v_{\text{fl}} * T_{\text{sp}}}$$

Vannada metallning turli hajmlarda erigan holatda mavjud bo'lish vaqti bir xil emas. Jumladan, erish chegarasiga yaqin joyda xozirgina erigan metall deyarli darhol qotadi. Erish chegarasidan vannaning markaziy qismiga tomon uzoqlashgan sari metallning erigan holatda bo'lishi uzoqligi ortib boradi.

Vannaning markaziy qismida joylashgan metall erigan holatda maksimal vaqt davomida bo'ladi: $t_{max} = \frac{L}{v_n}$

V_n - payvandlash

Payvandlash vannasida metallning kristallanishi xususiyatlari

Erigan metall payvandlashda bayon qilingan shakldagidan boshqacha kristallanadi:

1. Vanna materiali ham issiqlik manbayi ham vannaning sovigan devorlarining bir vaqtdagi ta'siri ostida bo'ladi, bunda kristallanish fronti issiq manbayining ko'chirilishi bilan bog'liq.

2. Vannada erish chegarasida asosiy metallning donalari ko'rinishidagi kristallanish markazlarining cheklangan miqdorda bo'lishi.

3. Vanna metalli hajmi bo'yicha temperaturaning bir tekis tarqalmaganligi.

4. Vanna metallining ancha aralashishi.

5. Vanna hajmining kichikligi, metallning erigan holatda uzoq muddat bo'lmasligi, metallning kristallanishi kristall o'sishining katta tezliklarida yuz beradi.

Qaror topgan payvandlash jarayoni uchun vaqt birligida kelayotgan issiqlik miqdori qattiq metallga ajratiladigan issiqlik miqdoriga teng. Kristallning o'sish tezligi uning vanna erish chegarasidan markaziga tomon o'sa borishiga qarab o'zgarishi quyidagi formula bilan aniqlanishi belgilangan:

$$v_{sp} = v_n * \cos \alpha$$

bunda v_n –payvandlash tezligi (issiqlik manbayining chiziqli ko'chish tezligi):

v_{kr} – kristallning o'rtacha o'sish tezligi, sm/sek;

α - har bir kristallanish momentida kristallning o'sish yo'nalishi bilan issiqlik manbayining ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak.

B-nuqtada burchak $\alpha=90^\circ$ ekanini ko'rish qiyin emas, yani erish chegarasida kristallning o'sish tezligi v_{kr} nolga teng, kristallning o'sishi tugallangandan so'ng X o'qi yaqinida $\alpha=0^\circ$ va bu holda v_{kr} payvandlash tezligi v_p ga teng bo'lib qoladi.

Demak, chetdan markazga tomon qotishmalarning kristallanishi kabi kristallar o'sishining sekinlanishi emas, balki v_{kr} ning erish chegaralari yaqinida noldan vanna markazida maksimal qiymatlargacha ortishi yuz beradi.

Biroq vannada kristallanishda kristallarning o'sish tezligi monoton (bir tekis) o'zgarmaydi, ularning tezkor o'sishi davrlari sekinlashish yoki to'xtashlar bilan almashinib turishi mumkin. Metallning kristallanish jarayonini uzluqligi chokning qatlam qatlam bo'lishi sabablidir.

5.10 PAYVAND CHOKLARI BIRLAMCHI KRISTALLANISHINI TARTIBGA SOLISH METODLARI

Chokning birlamchi tuzilmasi eritilgan metallning ko'pgina xossalriga aynivcf keyinchalik unga termik ishlov berilmasa, katta ta'sir ko'rsatadi.

Shuning uchun birlamchi tuzilmasi mayda donali va imkoni boricha teng o'qli, uncha katta bo'lmagan kimyoviy nobirjinslikka ega bo'lishi muximdir; shunda metallning xossalari etarlicha yuqori va keyingi ishlovlarsiz bo'ladi. Birlamchi kristallanish jarayonlarini tartibga solish yo'llarini ko'rib chiqamiz.

1. Kimyoviy nobirjinslikni kamaytirish va metallning kristallik yoriqlar hosil bo'lishiga mustahkamligini oshirish uchun payvand vannasining chuqurligi va kengligi o'rtasidagi nisbatni to'g'ri tanlash zarur. Vanna kengligi (ϵ_{ni}) b ning chuqurligi h ga nisbati eritish

shakli koeffitsienti ψ deyiladi: $\psi = \frac{b}{h}$ eritish shakli koeffitsienti ko'pgina omillarga bog'liq payvandlash usuliga va rejimiga. metall tarkibiga, payvandlash materiallari tarkibiga va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Eritishni ikkita o'ziga xos shaklini keltiramiz: a - tor va chuqur; b - keng va chuqur bo'lmagan (5.17-rasm).

Tor va chuqur vanna ($\psi < 2$) metall kristallanishining noqulay sxemasini beradi. Buning sababi shu bilan izoxlanadiki, sovitish sirtiga o'tkazilgan normal bo'yicha o'suvchi kristallar chokning markaziy qismida kuchsiz (slabina) hududni hosil qilib muqarrar uchrashadi. Shuning uchun ko'rsatilgan sxema bo'yicha kristallanuvchi choklar kristallik yoriqlarni hosil qilishga moyil bo'ladilar. a - vannada chet qotishmalar qiyinroq bartaraf etiladi. aksincha keng va uncha chuqur bo'lmagan vannada ($\psi > 2$) kristallanish sharoitlari ancha yaxshi, chunki suyuq metallning qo'shimchalar bilan eng ko'p ifloslangan portsiyalari o'sayotgan kristallar tomonidan chokning eng yuqori qismiga siqib chiqariladi va metallda xavfli sust hududni yaratmaydi.

Ustunli kristallarning payvand vannasi shakliga bog'liq holda o'sish yo'nalishining o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

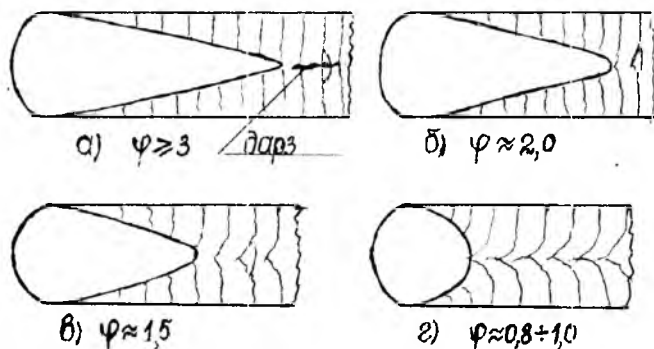
Vanna shakli koeffitsientga bog'liq holda radial yo'nalishda o'suvchi ustunli kristallar bir biri bilan chetlari orqali (a), o'tmas burchak bilan (b) yoki o'tkir burchak bilan (b) uchrashadi (5.18-rasm).

Ammo kristallar shuningdek o'q yo'nalishida o'sib, buralib (bukilib) faqat yon yoqlari bilan (g) uchrashadilar. Dastlabki ikki holatga (a va b) vanna shakli koeffitsientining katta qiymati javob beradi, bunday choklar kristallik yoriqlar paydo bo'lishiga moyil va nometall krishmalar bilan ko'proq ifloslanadi.

Kristallar o'tkir burchak ostida bir biri bilan uchrashadigan choklar (b) kristallik yoriqlar paydo bo'lishiga qarshi yuqori mustahkamlikka ega.

Vannaning eng yaxshi shakli uning idishsimon shakli (g) hisoblanadi. Unda kristallar o'q yo'nalishida o'sadi va bir birlarining

chekkalari bilan uchrashmaydi. Biroq payvandlash tezligi past, dendritlar yirik va h.k. (5.18-rasm).



5.18-rasm. Ustunli kristallarning o'sishini payvand vannasi shakliga bog'liqlik sxemasi.

Vannaning maqbul shakliga, demak, chok kesimiga mo'ljal olib, ustunli kristallarning eng qulay joylashuvini hosil qilish mumkin.

Kristall yoriqlar paydo bo'lishiga chidamli bo'lgan yuqori mustahkam va elastik metall olish uchun uning ustunli tuzulmasini maydalash va uni tekis o'qliga aylantirish zarur.

Bunga quyidagilar orqali erishiladi:

1. Payvandlash vannasiga elementlar modifikatorlar (bor, titan, sirkoniy, strontsiy....) kiritish bilan.

2. Payvandlash vannasida ultratovush to'lqinlarini yoki mexanik tebranishlarni vujudga keltirish bilan.

3. Kristallanuvchi vannani sovitish tezligini oshirish yo'li bilan tuzilmani o'zgartirish.

4. Payvand vannasida kristallanuvchi metallga elektromagnit maydonini kiritish.

5.11. ISSIQ DARZLARINING HOSIL BO'LISHI TABIATI VA MEXANIZMI

Payvand chokida yuzaga keladigan eng ko'p tarqalgan nuqsonlar qatoriga - yoriqlar, g'ovakliklar, shlak kritmalari kiradi va h.k.

Yoriqlar:

a) issiq yoriqlar (kristallizatsionn)

b) sovuq yoriqlarga bo'linadi.

Kristall va issiq yoriqlar deb qirqim. yaxlitmaslik xususiyatiga ega. kristall metall oralig'ida vujudga kelgan mikroskopik va makroskopik nuqsonlarga aytiladi.

$$T_{\kappa p} \leq T_{\kappa p} + 1350^{\circ}.$$

Sovuq yoriqlar odatda 400° dan yoki 200 °C dan nisbatan past temperaturalarda payvand birikmalarida vujudga keladi.

Sovuq yoriqlar perlit va martensit sinflaridagi o'rtacha legirlangan va yuqori legirlangan payvand birikmalarining umumiy nuqsoni hisoblanadi.

Bu turdagi yoriqlarni ba'zan toblovchi yoriqlar deyiladi. Yoriqlar ko'pincha chok atrofi zonasini va kamdan kam hollarda payvand chokining o'zini shikastlantiradi.

Issiq yoriqlar ularning joylashuviga bog'liq holda bo'yлама va ko'ndalang yoriq bo'ladi.

Issiq yoriqlar qachon vujudga keladi?

Agar metallning yuqori temperaturalar sohasida kristallanish va undan keyingi sovish jarayonida metallning qisqarish deformatsiyalari uning deformatsiya qobiliyati bilan ta'minlanmaydigan sharoitlarni yaratsa, u holda yaxlitlik buzilishi mumkin, issiq yoriqlar hosil bo'lishi mumkin.

Kristallanish sharoitida va yuqori temperaturalarda vujudga keladigan issiq yoriqlar kristallik, (kristallanish jarayonida qattiq va suyuq fazalarning mavjud bo'lishida vujudga keladigan) va poligonizatsion (yangi chegaralarning poligonizatsiya jarayonlari natijasida qattiqlashgan metallning granulyatsiyasi bilan bog'liq) yoriqlar.

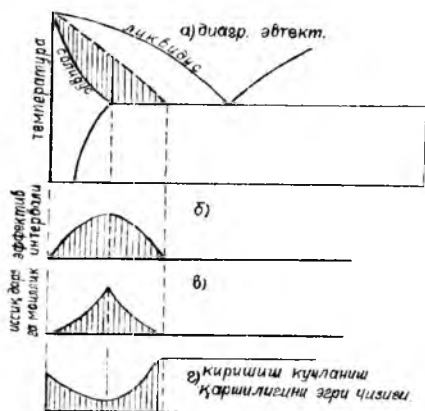
Issiq yoriqlarsiz choklarni hosil qilish qobiliyatini, ya'ni metall chokining yoki chok atrofi hududining payvandlash jarayonida yuqori temperaturalarda buzilishlarsiz elastik-plastik deformatsiyalarga chidamlilik qobiliyati payvandlashda metallning **texnologik mustahkamligi** deyiladi.

Issiq yoriqlar austenitli po'latlar va qotishmalarni payvandlash texnologiyasini ishlab chiqishda asosiy qiyinchilikni ifodalaydi. Shu munosabat bilan bir fazali austenitli tuzilmaga ega choklarda issiq yoriqlarning vujudga kelishi sabablari, mexanizm xaqidagi va ularga qarshi kurashish choralari to'g'risidagi masala katta ahamiyatga ega bo'ladi.

Xozirgi vaqtda turli omillarning payvand choklaridagi issiq yoriqlarga ta'siri to'g'risida katta eksperimental material to'plangan.

5.11.1. Akademik A.A. Bochvar gipotezasi

Mamlakatimiz va chet el mutaxasislari orasida payvand choklarida issiq yoriqlarning vujudga kelish sabablari va mexanizmi to'g'risida bir qancha ishchi farazlar (gipoteza) tarqalgan. A.A. Bochvar va uning xodimlari kristall qotishmalarning temperaturalar intervali ikki qismga ajratilishi mumkinligini isbotlashdi.



5.19-rasm. Evtektika turidagi diagrammasi.

Kristall intervalining birinchi qismida qattiq eritmaning o'sib chiqqan dendritlari (likvidus temperaturasi dan. solidus temperaturasi dan yuqori ma'lum bir temperaturagacha) suyuq fazaning (suyuq qattiq holatda) yaxlit qatlami bilan bo'lingan, kristall intervalining ikkinchi qismida (qattiq-suyuq holatning pastki chegarasi temperaturasi dan pastda). dendritlar qisman o'zaro chirmashib o'sishadi, ulardan qattiq sinch hosil bo'ladi va keyinchalik barcha suyuq faza qattiqlashadi.

Kristall intervalining bu qismi pastdan ikkinchi solidus chizig'i bilan chegaralangan. A.A. Bochvar ikkinchi qismini kristallning effektiv intervali yoki qattiq-suyuq holat intervali deb atadi. Akademik A.A. Bochvar va uning xodimlari tadqiqot eksperimenti asosida shunday xulosaga kelishdi;

Qattiq suyuq holatda o'rtachalashtirilgan cho'kish issiq yoriqning sababi hisoblanadi, solidusdan yuqori bo'lgan qotishma juda kam mustahkamlikka va elastiklikka ega bo'ladi, shuning uchun bir oz cho'kish bo'lishi etarli, masalan to'liq qattiqlangandan so'ng yorilish yuz berishi uchun. Elastiklik keskin ortadi va sovishda kuchlanishning ortishiga qaramay solidusdan pastda yoriqlar vujudga kelmaydi.

A.A. Bochvar va uning xodimlari qotishmalarning issiq yoriqlar hosil qilishga moyilligini kristall intervalining kattaligi va samaradorligi hamda kristallanayotgan qotishmadagi evtektika miqdori bilan bog'lashadi.

5.11.2. D.M. Rabkin va I.I. Frumin gipotezasi

D.M. Rabkin va I.I. Frumin odatda evtektik turdagi suyuq qatlamlarning mavjudligini ko'rsatishadi (sulfidli yoki karbidli, issiq yoriqlarning paydo bo'lishini zaruriy sharti sifatida).

Bu fikrga ayrim (S.V. Lashko, B.I. Medovar) tadqiqotchilar qo'shilishadi.

Bu gipotezaning mualliflari quyidagicha faraz qilishgan:

1. Payvand choki kristallarining **katta tezligi** kristall ichidagi **nobirjinsliklarning** ancha kuchayishiga imkon beradi. Kristallarning

chegara hududlarida oson eruvchi komponentlarning (oltingugurt, fosfor, uglerod va boshqalar) katta miqdorda to'planishiga erishiladi.

2. Kristallitlarning chegara hududlaridagi oson eruvchan komponentlar qotish temperaturasi past bo'lgan **evtektik pardalar hosil qiladi**. Suyuq evtektik pardalar deyarli to'liq qotgan chokda kristallitlar orasida joylashishlari va kristallararo yemirilishlar o'chog'i bo'lishi mumkin.

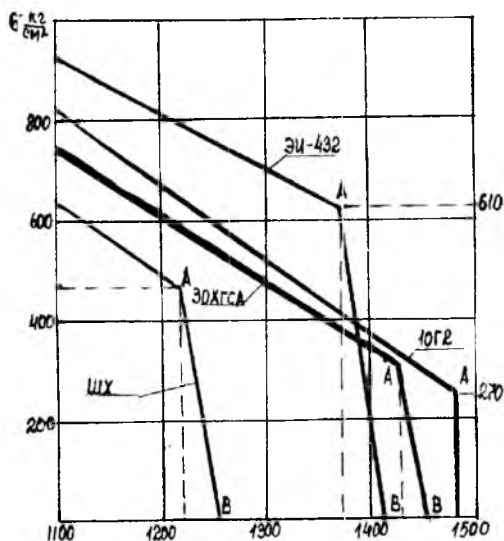
3. Oson eruvchan evtektiklarning salbiy ta'sirlari ularning miqdorlari kam bo'lganda namoyon bo'ladi. **Agar evtektika kristallitlar orasida ko'cha oladigan bo'lsa** va uning miqdori yuzaga kelayotgan yoriqlarni to'ldirish uchun yetarli bo'lsa, u holda payvand birikmalarining normal mexanik xossalarini "tuzatish" va tiklash yuz beradi.

Shunday qilib, barcha po'latlar va qotishmalar, kam uglerodli, o'rtacha uglerodli va austenit sinfidagi yuqori legirlangan po'latlar va qotishmalar evtektik sistemalar sifatida qarab chiqilib, ularda evtektik pardalar fazalar orasida joylashgan.

5.11.3. N.N. Proxorov gipotezasi

Kristallararo yemirilishning extimolini aniqlashning asosiy omillarini prof N.N. Proxorov tomonidan ifodalangan kristallararo mustahkamlik gipotezasi eng to'liq tarzda hisobga oladi.

Prof. Proxorov N.N. solidus chizig'i temperaturalari sohasida yuqori temperaturalarda metallarning xossalarini o'rgangan edi. Tadqiqotlar metodikasi quyidagicha bo'ssi namuna elektr toki bilan yuqori temperaturagacha qizitildi va sovutish jarayonida yemirilgan (buzilgan). Bunda mazkur temperaturada mustahkamlikning va elastiklikning oniy qiymatlari aniqlanar edi.



5.20-rasm. Metallarning yuqori temperaturada mexanik xossalari

Payvandlashda issiq yoriqlarning hosil bo'lishiga ham moyil bo'lgan va moyil bo'lmagan po'latlarni barcha tadqiq etishlar solidus temperaturalarini sohasida plastiklikni va mustahkamligini yo'qotishi kelib chiqadi. Biroq turli xil po'latlar uchun nozik yemirilishidan (B nuqta) qovushqoq yemirilishga (A nuqta) o'tish har xildir: po'latlarning qovushqoq holatdan nozik holatga TI o'tishi:

5.13-jadval

Po'lat markasi	Qovushqoq holatdan nozik holatga TI o'tish, $^{\circ}\text{C}$	Kritik kuchlanish kg/sm^2
10ГС	0	270
30ХГСА	25	320
ЭИ-432	55	610
ШХ	65	500

Olingan ma'lumotlar asosida metallar va qotishmalarni payvandlashda issiq yoriqlarning vujudga kelishi mexanizmi

to'g'risida gipoteza ifodalandi. Bu gipotezaga muvofiq payvandlashda kristallararo siyraklanish (texnologik mustahkamlik) ning vujudga kelishi extimoli quyidagi omillarning nisbati bilan aniqlanadi:

Solidus chizig'i yaqinida mazkur qotishmaning TIX kattaligi bilan;

1. Cho'zuvchi kuchlanishlarning ortishi jadalligi va TIX da mazkur

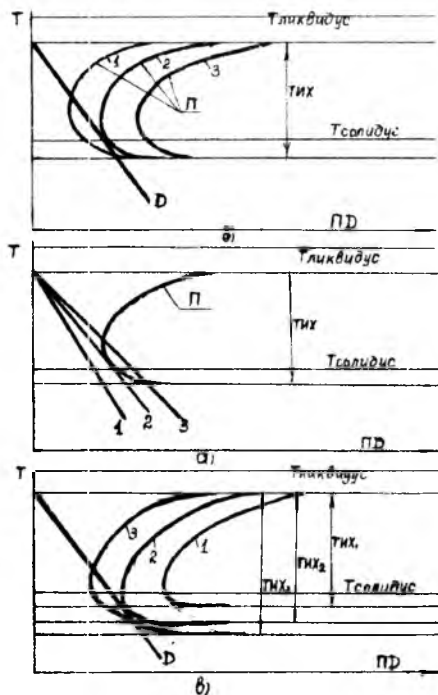
qotishma $\frac{\Delta \sigma}{\Delta T}$ temperaturasining pasaya borgan sari deformatsiyaning rivojlanishi bilan:

2. Qotishmaning o'ta temperaturalar intervalidagi plastikligi bilan

Prof. N.N. Proxorov payvandlashda kristallararo mustahkamlikni deformatsiya tezligining ta'sirini hisobga olgan holda aniqlovchi quyidagi sxemani beradi:

Diagramma temperatura-deformatsiya kordinatalarida quriladi.

Qotishmaning berilgan xossalarida va temperatura bo'yicha deformatsiyadan olingan hosilaning o'zgaruvchan qiymatlarida payvandlash holati keltirilgan.



5.21-rasm. Payvandlashdagi kristallararo mustahkamlikni aniqlashni ta'siri
a - deformatsiya tezligi b - plastiklik ta'siri v - mortlik harorat intervali

Bu holda 1 deformatsiya egri chizig'i plastiklik egri chizig'ini kesib o'tmaydi, bu issiq yoriq mavjud emasligi holatiga mos keladi. 2 egri chiziq esa deformatsiya va plastiklikning kritik munosabatini tasvirlaydi.

Temperatura bo'yicha deformatsiyadan olingan hosila doimiy qiymatga ega bo'lgan holat taqdim etilgan, biroq deformatsiya tezligi plastiklik egri chiziqlarining holatini o'zgartirib o'zgaradi. Birinchi hol 1 egri chiziq deformatsiya tezligining eng yuqori qiymatiga mos keladi.

Shunday hol keltirilganki, bunda deformatsiyaning qiymatini aniqlovchi payvandlashning texnologik jarayoni berilgan, bunda TIX o'zgaruvchan hisoblanib, u kristallararo qatlamlarning tarkibi va

xossalari bilan aniqlanadi. Issiq yoriqlar extimoli TIX ning qiymati ortishi bilan o'sadi.

5.11.4. Poligonizatsiya yoriqlari gipotezasi

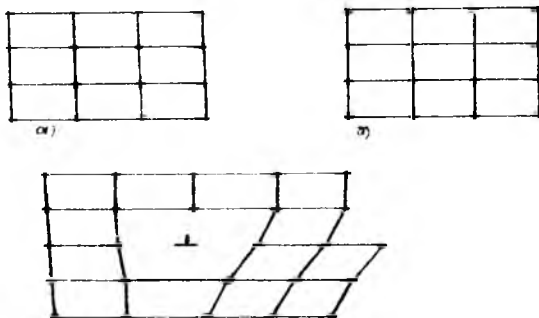
Qattiq jism fizikasi va fizik metallshunoslik sohasidagi bilimlarning hozirgi darajasi mikroskopik nobirjinslilikning simvollaridagi ikki tomonini (ko'rinishini) farqlashga imkon beradi:

a) legirlovchi elementlar va qotishmalar atomlari kristallarining kesimi bo'yicha notekis taqsimlanishiga asoslangan mikroskopik kimyoviy nobirjinslilik;

b) mukammal bo'lmagan kristall panjaraning birinchi navbatda, vakansiyalar va dislokatsiyalarning lokal (maxalliy) to'planishi bilan bog'liq mikroskopik fizik nobirjinslilik.

Mukammal bo'lmagan nuqsonlar kristall panjara(lar)ning quyidagi asosiy turlari farqlanadi:

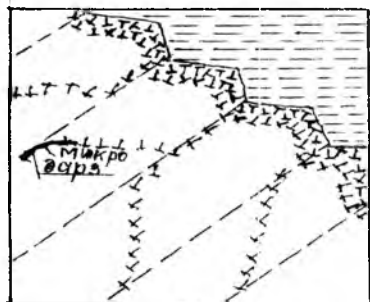
1. Nuqtali yoki atomli nomukammalliklar. Ularga vakansiyalar yoki "teshiklar" (kristall panjaraning atomlar band qilmagan bo'g'inlari).



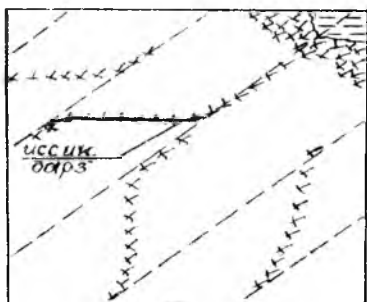
5.22-rasm. Nuqtali va chiziqli dislokatsiya (nuqsonlar) sxemasi.

Kristall panjarada atomlarning sxematik joylanishi.

a) ideal panjara b) nomukammal panjara



а)



б)

5.23-рasm. Issiq darzlarni hosil bo'luvchi sxemasi

2. O'lchamlari ikki yo'nalishda kichik bo'lgan va bitta o'zgarishda (o'lchovda) nisbatan katta bo'lgan chiziqli nomuvofiqliklar-dislokatsiyalar.

Chiziqli dislokatsiya mavjud bo'lganda atomlarning taxminiy joylashuvi manzarasini $\perp$ belgi bilan ifodalaymiz.

Bu rasmdan ko'rinadiki, $\perp$ belgisidan yuqorida joylashgan atom qo'shni atomlar bir xil atrofga ega emas. Atomlarning ko'rsatib o'tilgan joylashuvini, masalan, kristallning yuqori qismini pastki qismiga nisbatan bitta atomlararo masofaga (birlik surish vektori) qisman surish yo'li bilan yaratish mumkin.

Akademik Movchan B.A. bir fazali austenitli tuzilmaga ega payvand choklarida issiq yoriqlarning paydo bo'lishini quyidagi sxemada ko'rsatgan.

Payvand vannasida yuqori temperaturalargacha o'ta qizitilgan suyuq metall atom o'lchamlaridagi ulkan miqdorda bo'shliqlar (vakansiyalarga) ega bo'ladi. Payvand vannasi muvozanatsiz kristallari natijasida solidusdan pastda joylashgan qattiq faza uchastkalarida panjaraning nomukammal kristallarining katta zichligi-vakansiyalar va dislokatsiyalar paydo bo'ladi.

Payvand chokiga juda katta tezlikda sekin sovitiladigan quymalarga nisbatan ancha yuqorida, kristallanish frontidan pastdagi qattiq faza uchastkalarida panjaraning nomukammal kristallari zichligi kristallanadi.

Yuqori temperatura va taxlikali holat nomukammalliklarning tez harakat qilishiga va guruhlanishiga imkon beradi, buning natijasida poligonizatsiya yuz beradi.

Chegaralarning ayrim uchastkalarida poligonizatsiya vaqtida to'planadigan nomukammalliklarning katta zichligi natijasida mikroskopik natijasida paydo bo'ladi. Mikro buzilishlarning vujudga kelish extimoli poligonizatsiya chegaralari to'yinish uchastkalari bilan mos tushadigan uchastkalarda ayniqsa yuqoridi, ya'ni poligonizatsiya jarayoni zararli qorishmalar bilan "itloslangan" qattiq eritma hajmlar orasida yuz berganda ayniqsa yuqoridir. O'sib boruvchi, cho'zuvchi kuchlanishlar ta'sirida buzilishlar mikroyoriqlarga aylanishi va kristall fronti sirtiga chiqishi mumkin. Bu paytda ma'lum komponentlarning yoriqqa jonlab kirib borishi boshlanadi. Temperatura oralig'i ioligonizatsiya sur'atini TIX ning qismi sifatida birinchi yaqinlashishda qarab chiqish mumkin.

Poligonizatsiyaga qarshi kurash choralari

1. **S, P, Pb** va boshqa kirishmalar poligonizatsiya jarayoni kinetikasiga bevosita ta'sir qilish mumkin. Metall choki kristallanishida qattiq eritma kristallitlari bu kirishmalar bilan o'ta to'yinadi. Bu kirishmalar (**P, S, Pb** va boshqa) nomukammallarning zichligini orttiradi. Payvand choki metallida ularning miqdorini kamaytirish kerak.

2. Poligonizatsiyani yanada samaraliroq sekinlashtirish va hatto to'liq bostirishni yuqori temperaturali ikkinchi fazani hosil qilish yordamida amalga oshirish mumkin. Austenitli sinfdagi yuqori legirlangan po'latlardan va qotishmalardan qilingann bir qator konstruksiyalar uchun foydalanish sharoitlariga ko'ra payvand chokida ikki fazali tuzilmaning bo'lishiga yo'l qo'yiladi.

Bu holda ikkinchi fazadagi yuqori temperaturalarining vujudga kelishini ta'minlovchi payvand chokini qo'shimcha legirlash chok kesimi bo'yicha teng bo'lib, issiq yoriqlarga qarshi kurashning mumkin bo'lgan metodlaridan biridir. Payvand choklarining bir fazali berilgan texnik shartlarda TI poligonizatsiyani ancha past

temperaturalar sohasiga ko'chiruvchi va nolitgonizatsiya chegaralarining ajralishini qisman yoki to'la to'xtatadigan elementlar bilan qo'shimcha legirlash. Bunday elementlar sifatida **Mo, W, Ta (tantal), Re (reniy)** ishlatiladi. Bu elementlar bilan legirlashda poligonal chegaralar ko'pincha o'ziga xos berk shakllarni qabul qilib egri bugri bo'lib qoladi.

Kristallanishda sovish tezligi poligonizatsiya jarayonini to'liq bartaraf etishga imkon beradi, shunday qilib payvand choki metallning issiq yoriqlar hosil qilishga moyilligini kamaytiradi. Modifikatsiyalash ham poligonizatsiyani to'xtatadi.

5.12. Ayrim boshqa omillarning issiq yoriqlarning paydo bo'lishiga ta'siri

Texnik payvandlashni ishlab chiqishda chok metallni issiq yoriqqa qarshi qo'yish quyidagilarga bog'liq:

1. kuchlanishlarni cho'zuvchi kristallanish davrida ta'sir qiluvchi ortib boruvchi kattaliklar va tezliklarga;

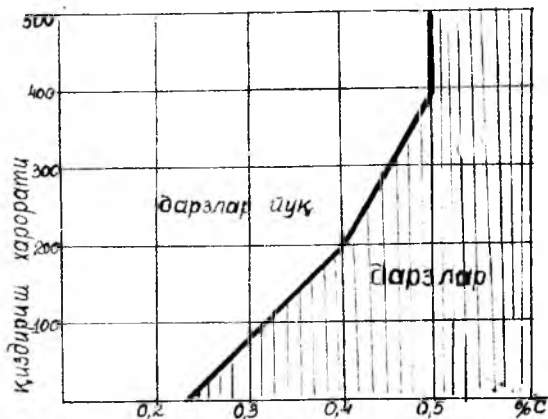
2. chok metallining kimyoviy tarkibiga, bu tarkib uning xossalarini kristallanish davrida aniqlaydi va pasaytirilgan tekislik bilan tavsiflanuvchi holatda turishining davomiyligi bilan aniqlanadi;

3. payvand vannasining shakllari ustunli kristallarning o'sish yo'nalishini, ularning o'zaro krishishi xususiyatini aniqlaydi;

4. birlamchi kristallitlar kattaliklari.

Cho'zuvchi kuchlanishlarning ta'siri. Payvandlanishning real sharoitlarida payvand choki kristallanuvchi metallga cho'zuvchi kuchlanishning ta'sirini to'liq bartaraf etib bo'lmaydi. Bu kuchlanishlar kattaligini kamaytirish masalasi qo'yiladi.

Misol. Payvandlanadigan metallni qizdirib keyin payvandlash. Isitish bu kuchlanishlarning kattaligini kamaytiradi.



5.24-rasm. Qizdirish haroratining cho'zuvchi kuchlanishlariga ta'siri.

Chok metalli kimyoviy tarkibining ta'siri. Kimyoviy tarkib uning issiq yoriqlarga bardoshliligiga birinchi darajalita'sir ko'rsatadi, chunki kristallararo qatlamlarning tarkibi, xossalari va miqdorini hamda past darajadagi mustahkamlik bilan tavsiflanuvchi holatda bo'lishi davomiyligini aniqlaydi.

Chok metalli tarkibiga kiruvchi barcha elementlar uch guruhga kiritilishi mumkin.

Birinchi guruh-ishtirok etishi issiq yoriqqa qarshi mustahkamlikni doim kamaytiruvchi elementlar. Bu elementlar doim zararli deb aytiladi. (**S, P, Pb, C** va boshqa).

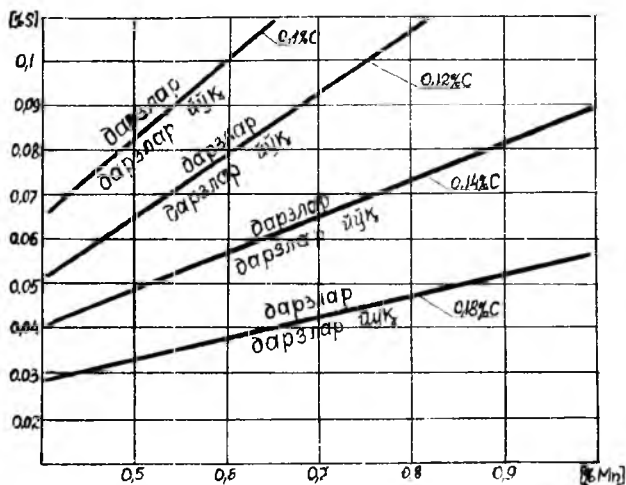
Ikkinchi guruh - mavjud bo'lishi mazkur elementlar bilan qo'shilishi natijasidagi ma'lum bir konsentratsiyalarda ijobiy ta'sir ko'rsatuvchi elementlar, ya'ni mustahkamlik ortadi, boshqa konsentratsiyalarda esa yoki boshqa elementlar bilan birgalikda salbiy ta'sir ko'rsatadi, ya'ni issiq yoriqlarga moyillik ortadi. (**Mn, B**)

Uchinchi guruh - mavjudligi issiq yoriqqa qarshi chok metallining mustahkamligiga ta'sir ko'rsatmaydigan elementlar. (**Cr, Ni** va boshqa kam uglerodli po'latlarda)

Uglerod chok metallining ham tuzilmasini, ham xossalari aniqlab beruvchi eng muhim element hisoblanadi. Uglerod chok metallining issiq yoriqqa qarshi mustahkamligiga kesa salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Uglerodning salbiy ta'sir ko'rsatish mexanizmi xozircha aniq emas.

Uglerodning kritik miqdori, ya'ni miqdori bundan yuqori bo'lganda yoriqlar kuzatilishi bo'g'inining (uzel) konstruksiyasiga, dastlabki isitish mavjudligiga yoki bo'lmaganligiga, chok shakliga va chok metallida boshqa elementlar miqdoriga bog'liq.



5.25-rasm. S, Mn va S elementlarni issiq darzlar hosil bo'lishiga ta'siri.

CHok metallida uglerodning kritik miqdori, S (oltingugurt) va Mn ning (marganets) miqdori o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rib chiqamiz. Erish shakli ko'effitsienti to'rtga teng (D.A. Rabkin va I.I. Frumin)

Keltirilgan ma'lumotlar shundan dalolat beradiki, S miqdorining kamayishi uglerodning zararli ta'sirini kamaytirishga olib keladi. (uglerodning kritik miqdori ortadi).

Marganes ma'lum bir chegaralarda oltingugurtning zararli ta'sirini kamaytiradi.

Fe-C qotishmalarida S miqdorining ortirilishi bilan past erish temperaturasi bilan (988 °C) farq qiluvchi Fe-FeS evtektika hosil bo'ladi.

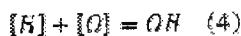
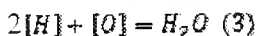
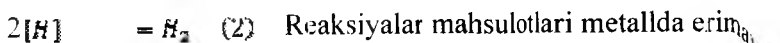
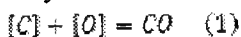
Marganets sulfidi (MnS) yuqori eritish temperaturasiga ega (1620 °C).

Nikel sulfidi NiS past eritish temperaturasiga ega (644 °C).

5.13. METALLARDA GAZLAR VA G'OVAKLARNING PAYDO BO'LISH MEKANIZMI

Erigan metall tomchisi va payvand vannalari metallning o'zida va gaz hamda shlak fazasi o'rtasida yuz beradigan kimyoviy reaksiyalar natijasida gazlar bilan kuchli to'yinishlari mumkin.

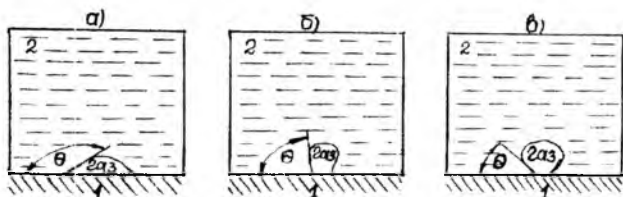
Yuqori temperaturalargacha qizitilgan suyuq metallda H_2 , N_2 va O_2 ning eruvchanligi qattiq metallda erish temperaturasidagiga qaraganda ancha yuqori. Shuning uchun vannadagi metallning kristallanish davrida uning qotayotgan (qattiqlashayotgan) qismida gazlarning eruvchanligi ancha pasayishi bilan bog'liq jadal gaz chiqishi (ajratilishi) kuzatilishi mumkin. Dendritlararo bo'shliqlarda quyidagi reaksiyalar kechishi mumkin:



Gaz puffakchalarining vujudga kelishi va rivojlanishi suyuq metall bilan yaqin aloqada bo'lgan faqat qattiq fazaning sirtida (masalan, o'suvchi kirstallar) bo'lishi mumkin. Bu quyidagi mulohazalar bilan tasdiqlanadi:

a) O_2 , H_2 va C sirti aktiv elementlar hisoblanib, ular fazalarning ajralish sirtida oson adsorbtsiyalanadi va bu yerda katta miqdorda to'planadi;

b) adsorbsiya gaz pufagini hosil qilishga sarflanadigan miqdorini kamaytiradi.



5.26-rasm. Gaz puffakchalarining qattiq sirtida uning ho'llanishiga bog'liq holda suyuqlikdan ajralib chiqadigan gaz puffakchalari shakli.
a - ho'llanmaydi; b - kam ho'llanadi; v - yaxshi ho'llanadi.

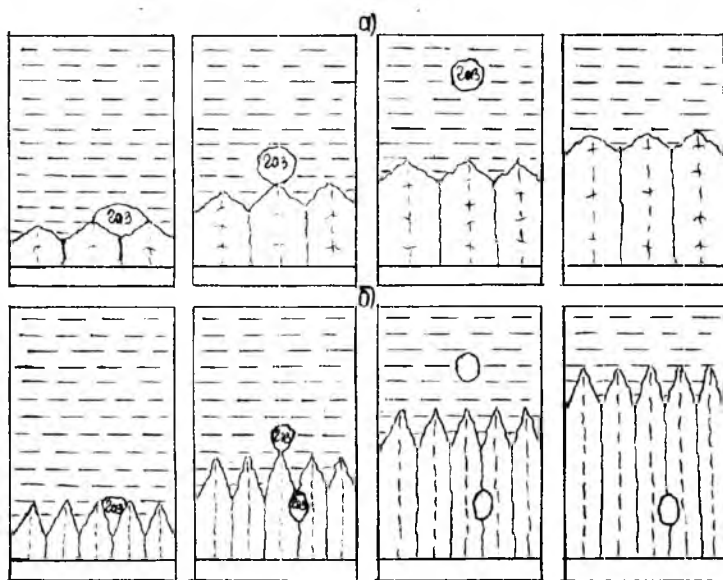
Qattiq sirtidagi suyuqlikdan ajralib chiqadigan gaz puffakchalarining shakli sirtning ho'llanishiga bog'liq. Bunda chet burchak Θ ning kattaligi fazalararo tarangliklar nisbati bilan, aynan

esa $\cos \Theta = \frac{\sigma_{12} - \sigma_{12}}{\sigma_{212}}$ bilan aniqlanadi.

Θ - o'tmas burchak bo'lganda gaz 1 qattiq fazani 2 suyuqlikka nisbatan yaxshi ho'llashini ko'rish qiyin emas, gaz puffakchasi katta o'lchamgacha o'sishga ulguradi.

Aksincha, Θ chetki burchak o'tkir bo'lganda, agar 2 suyuq faza 1 qattiq fazani gazga nisbatan yaxshiroq ho'llaganda gaz puffakchasi oval shaklini egallaydi, katta o'lchamgacha o'sishga ulgurmaydi, uziladi va vanna sirtiga suzib chiqadi. Payvandlash vannasida o'suvchi kristallar sirti, odatda, suyuq metall bilan yaxshi ho'llanadi va birlamchi gaz puffakchalari asosan oval shakliga ega bo'ladi.

Biroq puffakchalarning qattiq fazadan to'liq ajralmaganida uning sirtida tayyor kurtaklar qoladi. Burday manzara metallning kristallanish tezligi katta bo'lganda kuzatiladi. Bu holda chokning g'ovakligini kutish tabiiydir. Bo'shliqlar metallda eriydigan gazlar (H_2 , N_2) bilan ham va metallning o'zida vujudga keladigan erimaydigan gazlar (CO , OH) bilan ham vujudga keltirilishi mumkin.



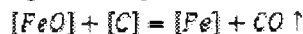
5.27-rasm. Payvand vannasi metalli kristallanishning turli tezliklarida puffakchalarning o'sishi va uzilib chiqish sxemasi.

a - kristallanish tezligi kichik b – kristallanish tezligi katta.

Chok metallida bo'shliqlarning paydo bo'lishiga metallning zang bilan ifloslanishi ham imkon beradi.

Zang mavjud bo'lganda bo'shliqlarning paydo bo'lishiga gazlar tarkibining ta'sir qilishi payvand vannasining oksidlanish darajasiga bog'liq bo'ladi.

Agar payvand vanna oksidlangan bo'lsa, u holda H_2 ning metallda eruvchanligi pasayadi. Bu holda shlak-metall tizimida temir achitqisi (raskislitel) miqdorini oshirish vannaning kristallanuvchi qismida uglerodning oksidlanish reaksiyasining rivojlanishiga imkon beradi:



Agar payvand payvand vanna yaxshilab achitilgan va metall zarur miqdordagi achitqiga ega bo'lsa, u holda vanna tomonidan H_2 ni faol yutish uchun sharoit yaratiladi.

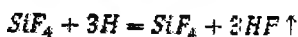
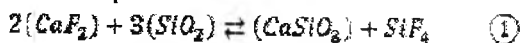
Bunday holda chok metallida g'ovaklarning vujudga kelishini asosan kristallanuvchi metallardan H_2 ning jadal ajralib chiqishi bilan izoxlash mumkin. Uglerod oksidi (CO) vujudga keltiradigan

g'ovaklikka qarshi kurashish uchun vannada metallning kristallanishi paytida uglerodning oksidlanishi reaksiyasini yo'qotilishiga qodir bo'lgan kislorod tozalovchi (raskislitel) elementining etarlicha miqdorini saqlab qolish zarur.

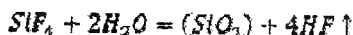
Vodorodli g'ovaklikning oldini olish uchun gaz fazasida metallda erimaydigan brikmalar H_2 ni yanada to'la bog'lanishini ta'minlash zarur.

Bu munosabat bilan ikkita reaksiya qiziqish uyg'otadi:

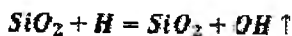
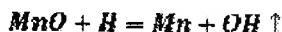
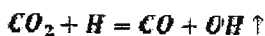
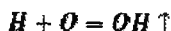
a) gaz fazasiga kirib kelayotgan fluor brikmalari atomar vodorod yoki suv bug'lari bilan o'zaro ta'sirlashadi va metallda erimaydigan fluorli vodorodni hosil qiladi.



yoki



b) yuqori temperaturali zonada yuqori temperaturalarga chidamli metallda erimaydigan H_2 ning O_2 bilan birikmasi — OH gidroksilinning hosil bo'lishi. Gidroksilinning hosil bo'lishi bunday kiyechishi mumkin:



G'ovaklar bilan kurashning texnik usullari-payvandlashda qisqa yoini qo'llanish (gaz fazasi bilan aloqada) chetlarni, simlarni tozalash, quruq elektrolarni, flyuslarni ishlatish oldidan yaxshilab (pechkada) quritish, vannani sekin sovitish.

5.14. Chok metallida shlakli kirishmalar

Shlakli krishmalar turli oksidlar va qisman sulfidlardan tashkil topadi. Ular asosan **endogen** kelib chiqishiga (tabiatiga) ega, ya'ni payvand vannasining o'zida paydo bo'ladi. Krishmalarning faqat uncha katta bo'lmagan qismigina **ekzogen** xususiyati bilan farq qiladi va metallida "adashib qolgan" shlakning zarrachasini ifodalaydi. shlakli krishmalar dendritlararo fazada (bo'shliqda) ustunli kristallar chegaralarida, shuningdek ularning ulanish joylarida joylashishi mumkin.

Shlakli krishmalarning tarkibi shlakning xususiyatiga bog'liq holda turlicha bo'lishi mumkin.

5.14-jadval

Elektrod markasi	Shlak tarkibi					Shlakli kirishmalar				
	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Fe O	Ca O	Kirish ma o'lcha mi	Tarkibi, %			
							SiO ₂	MnO	FeO	Al ₂ O ₃
YOHИ- 13/55	31.0	4,6	2,2	7.9	42	Yirik	27,2	28.2	28,2	7,1
OMM-5	27.3	29	15,2	13	3.6	Yirik	23,3	32.1	14,0	-
						dispers	53,0	9,4	8,1	-

Bundan ko'rinadiki, shlakli kritmalar murakkab tarkibga ega va ko'pincha oksidlar yoki evtektiklar bilan aralashmada bo'lgan turli xil silikatlarini ifodalaydi.

Kislotali shlaklarni qo'llanib payvandlashda (kislotaviy) metallida hosil bo'ladigan krishmalar mayda dispersli xususiyatga ega va asosan silikatlardan tashkil topgan. Asosiy shlaklar silikatlari miqdori kam asosli bo'lgan yirik krishmalarni beradi.

Shlakning va metallning mazkur tarkibida metallidagi shlakli krishmalarning miqdori va kattaligi ikki muhimomilga bog'liq:

a) shlak zarrachalarining koagulyatsiyaga qobiliyatiga, ya'ni qo'shilish yo'li bilan yiriklashish qobiliyatiga;

b) suyuq metallda shlak zarrachalarining suzib chiqish tezligiga. Shlak zarrachalarining koagulyatsiyaga qobiliyati, o'z navbatida metallning temperaturasi, shlak zarrachasi-suyuq metall chegarasida sirt taranglikka, krishmalarining ham, metallning ham qovushqoqligiga va boshqalarga bog'liq, metallning temperaturasi va zarrachalarining sirt tarangligi qancha yuqori bo'lsa, va ularning qovushqoqligi qancha kichik bo'lsa, ularning koagulyatsiyasi shuncha oson kechadi. Yuqori qovushqoqlikka ega qiyin eruvchi krishmalar yomon koagulyatsiyalanadi va shuning uchun metallda dispers ko'rinishda taqsimlanadi (SiO_2 , Al_2O_3).

Shlak zarrachalarining suzib chiqish tezligi ularning o'lchamiga, suyuq metallning qovushqoqligiga, zarracha va metallning solishtirma og'irligidagi farqqa va boshqalarga bog'liq. Bu tezlik Stoks formulasi yordamida taxminan aniqlanishi mumkin:

$$V = \frac{2r^2(\gamma_{\text{spu}} - \gamma_{\text{shl}})}{9\eta} g;$$

bu yerda V - shlak zarrachasining suzib chiqish tezligi;

r - zarrachaning radiusi, sm;

η - suyuq metallning qovushqoqligi, din/sek*sm²

g - og'irlik kuchi tezlanishi (9,81 sm/sek²).

$\gamma_{\text{e m}}, \gamma_{\text{sh}}$ - zarracha va metall solishtirma og'irligi

Bundan ko'rinadiki, zarrachalarni sirtga suzib chiqish tezligi zarrachalar qanchalik yirik bo'lsa, shuncha katta, u harakat qilayotgan metallning zichligi va qovushqoqligi shuncha kichik. Shu nuqtai nazardan kuchsiz koagulyatsiyalanuvchi, kichik suzib chiqish tezligiga ega va payvand chok metallini ifloslantiruvchi mayda dispersli kirishmalar (SiO_2 , Al_2O_3) ning bo'lishi maqsadga muvofiq emas.

Chok metallida qolgan nometall kirishmalar faqat o'ldhamlariga ko'ra emas, balki shakliga ko'ra ham turli xil bo'lishi mumkin. Chok metalli xossalriga globulyar krishmalar kamroq ta'sir ko'rsatadi, cho'zilgan, o'tkir qirrali krishmalar esa katta ta'sir ko'rsatadi. Ular statistik yuklanish bilan sinovlar o'tkazish natijalariga kamroq darajada ta'sir ko'rsatadi, ammo bazida metallning zarbiy qovushqoqligini, shuningdek uning charchash chegarasini pasaytiradi.

5.15. YUQORI LEGIRLANGAN PO'LATLARNING PAYVANDLANUVCHANLIGI

Karbid hosil qiluvchi elementlar:

Mn, Cr, Mo, W, Nb, V, Zr, Ti → kuchli

Oddiy karbidlar: Fe_3C , Mn_3C , Cr_3C_2 , TiC , Cr_7C_3 , Mo_2C , NbC , ZrC :

Karrali karbidlar: $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$; $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$; $(\text{FeCr})_4\text{C}$;

Uglerod miqdoriga bog'liq holda po'latlar:

Kam uglerodli	O'rta uglerodli	Yuqori uglerodli
0,25% gacha	0,45%gacha	0.75%gacha

Legirlangan po'latlar uch guruhga ajratiladi:

Kam legirlangan	O'rtacha legirlangan	Yuqori legirlangan
2% dan ortiq emas,	2% dan 5% gacha,	5%dan ortiq,
yig'indisi 5% dan	5% dan 10% gacha	10% dan ortiq
ortiq emas.		

Tuzilishiga ko'ra yuqori legirlangan po'latlar va boshqalar



Yuqori legirlangan deb, legirlovchi elementlardan birining miqdori kamida 5% ni, ularning yig'indisi esa 10% dan ortiqni tashkil etadigan po'latni aytiladi.

Ish sharoitlariga bog'liq holda yuqori legirlangan po'latlar kislotaga chidamli (bardoshli), zanglamaydigan, metall to'fonga chidamli va issiqbardosh po'latlarga ajratiladi.

Zanglamaydigan po'lat deb atmosfera korroziyasiga (asosan) qarshi bardoshlikka ega po'latni aytiladi.

Kislotaga chidamli po'lat deb po'latning tez kimyoviy yoki elektrokimyoviy yemirilishni vujudga keltiruvchi turli xil agressiv muhitlar ta'siri sharoitida zanglashga yuqori qarshilikka ega bo'lgan po'latni aytiladi.

Metall to'fonga chidamli po'lat konstruksiyalarining yuqori temperaturalar sharoitida ishlashida metall to'fon hosil bo'lishiga qarshi mustahkamlikka ega bo'ladi.

Issiqbardosh po'latlar-konstruksiyalarning yuqori temperaturalar sharoitida ishlashida yuqori mustahkamligini saqlaydi.

Po'latga kislotaga chidamlilik va metall zakiga (okalinaga) qarshi mustahkamlikni beruvchi asosiy legirlovchi kiritma kamida **12% miqdoridagi Cr** hisoblanadi. Po'latda Cr miqdorining oshirilishi po'latning kislotaga chidamliligi va metall zakiga (okalinost) mustahkamlikni oshiradi.

Xrom temir-uglerod qotishmasida austenitning mavjud bo'lishi temperatura sohasini toraytiruvchi ferritizatorlar elementlari guruhiga kiradi: **Si, Al, V, Mo, Ti, Nb** ham ferritizatorlar guruhiga kiradi.

Yuqori xromli po'latda uglerod miqdorining oshirilishi eng faol austenizator hisoblanadi, po'latni fazaviy almashishlarga qobiliyatli qiladi va mos ravishda martensitga toblashga qodir qiladi.

Yuqori xromli po'latga austenitning temperatura sohasini kengaytiruvchi katta miqdordagi austenizatorlarning kiritilishi (**C, Ni, Mn, N**) po'latni barqaror austenitli tuzilmaviy holatga o'tkazish imkonini beradi. Bunday po'latlar austenitli po'lat deb ataladi.

Ferritizatorlar elementlari va austenizatorlar elementlari miqdorlari orasidagi ma'lum nisbatlarni tanlab olib, po'latda ferrit fazasining turli foizli miqdoriga ega ikki fazali austenitli-ferritli po'latlarni olish mumkin.

Po'lat tegishli bō'lgan tuzilmaviy guruhni taxminiy aniqlash uchun **Shefflarning tuzilmaviy diagrammasidan** foydalangan qulay. Bu diagrammada gorizontal ordinata bo'yicha Cr ning ekvivalent miqdori qo'yilgan bo'lib, u mazkur po'latda ferritizatsiyalovchi elementlarning barcha yig'indisi singari ferritizatsiyalovchi ta'sirni vujudga keltirgan bo'lar edi.

Vertikal ordinata bo'yicha mos holda Ni ning ekvivalent miqdori kiritilgan. Turli xil tuzilmaviy sohalar quyidagicha belgilangan: A - austenit; F - ferrit; M - martensit.

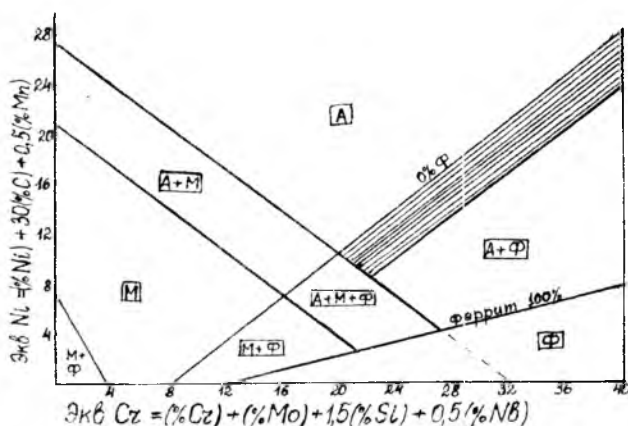
$$\text{Ekv Cr}=(\% \text{Cr})+(\% \text{Mo})+1,5(\% \text{Si})+0,5(\% \text{Nb})$$

$$\text{Ekv Ni}=(\% \text{Ni})+30(\% \text{C})+0,5(\% \text{Mn})$$

M-uglerodning α -temirdagi o'ta to'yingan uglerodning qattiq eritmasini ifodalaydi.

A- γ -Fe ga joriy qilingan uglerodning qattiq eritmasi.

Φ - α -Fe ga joriy qilingan uglerodning qattiq eritmasi.



5.28-rasm. Yuqori legirlangan po'lat tuzilmasining uning tarkibiga bog'liq holdagi diagrammasi.

Diagramma payvand choklari tuzilmasini aniqlash uchun tuzilgan, ammo undan chok atrofidagi zonada payvandlashning termik ta'siri

ostiga qo'yilgan payvandlanuvchi po'latning tuzilishini aniqlash uchun ham foydalanish mumkin.

Misol. X23H18 markali po'latning chok atrofi hududida erish chizig'i yaqinidagi tuzilishini aniqlang. Po'latning o'rtacha tarkibi:

uglerod - 0,15%

kremniy - 0,5%

marganets - 1,5%

xrom - 23%

nikel - 18%

$$E_{kv} Cr = 23 + 1,5(\%Si) = 23 + 1,5 * 0,5 = 23,75\%$$

$$E_{kv} Ni = 18 + 30(\%C) = 0,5(\%Mn) = 18 + 30 * 0,15 + 0,5 * 1,5 = 23,25\%$$

Tuzilmaviy diagramma bo'yicha bu po'lat sof austenitli po'latlar sohasida yotadi.

Misol. Ko'pincha 1X18H10 po'lat uchraydi.

$$C = 0,12 \text{ (max)}$$

$$Cr = 18 \quad Cr_{E_{kv}} = 18 + 1,5(\%Si) = 18 + 1,5 * 0,8 = 19,2\%$$

$$Ni = 10 \quad Ni_{E_{kv}} = 10 + 30(\%C) + 0,5(1,5) = 14\%$$

$$Si = 0,8$$

$$Mn = 1,5$$

1X18H10 - austenit, ferrit fazaga yaqin yotadi. Turli tarkib va tuzilmaga ega yuqori legirlangan po'latlar turli xossalarga ega.

Ferrit po'latlar yuqori darajada kislotaga bardosh berish va metall quyundiligiga bardosh berish qobiliyatiga ega. Nisbatan past oquvchanlik chegarasiga va mustahkamlik chegarasiga ega.

Ferrit-martensit va martensitli po'latlar ferrit po'latlarga nisbatan kislotaga bardoshligi va metall quyundiligiga bardoshligi past holda. mustahkamligi yuqori.

Austenitli po'latlar kislotaga bardoshligi va metall quyundiliga bardoshligi yuqori bo'lganda juda yuqori mustahkamlikka va qovushqoqlikka ega bo'ladi.

Mustahkamlik tavsiflari metallni qo'shimcha legirlash bilan va ikki fazali qotishmalarni yaratish bilan (austenit+ferrit) oshiriladi

5.16. FERRITLI YUQORI XROMLI PO'LATLARNI PAYVANDLASH

Ferrit sinfidagi po'latlarga 17% dan ortiq Cr va 0,15% gacha uglerod bo'lgan yuqori xromli po'latlar kiradi (biroq xromli po'latlarda bir fazali ferrit tuzilma Cr va C ning boshqa nisbatlarida ham olinishi mumkin).

Yuqorixromli ferrit po'latlar (X17, X25, X28 va boshqalar) qimmatli xossalr majmuiga ega-turli xil agressiv muhitlarda yuqori korroziyaga bardoshli. 1000-1100 °C gacha bo'lgan temperaturalarda issiqlikka bardosh va kislotaga bardoshlik.

Xozirgi vaqtda nikelni tejash zarurligi bilan xromli po'latlar ancha keng qo'llaniladi.

Ferrit sinfidagi po'latlar bir fazali bo'lib, toblanmaydigan po'latlar turiga kiradi, chunki ular isitilganda va sovitilganda tuzilmaviy almashtirishlarga moyil emas.

Ularni pavvandlash quvidagi kabi qiyinchiliklar bilan kechadi:

1) metallning donalarni o'sishga yuqori darajada movilligi, uning oqibatlarini termik ishlov berish bilan bartaraf etib bo'lmaydi.

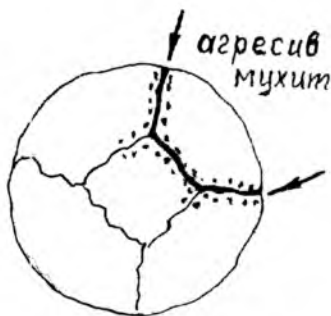
2) metallning mo'rtlikka movilligi.

3) kristallararo korroziva bo'lishi mumkinligi.

Metallning kuyundiligini bardoshligini oshirish uchun qotishmaga kremniy, aluminiy qo'shiladi (X25C3H, X25YY5). Ferrit po'latlarda zararli kirishma C hisoblanadi, u Cr bilan kimyoviy birikmani-xrom karbidni hosil qiladi (oddiy karbidlar Cr_3C_2 , Cr_7C_3).

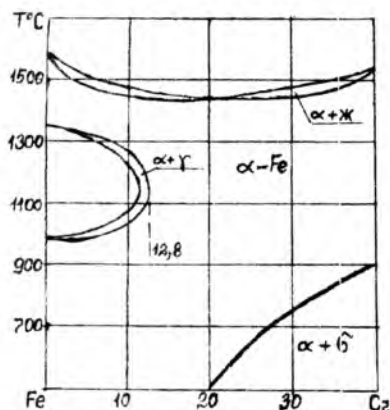
Po'latni payvand choki metallni yuqori temperaturalaridan 1000 °C-1100 °C da hatto juda tez sovitilganda ham po'lat tanalari chegaralari bo'yicha xrom karbidi tushadi (hosil bo'ladi). Xrom karbidlarining tushishi donalar chegaralari xromini kamaytiradi, va ularni zanglashga bardoshligini kamaytiradi. Agressiv muhit ta'sirida po'latning yemirilish donalar chegaralari bo'yicha yuz beradi.

Korroziyaning bunday turi kristallitlararo korroziya deyiladi. Korroziyaning bu turi eng xavflidir, chunki yemirilish metall ichiga tez singib o'tadi.



5.29-rasm. Kristallararo korroziya hosil bo'lishi mexanizmi.

Po'latni 600-800 °C oraliqdagi yuqori temperaturadan sovitilganda (payvand chokii metalli) temir-xrom qattiq eritmada temir-xrom kimyoviy birikmasi ajraladi, u σ - faza deb ataladi. Sigma faza qattiq va mo'rtlik tashkil etuvchi hisoblanadi va shuning uchun metallga yuqori mo'rtlikni beradi. Mo'rtlik darajasi metall tuzilmasida σ - fazaning taqsimlanish xususiyatiga bog'liq. σ fazaning donalar chegaralari bo'yicha ajralishi eng xavflisidir.



5.30-rasm. Temir-xrom qotishma diagrammasi.

Metallning moʻrtlanishga moyilligi (2 band)

Chok metallini va chok atrofi hududini uzoq vaqt isitish yuqori temperaturalargacha isitishi metallning elastikligini ancha yoʻqotishiga olib kelishi mumkin. Bu hodisa metallni moʻrtlashtirish deb ataladi. Ferrit sinfidagi poʻlatlarni payvandlashda metallni moʻrtlashtirishning ikki asosiy turi maʼlum:

1. Issiqlik bilan moʻrtlashtirish (yoki 475 °C - moʻrtlik); metallni 350 ° - 500 °C temperaturalar oraligʻida isitishda paydo boʻladi. Cr, V, Si, Nb kabi elementlar moʻrtlashishga imkon beradi; Ti, Al kabi elementlar esa kamroq darajada moʻrtlashishga imkon beradi. Hozircha bu hodisaning tabiati aniqlanmagan va issiqlik moʻrtlashishni yoʻqqa chiqaruvchi elementlar topilmagan. Biroq issiqlik moʻrtlikning sababi σ - fazaning tushishi faraz qilinmoqda.

2. Metall elastikligining pasayishi xrom karbidlarining tushishi oqibatida boʻlishi mumkin. Donalar chegaralari boʻyicha tushgan xromning karbidlari metallda paydo boʻlayotgan kuchlanishlarga qarshi tura olmaydi. uning natijasida metall moʻrtlashadi.

Metall donining o'sishga moyilligi

Ferrit po'latlar ferrit donalarining ancha yiriklashishini yuzaga keltiruvchi isitishga juda sezgirdir. Bunday holatlarda fazoviy va tuzilmaviy o'zgarishlarning bo'lmazligi sovitish jarayonida donning keyingi maydalanishga qarshilik qiladi.

Shuning uchun metallning mustahkamligi, plastikliги va kislotaga bardoshligi pasayadi, sovuq holatda esa sinuvchanlik (mo'rtlik) paydo bo'ladi.

Ferrit donalarining o'sishini oldini olish uchun po'latning o'ta qizishini istisno qiluvchi payvandlash rejimini belgilash kerak. Shu nuqtai nazardan kichik pogon energiyaga ega va payvandlashning maxsus texnologik usullariga ega rejimlar foydalidir qisqa uchastkalarda, kichik kesimli valiklar bilan, uzilishlar bilan payvandlash.

Donalari yetarlicha maydalangan erigan metall olish uchun **Ti, Zr, V** elementlar - modifikatorlarini o'z ichiga olgan payvandlash materiallarini qo'llanish maqsadga muvofiq.

Po'lat donalarining xaddan ortiq o'sishining oldini olish uchun, shuningdek σ - fazaning tushib qolishining oldini olish uchun payvandlashni kichik pogon energiyalarda, ya'ni kichik kesimli valiklar bilan olib borish zarur.

Kristallitlararo korroziya vujudga kelishi mumkin bo'lgan sharoitlarda ishlovchi konstruksiyalar uchun uning vujudga kelishini oldini olish ikki usul bilan amalga oshiriladi:

1. Metallga uglerodni titan karbidlariga (TiC) yoki (mos X25T markali po'latga) bog'laydigan kuchli karbid-tashkil etuvchilar (**Ti, Nb, V**) ni kiritishi bilan.

2. Payvandlashdan keyin 900°C da po'lat **kuydiriladi**, (kuydirilib yumshatiladi), donalardagi va po'lat donalari chegaralaridagi xrom miqdori tenglashtiriladi.

350 - 550 °C da ishlaydigan konstruksiyalar uchun 475 °C gradusli mo'rtlik 600 °C da payvandlashdan keyin bo'shatilib bartaraf etiladi.

Ferrit po'latlarni payvandlash ЭФ-25 va ЭФ-30 turdagi elektrodlar bilan ferritli po'latdan qilingan sterjenlarda amalga oshiriladi.

5.17. AUSTENITLI XROM-NIKELLI PO'LATLARNI PAYVANDLASH JARAYONI

Austenitli po'latlarda 0,14% gacha uglerod miqdori bo'lganda 15 dan 25% Cr va 8 dan 35% gacha Ni bo'ladi. Xrom nikelli po'latlarning ikki guruhi farqlanadi.

a) 18-8 turdagi po'latlar (1X18H10T, X18H11B, X18H12M2T)

b) 25-20 turdagi po'latlar (X25H20C2, X23H18, X23H13)

18-8 turdagi po'latlar zanglamaydigan va oksidlanishga bardoshli bo'lib, o'z xossalarini 700-750 °C temperaturada saqlab qoladi.

25-20 turdagi po'latlar metall kuyundiligiga bardoshli va issiqqa chidamli hamda gaz muhiti sharoitida 1100 – 1150 °C gacha temperaturada ishlashi mumkin.

Austenitli po'latlarning payvandlanuvchanligini baholashda avvalo shuni nazarda tutish kerakki, ular fazaviy o'zgarishlar ta'siriga berilgan emas, shuning uchun payvandlashda termik ta'sir qilish zonasida tarkibiy o'zgarishlarning paydo bo'lishi bilan bog'liq qiyinchiliklar bo'lmaydi va sovuq darzlarning paydo bo'lish xavfi pasayadi.

Bu po'latlarni payvandlashni qiyinlantiruvchi asosiy omillar quyidagilardir:

1. Chok metallining kristallik issiq darzlar vujudga kelishiga qarshiligining pastligi;

2. Metallning korroziya mustahkamligini yo'qotish ehtimoli;

3. Foydalanish vaqtida payvand birikma metallining mo'rtligini kuchayishi (ko'payishi).

4. Eritilgan metallda g'ovaklarning vujudga kelishi.

Issiq darzlarga moyilligi.

Austenitli tuzilmaga ega metallning darzlar paydo bo'lishiga yuqori darajada moyilligi quyidagi sabab bilan izoxlanadi:

a) austenitli metallning issiqlik fizik xususiyatlari bilan;

b) chok metallining traskristallitli tuzilishi bilan;

v) ustunli kristallitlarning chegaralarida joylashgan, oson eruvchan tashkil etuvchilarning mavjudligi bilan;

g) poligonizatsiya hodisasi bilan.

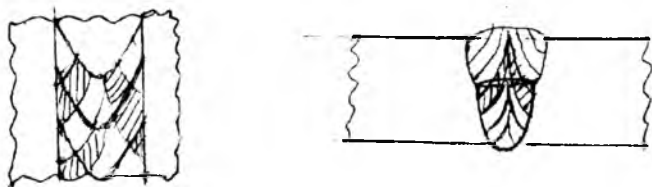
Austenitli po'latlarning issiqlik fizik xossa issiq darzlarning paydo bo'lishiga imkon beradi. Masalan, issiqlik o'tqazuvchanlikning pasayishi va xromnikelli po'latlarning issiqlikdan kengayish koeffitsientining yuqoriligi, chok metallida uning kristallanishida ta'sir qiluvchi kuchlanishlarni oshiradi va ularning nixoyatda notekis taqsimlanishiga imkon beradi.

Masalan, austenitli po'latlar va kam uglerodli po'latlarning taqqoslama ma'lumotlari.

5.15-jadval

Po'latlarning xossalari	CT 3	18-8	25-20
Erish temperaturasi, °C	1535	1400-1430	1390-1410
Issiqlik o'tkazuvchanlik λ kal/sm·sek °C	0,096	0.039	0.03±0.04
Chiziqli kengayish koef-ti $\alpha \cdot 10^6$			
0° dan 100°C gacha qizdirishda	12	17,3	15,0
0° dan 500°C gacha qizdirishda		18,5	18,0

b) Birlamchi tuzilmaning transkristallik dag'al dendritli tuzilishi qotib qolgan metallda tuzilmaviy almashishlarning mavjud emasligi bilan bog'liq; shuning uchun chokdagi qatlamlar soniga bog'liq bo'lmagan holda har bir keyingi qatlam kristallari avvalgi qatlam kristallarining davomi hisoblanadi.



5.31-rasm. Issiq darzlarga moyil bo'lgan yirik dendridli struktura.



5.32-rasm. Qizdirish davomiyligini MKK moyillik paydo bo'lishi sxemasi.

TIX da (mo'rtlik temperatura intervali) transkristallit tuzilishi-darzlarga moyillikning ortishi.

v) Kristallar chegarasida joylashadigan oson eruvchi evtektik tashkil etuvchi evtektik xususiyatga ega kristallitlararo qatlamlar nomini oldi. Ularning qotish temperaturasi, odatda metallning qotish temperaturasidan past. Masalan, $\text{Ni}_3\text{S}_2 + \text{Ni}$ turdagi oson eruvchan sulfid evtektikalar erish temperaturasi 600°C atrofida, Ni-Nb tizimida niobiy tashkil etuvchi oson eruvchan evtektikalar taxminan 1270°C erish temperaturasiga ega. NiS asosida erish temperaturasi 644°C bo'lgan oson eruvchan evtektikalar hosil bo'lishi mumkin.

Korrozion mustahkamlik. Kristallararo korroziya austenitli po'latlarni payvandlashda ham kuzatiladi. Ferrit po'latdan farqli ravishda austenitli po'latlarda po'latni yuqori temperaturalardan sovitishda emas, balki po'latni takroriy isitishlarda xrom karbidlari tushib qoladi. Bunday isitish payvandlanayotgan po'latda chok atrofidagi hududda va keyingi qo'yilgan valiklardan unga issiqlik ta'sir qilganda yuz beradi.

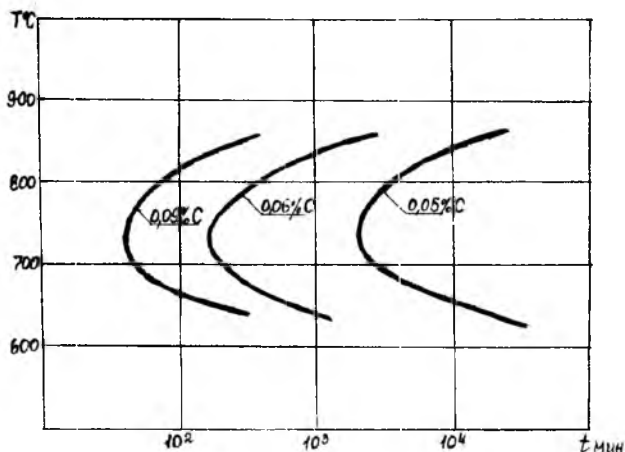
Eritmadan xrom karbidlarining tushib qolishi yuz beradigan $500 - 800^\circ\text{C}$ havfli temperaturalar oralig'i.

Austenitli po'lat odatda taxminan $1050 - 1100^\circ\text{C}$ temperaturalardan tez sovitish austenizatsiyalashdan so'ng eng yaxshi

xossalarni egallaydi. Metallga bunday ishlov berilgandan so'ng uy temperaturasi uchun juda yuqori bo'lgan uglerod miqdorini eritgan austenitning holati qayd etiladi.

Bu metallning ma'lum bir temperaturalar sohasida keyingi isitilishi asosan chegara yaqinida tushib qoluvchi karbid hosil bo'lishiga imkon beradi. Bu joyda eritma faqat ugleroddan kambag'allashmaydi, balki xromni ham yo'qotadi. Chegaralarda kambag'allashgan va don markazida me'yorida bo'lgan karbidlar, eritma tarkibining bir jinsli emasligi korroziyon muhit ta'sir qilgan holda dona chegaralari bo'ylab metall sirtidan ichkarisigacha korroziyaning rivojlanishiga imkon beradi.

Turli temperaturadagi metallga ta'sir qilish davomiyligi natijasida bunday MKK moyillik paydo bo'lishining sxematik bog'lanishni quyidagi sxemada ko'rsatamiz:



5.33-rasın. Metalldagi uglerod miqdorining kristallararo korroziyaga va isitish davomiyligiga ta'siri.

Donalar markazi va metall chegaralari yaqinida eritmaning diffuzion tekislanishi natijasida yuqori temperaturalarning ancha uzoq muddatni ta'sirida MKK ga qarshi mustahkam bo'lib qoladi.

Metall MKK ga sezgirlikni t_{kr} egallaguncha zarur bo'ladigan tutib turish kattaligiga uglerod miqdori katta ta'sir ko'rsatadi. t_{kr} qiymat

e'zgaradi. Shuning uchun MKK ga qarshi kurash vositalaridan biri xromnikelli po'latlarda uglerod miqdorining kamayishi hisoblanadi.

Metallga Cr dan kuchli, masalan **Ti, Nb** kiritilsa kuchli karbid hosil qiluvchilarni kiritish hisobiga ham t_{kr} ni oshirish mumkin. Bu holda austenit chegaralarida xrom bilan kambag'allashtirish kuzatilmaydi, chunki titan yoki niobiyning asosan karbidlari hosil bo'ladi.

3. Mo'rtlanish. 25-20 turdagi po'latlarning austenitli choklarida metallni 650 – 900 °C temperaturalar chegarasida uzoq vaqt isitishda sigmatizatsiya yuzaga keladi.

Sigmatizatsiyani V, Cr, Mn, W, Mo, Ni, Si, Nb, Cu tezlashtiradi. Uglerod bu jarayonga to'sqinlik qiladi. **σ - faza tarkibi** juda murakkab, xususan 25-20 turdagi po'latda hosil bo'ladigan **σ - faza** 1000 soat davomida isitilgandan so'ng 51,8% Cr; 3% Ni; 1,1% Si; 0,61% Mn; 44,62% Fe ni Fe: Cr ning 0.86 ga teng nisbatida olingan.

Shu bilan birga po'latdagi Cr miqdori 25% ni, Ni miqdori esa 18% ni tashkil etgan edi.

Chok metallini mo'rtlanishining ikkinchi turi 475 °C mo'rtlanish. ham uzoq vaqt isitish bilan bog'liq, ammo 325 – 525 °C temperaturalar orlig'ida va ayniqsa taxminan 475 °C temperaturada. Bu mo'rtlik xuddi sigmatizatsiya kabi yo'l bilan bartaraf etilishi mumkin, ya'ni 1000 – 1150 °C gacha isitib keyin tez sovitish bilan bartaraf etilishi mumkin.

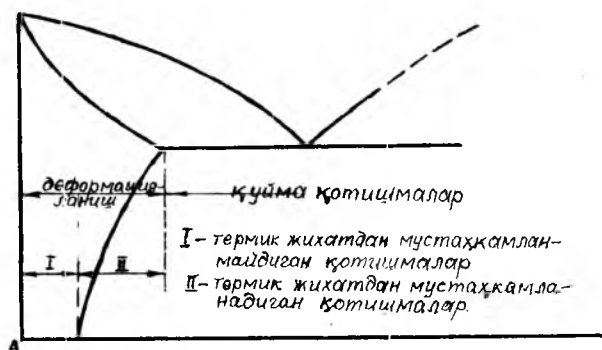
G'ovaklar. Austenitli po'latlarni payvandlashda g'ovaklarning paydo bo'lishining asosiy sababi N_2 ning ishtirok etishi hisoblanib, bu uning austenitda yuqori darajada eruvchanligi va austenitda diffuziyaning uncha katta bo'lmagan tezlikda kechishi bilan bog'liq.

5.18. ALUMINIY VA UNING QOTISHMALARINI PAYVANDLASH METALLURGIYASI VA TEXNOLOGIYASI

Aluminiy qotishmalarining tavsifi

Kichik og'irligi, nisbatan yuqori mustahkamligi, yaxshi ishlov beruvchanligi va oson deformatsiyalanish qobiliyatiga ega bo'lish bilan farqlanuvchi Al va uning qotishmalari mashinasozlik, aviasozlik va kemasozlik, kimyoviy apparatura ishlab chiqarish, qurilish, temir yo'l transporti va boshq.

Aluminiy qotishmalari ikki guruhga ajratiladi: deformatsiyalanish qotishmalar, quyma qotishmalar.



5.34-rasm. Evtektika tipi diagrammasi

Bu qotishmalarni ajratuvchi nazariy chegara elementlarning qattiq eritmadagi eruvchanlik chegarasi hisoblanadi.

Deformatsiyaga moyil qotishmalar legirlangan elementlarning eruvchanlik chegarasidan kichik konsentratsiyaga ega va isitilganda bir fazali holatga o'tqazilishi mumkin bo'lib, bunda ularning yuqori deformatsion qobiliyati ta'minlanadi.

Quyma qotishmalar erituvchanlikning chegaralari tashqarisida yotadi va tuzilmasida evtektikaga ega. Oxirgisining mavjud bo'lishi qotishmalarga yaxshi quyma xossalarini (suyuq oquvchanlik, shaklini egallash xususiyati) lekin ularning deformatsiyaga bo'lgan qobiliyatini yomonlashtiradi.

Aluminiy qotishmalarining tarkibiga kiruvchi ko'pchilik elementlar temperaturaning o'zgarishi bilan o'zgaruvchi cheklangan eruvchanlikka ega bo'ladi. Bu qotishmalarga termik ishlov bilan mustahkamlanish qobiliyatini beradi.

Termik ishlov berishda legirlovchi elementlari konsentratsiyasi xona temperaturasida eruvchanlik chegarasidan yuqori legirlovchi elementlar konsentratsiyasiga ega barcha qotishmalar ega bo'lishi kerak.

Shu munosabat bilan qotishmalar termik jihatdan mustahkamlanadigan qotishmalarga - legirlovchi elementlari xona temperaturasida eruvchanlik chegarasidan past bo'lgan konsentratsiyaga ega qattiq eritmalar, va termik jihatdan mustahkamlanadigan qotishmalar bo'lib, legirlovchi elementlari konsentratsiyasi bu chegaradan yuqori.

Termik mustahkamlanmaydigan qotishmalar - AMu, AMr, AMr3, AMr5B, AMr6 va boshqalar.

Termik mustahkamlanadigan qotishmalar - Д19, Д20, ВАД23, В92А.

Quyma qotishmalar payvand konstruksiyalarda juda kam qo'llaniladi.

Deformatsiyaga moyil payvand konstruksiyalarida ishlatiladigan qotishmalarning kimyoviy tarkibi (5.16-jadval).

5.16- jadval

Mark a	Cu	Mg	Mn	Zn	Fe	Si	Li	Ti	Cr	Zr	Be	V
AMts	0.1	0.2	1.0- 1.6	0.1	0.7	0.6	-	0.2	-	-	-	-
AMg 2	0.1	1.8- 2.6	0.2± 0.6	0.2	0.4	0.4	-	0.1	0.05	-	-	-

AMg 6	0,1	5,8- 6,8	0,5÷ 0,8	0,2	0,4	0,4	-	0,02 ÷ 0,1	-	-	0,00 02 0,00 5	-
AD- 31	0,1	0,4- 0,9	0,1	0,2	0,5	0,3÷ 0,7	-	0,15	-	-	-	-
1201	6,3	-	0,3	-	-	-	-	0,06	-	0,17	-	0,1
1420	-	5÷6	-	-	-	-	1,9÷ 2,3	-	-	0,15	-	-

5.18.1. Aluminiyni payvandlash metallurgiyasi (aluminiyning kislorod va azot bilan o'zaro ta'sirlashuvi)

Aluminiy kislorod bilan kuchli o'zaro ta'sirlashish qobiliyatiga ega. Normal temperaturada plyonka (parda)ning chegaraviy qalinligiga erishilgandan so'ng aluminiyning oksidlanishi amaliy jihatdan to'xtaydi.

Aluminiyni atmosfera havosi temperaturasi 20 °C bo'lganda pardaning chegaraviy qalinligi **7–14 kundan keyin** o'rnatiladi va 50÷100 Å ga (angstrem) etadi.

Aluminiyning oksidli pardasini muhim xarakteristikasi uning gazlarni, ayniqsa suv bug'ini adsorbtsiyalash qobiliyatidir. Suv bug'i oksidli parda bilan metallning erish temperaturasigacha tutilib turadi.

Katta mexanik mustahkamlikka ega bo'lgan (2kgs/mm²) aluminiyning oksidli pardasi aluminiyga qaraganda katta zichlikka ega bo'lib (2,85÷3,95) metall sirtida sirt taranglik kuchlari bilan oson tutib turiladi.

Aluminiyda legirlovchi qo'shimchalar mavjud bo'lganda oksidli parda tarkibi o'zgarishi mumkin.

kremniy yoki magniyni o'z ichiga olgan oksidli qorishmalar pardasi tarkibida mos ravishda sillimanit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) va magnezial shpinelning mavjud bo'lishi ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ko'rinadi.

Aluminiy qotishmalarida ishqorli va ishqorli yer elementlarining mavjud bo'lishida oksidli parda ularning oksidlari bilan boyiydi.

Shunga o'xshash murakkab oksidli parda ancha g'ovak, gigroskopik va metallni gazlar diffuziyasidan yomonroq himoya qiladi.

Aluminiy va uning qotishmalari sirtida oksidli plyonkaning mavjud bo'lishi payvandlash jarayonini qiyinlashtiradi. Yuqori erish temperaturasiga ega bo'lgan (2050°C) oksidli parda payvandlash jarayonida eriydi va metallni umumiy vannaning hosil bo'lishini qiyinlashtiruvchi mustahkam qobiq bilan qoplaydi. payvandlashda pardani buzish va yo'q qilish uchun hamda metallni takroriy oksidlanishdan himoyalash uchun choralar ko'rilishi kerak.

Al_2O_3 ni mustahkam birikmaga bog'lashning imkoni bo'lmaydi. SHuning uchun aluminiyni payvandlash uchun flyuslarning ta'siri eritilgan bilan disperslangan oksidli pardani eritish va yuvish jarayonlariga asoslangan.

Flyuslar asosini, odatda xlorli tuzlar, ishqorli va ishqorli er elementlarining oson eruvchan aralashmalari tashkil etadi, ularga ancha ko'p bo'lmagan miqdorda flyuslarning ta'sirini faollashtiruvchi ftorli birikmalar qo'shiladi.

Avval flyuslarning ta'siri flyuslar tarkibida mavjud bo'lgan ftoridlar bilan oksidli pardani eritishga asoslanadi deb nazarda tutilar edi. Biroq Al_2O_3 ning ftorlar bilan eruvchanligini taqqoslash bu izoxning extimoli kam deb tan olishga imkon beradi, chunki Al_2O_3 ning ftoridlarda eruvchanligi uncha katta emas va ularning flyuslardagi miqdori etarlicha emas. masalan, sof eritilgan xlorli Na va K tuzlarida aluminiy oksidi (Al_2O_3) deyarli erimaydi.

Flyus tarkibiga kriolit (K_3AlF_6) kiritilganda Al_2O_3 ning eruvchanligi uning flyusdagi konsentratsiyasiga proportsional ravishda ortadi. Biroq 900°C temperaturada flyusda 10% kriolit

miqdori bo'lganda Al_2O_3 ning eruvchanligi 0,15% dan ortiq bo'lmaydi.

Flyus ta'sirining quyidagi mexanizmi ancha extimollidir. Metallni isitish jarayonida metall va pardaning issiqlik kengayishining turli xil koeffitsientlari tufayli pardada juda mayda yoriqlar paydo bo'ladi. Yoriqlarga xloridlarni o'z ichiga olgan eritilgan flyus oqib kiradi. Aluminiy va flyusning o'zaro ta'siri natijasida AlCl_3 - brikmasi vujudga keladi aluminiy xloridi 183 °C temperaturada xaydaladi va payvandlashda bug'ning juda yuqori elastikligiga ega bo'ladi. Suyuq metall bilan qo'shilish joyida hosil bo'lgan AlCl_3 bug'lari uning sirtidan parda **zarrachalarini uzib oladi**. Bu zarrachalarni harakatdagi flyuslar olib ketadi va qisman unda eriydi.

Flyuslarda mavjud ftoridlarning faolligini oshirishga ijobiy ta'sir ko'rsatishini shu bilan izoxlash mumkinki, ftoridlar Al_2O_3 ni eritib, pardada hosil bo'ladigan yoriqlarning chegaralarini yemirib yuboradi va parda ostidagi suyuq metallga flyuslarning kirishini engillashtirib, uning yemirilishi va yo'qotilishi jarayonini faollashtiradi.

Argon himoyasida yoyli payvandlash sharoitida oksidli pardani yo'qotish (olib tashlash) katod atrofida yuz beradigan elektr jarayonlar (katodli changlanish) natijasida sodir bo'ladi. Argon himoyasida yoyli payvandlash jarayonida flyus bilan payvandlashdagidek pardaning faqat yemirilish (uning olib tashlanishi emas) o'rinli bo'lgani uchun buyumning chetlarini butun sirti bo'ylab yanada yupqa va bir jinsli parda hosil qilish maqsadida payvandlash oldidan detallarga dastlabki ishlov berish sifatiga talablarni oshirish zarurligi vujudga keladi

5.18.2. Oksidli pardani yoy bilan yemirilishi

Argonda payvandlashda oksidli pardaning yemirilishi juda tez kechadi, faqat teskari qutblikda.

Himoya shiti orqali yoyning harakatini kuzatib shuni sezish mumkinki, katod dog'i bilan urinish sohasida oksidli pardadan so'f metallni namoyon qilib, alohida parda bo'lakchalari ishlab chiqariladi.

Asta sekin metall dog'ining ko'chishiga qarab, metall sirti tozalana boradi.

Yoy, to'g'ri qutblikda argonda yonganda oksidli pardaning bunday yemirilishi aniqlanmagan.

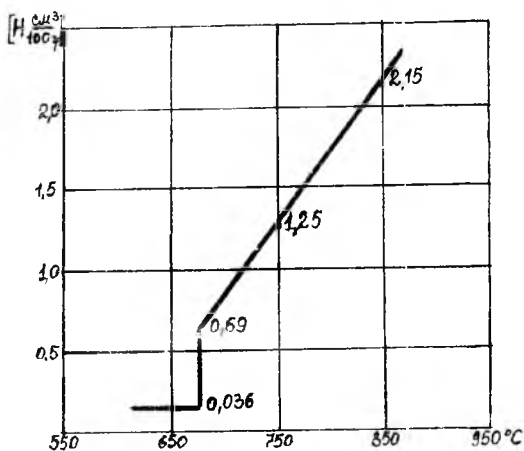
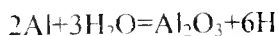
Payvand yoyi bilan katodda tozalash mexanizmini o'rganishga juda ko'p asarlar (ishlar) bag'ishlangan (~100 yil). Masalan, **Pamfri va Xerbst** tozalashni katodni musbat zaryadlangan ionlar bilan bombardimon qilish oqibati deb taxmin qilishadi.

Xerbst oksidni yo'qotishni **mikrooqimli** ishlov berish bilan taqqoslar edi. Mualliflar **katodli changlatish gipotezasini** oqlash uchun ajratilayotgan har bir zarrachaga ikki va undan ortiq musbat zaryadlangan ion ta'sir ko'rsatadi, deb taxmin qilishadi.

Aluminning vodorod bilan o'zaro ta'sirlashuvi

Vodorod boshqa gazlardan farqli ravishda aluminiyda erish qobiliyatiga ega va ayrim sharoitlarda chok metallida g'ovaklar hosil qilish qobiliyatiga ega.

Payvandlashning real sharoitlarida yoyning gaz fazasida molekulyar vodorodning partial bosimi arizimas darajada kichik. SHuning uchun payvand vannasida eruvchi vodorodning asosiy manbai namlikning metall bilan bevosita o'zaro ta'sirlashish reaksiyasi xizmat qiladi:



5.35-rasm. Vodorodni aluminiyda erish grafigi

Bu reaksiya natijasida atomlar vodorod konsentratsiyasi katta miqdorlarga etadi.

Ajralayotgan vodorod puffakchalari vannadan suzib chiqishga ulgurmay, g'ovaklar hosil qilib chok metallida qoladi.

5.17-jadvalda aluminiy sim va folganing 1 sm^2 sirtidan ularni payvandlashdan oldin turli xil ishlov bergandan so'ng va 1 sutkagacha saqlagandan so'ng isitilganda ajraladigan vodorodning sm^3 dagi hajmini tavsiflovchi α koeffitsientining qiymati berilgan.

5.17- jadval

Yuzalarni tayyorlash	Asosiy metall uchun. a_1	Payvandlash simi uchun. a_2
Ortofosfor eriyimasida oshlash	0,0008	0.001
Ishqor vannasida oshlash	0.00165	0.0018
Simli cho'tka b-n tozalash	0,004	-
Elektrli sayqallash	-	0.00022

5.18.3. Payvand chokli metallni modifikatsiyalash

Aluminiy qotishmalarining xossalriga mayda dispersli nometall kirishmalar katta ta'sir ko'rsatib, bu kirishmalar intermetallidlar, oksidlar, nitridlar, kirishmalar, ishqorlar va ishqor yer metallaridan iborat.

Modifikatsiyalashning ancha barqaror samarasini qiyin eruvchi zarrachalar yaratadi.

Odatda ular ikki guruhga bo'linadi:

Birinchi guruhga qiyin eruvchi oksidlar: Al_2O_3 , MgO , TiO_2 kiradi. Modifikatsiyalashning bu yo'li kam istiqbollidir.

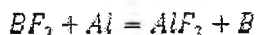
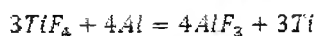
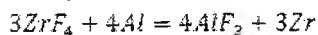
Ikkinchi guruhga titan va borning. sirkoniy intermetallidlari: $ZrAl_2$, $TiAl_3$, AlB_2 kiradi. Ular ancha istiqbollidir. Qiyin eruvchi zarrachalar kristall markazlarga qo'shimcha hisoblanadi (paydo bo'ladi) va bu bilan ko'p miqdordagi kristallarning bir vaqtda paydo bo'lishiga imkon beradi.

Kompleks tuzlar qo'llaniladi: KBF_4 , K_2TiF_6 va K_2ZrF_6 . Bu tuzlarning xossalari.

5.18- jadval

Tuz	Zichligi, g/sm ³	Harorat, °C
K_2ZrF_6	3,58	690÷700
K_2TiF_6	2,99	700÷710
KBF_4	2,58	530÷540

Isitilganda har bir kompleks tuz KF ga va modifikatsiyalovchi elementning tegiqli fluoridiga ajraladi. Aluminiy bilan reaksiyasi quyidagi tenglamalar bilan yozilishi mumkin:



Ajralgan sirkoniy, titan, yoki bor aluminiyda eriydi, AlF_3 esa shlakka aylanadi.

A-5 markali texnik aluminiyni payvandlashni flyus bo'yicha bajarishadi (flyus tarkibi). Modifikatsiyalangan flyuslarning kimyoviy tarkibi.

5.19-jadval

Flyus nomeri	K_2ZrF_6	KCl	NaF	LiF	Zr. % ajralgan
70	40	30	20	10	0,63
80	30	40	20	10	0,42

Flyuslar kamida 30% kaliy fluor tsirkonatga ega bo'lishi kerak. Miqdor bundan kam bo'lganda modifikatsiyalash effekti namoyon bo'lmaydi.

5.18.4. G'ovakliklarga moyillik

G'ovaklikning asosiy sababi vodorod hisoblanadi. Faraz qilinishicha, g'ovaklarning paydo bo'lishi kristallanishda uning eruvchanligining keskin kamayishi oqibatida eritmada vodorodning ajralishi bilan bog'liq.

Payvandlash jarayonining yuqori temperaturalarida vodoroddan tashqari g'ovaklikni boshqa engil oquvchi elementlar ham vujudga keltirishi mumkin.

Masalan, kriolit isitilganda ftorni oson beradi. ftor g'ovakliklar hosil bo'lishi manbasi hisoblanadi, u faqat vodorod va namlik bilangina emas, balki kremniy bilan ta'sirlashib SiF_4 ni hosil qiladi, u o'z navbatida suv bilan reaksiyada ftorli vodorodni beradi.

Vodorodning aluminiy bilan ikki kimyoviy birikmasi mavjud – AlH_3 va AlH

Aluminiy gidridi AlH_3 mustahkam emas va faqat eritmada mavjud bo'lishi mumkin.

Aluminiy kremniy yoki Cu bilan legirlanganda unda vodorodning eruvchanligini jiddiy pasaytiradi.

Magniy vodorodning eruvchanligini kuchli ravishda oshiradi.
Al-Mg qotishmalarda vodorodning eruvchanligi:

$$\text{Al-3\%Mg uchun } -\lg[H] = -\frac{2695}{T} + 0,4437 + 1,2 \lg PH_2$$

$$\text{Al-4,5\%Mg uchun } -\lg[H] = -\frac{2695}{T} + 0,4798 + 1,2 \lg PH_2$$

Mustahkam gidridlar (**Li, Na, K, Ba**) tashkil etuvchi ishqorli va ishqorli yerli metallar vodorodning eruvchanligini jiddiy orttiradi.

Vodorod yoyiga kelayotgan turli xil manbalarni quyidagi tarzda birlashtirish mumkin: vodorodni o'z ichiga olgan iflosliklar va asosiy metall sirtidagi namlik, shuningdek unda erigan vodorod; sirtidagi iflosliklar va namlik. shuningdek o'tkazish simida yoki elektrod simida erigan vodorod.

5.19. TITAN VA UNING QOTISHMALARINI PAYVANDLASH METALLURGIYASI VA TEXNOLOGIYASI

Titanni texnikaning turli xil sohalarida qo'llanishining uzluksiz kengayishi uning fizik-kimyoviy xossalarining qulay qo'shilishi bilan va avvalo yuqori solishtirma mustahkamligi bilan ($\frac{G_3}{V_{y4.B}}$). titanning bu ko'rsatkichi konstruksion materiallar uchun eng yuqori ko'rsatkichlar biridir.

Vatanimiz va chet el mashinasozligida texnik titan ($G_3 = 35 \div 45 \frac{\text{KTC}}{\text{mm}^2}$) va uning past (kam legirlangan qotishmalari) ($G_3 = 80 \div 90 \frac{\text{KTC}}{\text{mm}^2}$) juda keng tarqaldi.

Hozirgi vaqtda vazifasiga ko'ra turlicha bo'lgan titan qotishmalari sanoatda qo'llanilmoqda:

a) konstruksion;

b) issiqbardosh;

v) korroziyaga bardosh va boshq.

Quyidagilar juda istiqbolli hisoblanadi.

g) yuqori legirlangan termik mustahkamlanuvchi titan qotishmalari ular bunday qotishmalarning barcha afzalliklarini yanada to'laroq amalga oshirishga imkon beradi.

Qo'llanish hajmlari payvandlashda jiddiy qiyinchiliklar uchraydigan payvandlashning muvaffaqiyatli o'zlashtirishiga bog'liq. Ular quyidagilar bilan yuzaga keladi: yuqori temperaturalarda, ayniqsa erigan holatda katta kimyoviy faollik bilan;

- atmosfera gazlariga nisbatan faollik bilan;

- yuqori erish temperaturasi bilan;

- payvandlash termik siklida ko'pincha sinuvchan (mo'rt) fazalarning paydo bo'lishiga olib keluvchi payvand choki va chok atrofidagi hududda tuzilmaviy almashishlar bilan.

Titan ikkita allotropik modifikatsiyaga ega: past temperaturali – α (ТИУ zich o'ralgan geksojen panjara) – 882 °C dan past temperaturalarda va β (ОЦК hajmiy kub markaziy yechimlar) - yanada yuqori temperaturalarda hatto erish nuqtasigacha.

5.20-jadval

Titan va boshqa metallarning ayrim fizik xossalari

Metallarning xossalari	Ti	Fe	Mg	Al	Cu
Zichligi, g/sm ³	4,51	7,86	1,74	2,7	8,94
Erish temperaturasi °C	1670	1539	650	660	1083
Qaynash temperaturasi	3260	2740	1107	2327	2595
20 °C da solishtirma issiqlik o'tqazuvchanlik $\frac{\kappa_{20}}{\kappa_{1000}^{\text{Cu}}}$	0,045	0,18	0,376	0,538	0,94

5.21-jadval

Qotishmalarning tasnifi		Qotishma markasi	O'rtacha kimyoviy tarkibi, %	$\frac{R_{\text{Fe}}}{G, \text{kg}^2}$	$\delta, \%$
Mustahkamlik darajasi bo'yicha	Tuzilma turi bo'yicha				
Mustahkamli- gi kam, yuqori plastik	α - qotishmalar	BT1-0	Legirlanmagan	40÷55	30
		OT4-0	0,8Al; 0,8Mn;	50÷65	30
		OT4-1	1,5Al; 1,0Mn;	60÷75	20
O'rtacha mustahkam	α - qotishmalar	BT-5	5Al	75÷90	10
		BT-4	5Al, 1,5Mn	85÷100	12
		BT-20	6Al, 2,0Zr, 1,0V	95÷115	8
Yuqori mustahkam	$\alpha+\beta$ qotishma	BT-16	2,5Al; 5,0Mo; 5,0V	110÷125	12
		BT-18	6,0Al; 1,0Mo; 1,1Zr; 1	105÷125	9
		BT-22	,0Nb	140÷150	5
		BT-23	5,0Al; 5,0Mo; 5,0V; 1, 0Fe; 1,0Cr 4,5Al; 2,0Mo; 4,5V; 6, 0Fe; 1,0Cr	>150	5

5.19.1. Titandagi aralashmalar

Texnik sof titanning asosiy aralashmalarga uning payvandlanuvchanligiga eng katta ta'sir ko'rsatuvchi asosiy aralashmalari qatoriga kislorod, azot va vodorod gazlari. shuningdek uglerod kiradi. Boshqa aralashmalar masalan, **Fe, Si, Ni** metallning xossalariga uncha katta ta'sir ko'rsatmaydi, chunki titanda arzimagan miqdorlarda bo'ladi.

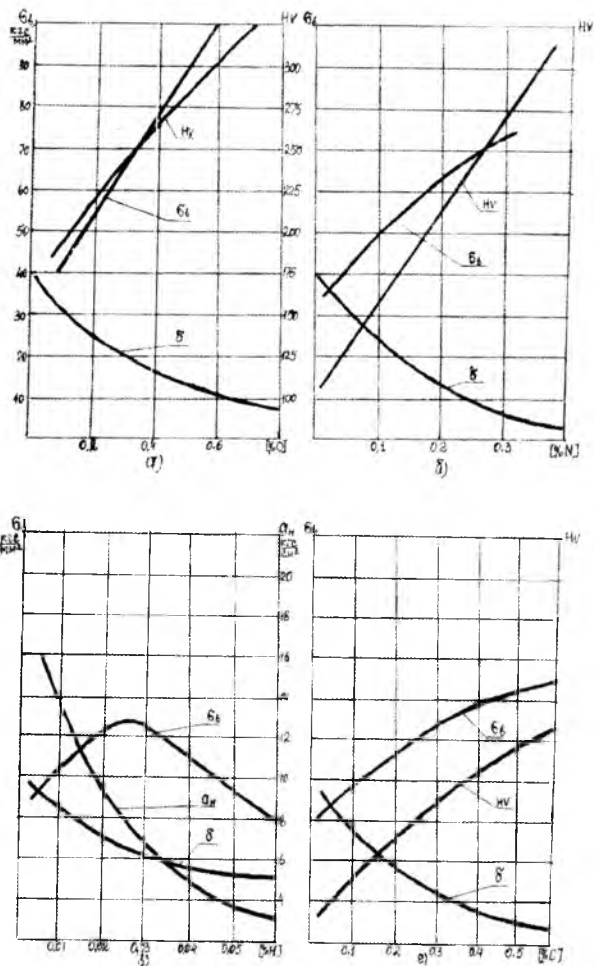
Yuqori temperaturalarda kislorod ham α -Ti da ham β -Ti da ham oson erib, joriy qilish eritmalarini hosil qiladi. Titanning havoda oksidlanishi taxminan 500°C temperaturada boshlanadi. Bu temperaturagacha metallni oksidli nitridli parda himoya qiladi, u titanning sirtida mustahkam o'rtnashib oladi (altirilgan qatlam).

Titanda oksidlarning eng jadal erishi taxminan 850°C atrofida boshlanadi. Shu ham aniqlanganki, havoda mavjud bo'lgan azot titanning oksidlanishini tezlashtiradi.

Titanning azot bilan yaqinligi shu darajada kattaki, u azot muhitida yonadigan yagona elementdir. Titanning azot bilan yuqori temperaturali reaksiyasida metallda oson eruvchan titan nitridlari hosil bo'ladi.

Azot titanda bo'la turib, kislorod kabi ignali α '-fazaning paydo bo'lishiga imkon beradi va yana kislorodga qaraganda ko'proq darajada titanning plastikligini pasaytiradi va mustahkamligi hamda qattiqligini oshiradi.

Vodorod titan tomonidan juda katta miqdorlarda yutiladi. Vodorodning titanda eruvchanligi 1 mas% ga etadi va vodorodning temirda erishidan ming va o'n ming marta ortadi (jadvalga qarang).



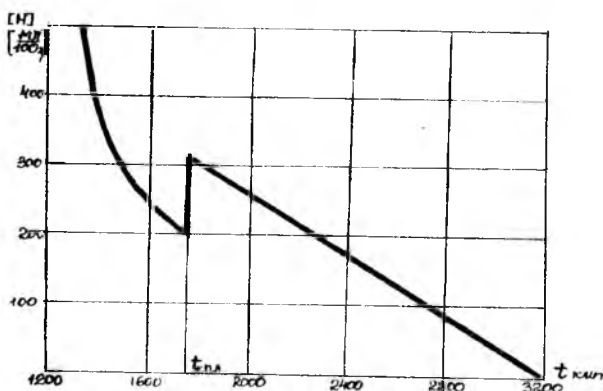
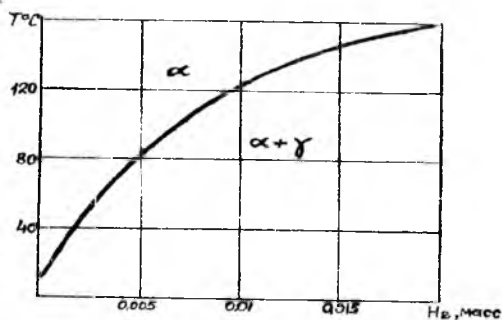
5.36-rasm. Kislorod, azot, vodorod va uglerodning titanni mexanik xossalriga ta'siri.

Azot kislorod kabi α - fazani barqarorlashtiruvchi element hisoblanadi, u α -faza sohasini kengaytiradi.

Temperatura. °C	Vodorodning eruvchanligi. [$\frac{\text{cm}^3}{100 \text{ g}}$]	
	Fe	Ti
20	-	40300
500	0.75	35400
1000	5,50	6500

Titanning shu darajada katta miqdordagi vodorodni yutish qobiliyatini joriy qilishning qattiq eritmasi bilan bir qatorda vodorodli birikmalarni titan gidridlarining hosil bo'lishi bilan izohlash mumkin. Temperatura etilishi bilan titanning gidridlar hosil qilish qobiliyati pasayadi. Vodorodning α -Ti eritmada maksimal eruvchanligi evtektoid aylanishning 320 °C ga teng uy temperaturasida 0,13 mas % (massasi bo'yicha)ni tashkil etadi. Aylanish past temperaturali joriy qilish fazasi- γ ning hosil qilinishi bilan birga kechadi, u o'zgaruvchan tarkibdagi titan gidrididan iborat bo'ladi.

Temperatura ortishi bilan eruvchanlik asta-sekin kamayadi, u xona temperaturasida faqat (0.002 mas%) massa bo'yicha oshadi.



5.37-rasm. Vodorodni titanda eruvchanlik grafigi.

Oxirgi paytgacha vodorodning erish nuqtasida va o'ta qizdirilgan suyuq metalda eruvchanligini tavsiflovchi aniq ma'lumotlar yo'q edi. Faqat yaqindagina V.I. Lakomskiy ajoyib metodikani qo'llab, keng temperaturalar intervalida sof erigan titanda vodorodning eruvchanligini aniqladi

Vodorodning suyuq titanda eruvchanligi. grafikdan ko'rinadiki, erish temperaturasida suyuq titanda vodorodning eruvchanligi sakrashsimon ortadi va vodorodning qattiq titan bilan absorbttsiyalanishidan taxminan 1.7 marta ortadi. Suyuq titanni qizita borilgani sari unda eruvchanlik pasayadi. Uglerod titanda juda oz miqdorda eriydi. Uglerodning α -Ti dagi maksimal eruvchanligi $\alpha \rightarrow \beta$ aylanish nuqtasiga yaqin temperaturada 0,28 mas% ni tashkil etadi.

Temperaturaning pasayishi bilan α -Ti da uglerodning eruvchanligi keskin pasayadi. β -Ti da uglerod taxminan 0,06 mas%, ya'ni α -Ti dagiga qaraganda deyarli besh marta kam eriydi.

Titanda uglerodning kam eruvchanligi oqibatida metallda uglerodning o'ndan bir ulushlarining bo'lishi karbid ajralishiga va metallning sinuvchanligiga (mo'rtlikka) olib keladi.

Mustahkamligi kam guruhiga mustahkamlik chegarasi $75-80 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ bo'lgan qorishmalar kiritiladi.

Mustahkamligi o'rtacha qorishmalar qattiqlashtiruvchi termik ishlovga qo'yilmaydi va $110-120 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ mustahkamlik chegarasiga ega bo'ladi. Yuqori mustahkamlikka ega titan qotishmalar maxkamlovchi termik ishlov berishdan so'ng toblash va undan keyingi eskirish (starenie) - $G_s \geq 140 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$ ga ega bo'lishi mumkin.

Titan qotishmalarida aralashmalar miqdori tartibga solinadi.

5.23- jadval

Aralashma	O ₂	N ₂	H ₂	C	Fe	Si	Zr
Miqdori. %	0,15÷0,2	0,05	0,006÷0,015	0,1	0,25÷0,30	0,15	0,3

5.24-jadval

Turli tartibdagi volframli elektrodlar uchun yo'l qo'yiladigan tok yuklanishi

Elektrod diametri. mm	Yo'l qo'yiladigan tok yuklanishi, A			
	CBИ-1	BT-15	BJI	BЧ
2	180	160	90	20
3	320	300	250	190
4	610	590	490	380
5	900	820	720	590

CBИ-itriyli volfram BT-toriyli; BJI-lantanli; BИ-sof
volframli:

5.19.2. Titandagi nuqsonlar

Birinchi guruhga payvand chokining paydo bo'lishi jarayonida metallurgik, termik va gidrodinamik hodisalar bilan bog'liq nuqsonlar kiradi. Bu chok metallida va chok oldi zonasidagi g'ovaklar, sovuq darzlar, uzaytirilgan kanallar, metall choki va payvand birikmasining mustahkamlik va plastiklik xossalarining cheklanishi, payvand oldi hududi metall xossalarining o'zgarishi. Titan va uning qotishmalari payvandlashda issiq darzlarning paydo bo'lishiga (kristallanish) moyil emas.

Ikkinchi guruh – choklarning shakillanishi nuqsonlari: birikmaning to'la erimagan qismi kemtiklar, kuyishlar, toshmalar, volframli qo'shimchalar, kamalaksimon tovlanish ranglari, choklar o'lchamlarining chetga chiqishlar va x.k.

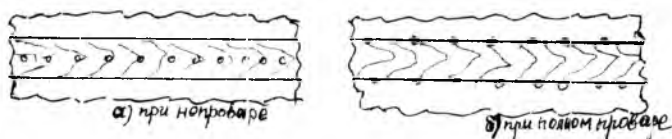
Payvandlashda tub o'zgarishning yuzaga kelishi soviyotgan chok metalli payvand qilish hududini va chok oldi hududini inert gazlar bilan yomon himoya qilinishiga bog'liq. Yaxshi himoyalashda choklar yaltiroq kumushrang sirtga ega bo'ladi. Somon sariq rangdagi choklarni tuzatmasdan qoldirishga ruxsat etiladi. Och-ko'k rangga ega choklarni metall cho'tka bilan tozalash va yog'sizlantirish zarur.

Ko'k va kulrang rangli choklarni asosiy metallgacha qirqish bilan yo'qotish kerak. Chok metallidagi volfram krishmalar erimagan elektrod bilan payvandlashda volfram elektrodining yemirilishi yuz beradi. Ximoyaviy inert gaz kislorod bilan ifloslanganda yemirilish tezkor yuz beradi. Volfram zarrachalari chok metallida erimagan holatda qoladi, kuchlanishlar konsentratori bo'lib xizmat qiladi, mustahkamlik va elastiklikni kamaytiradi, birikmalarning germetikligini buzilishining sababi bo'lishi mumkin.

Ish boshlashdan oldin o'tkirlangan volfram elektrodni payvandlash uchun qabul qilingan rejimda besh karrali yondirish bilan kuydirish zarur.

Siqilgan yoy bilan titanni avtomatik payvandlashda rejimlarning ma'lum bir sohasida chok ildizida inert gaz bilan to'ldirilgan, g'ovaklarning sirtga chiqmaydigan gaz bo'shliqlari hosil bo'ladi.

Titanni payvandlashda eng ko'p tarqalgan nuqson g'ovaklik hodisasidir. Yaxshi to'la eritilmaganda g'ovaklar chok o'qi bo'ylab zanjir shaklida joylashadi, to'liq eritilganda chok o'qi bo'yicha zanjir bo'lib zanjir va chegara yaqinidagi guruhlar tarzida joylashadi. Chok kesimi bo'yicha g'ovaklar uning sirtidan boshlab sirtidan turli masofada joylashishi mumkin va 0,01 dan $2\div 3$ mm gacha o'lchamlarga ega bo'lishi kerak.



5.38-rasm. Titan qotishmalarini payvandlashda hosil bo'lgan g'ovaklar.

Ma'lum bir sharoitlarda chok joylarida darzlar vujudga keladi, ular alohida g'ovakliklardan boshlab rivojlanadi. Chok metallining g'ovakliklardan darzlar paydo bo'lishiga qarshilik ko'rsatishini pasaytirishda qodir bo'lgan omillar qatoriga chok metallining gaz aralashmalari bilan ifloslanganlik darajasi, payvandlanayotgan metallning tuzilmasi va plastik xususiyati, qoldiq kuchlanishlar darajasi va boshqalar kiradi.

G'ovaklikning oldini olish choralari:

- payvandlanuvchi detallarning chetlari sirtlariga payvandlashdan bevosita oldin mexanik yoki “issiqlik usuli” bilan ishlov berish.

- payvand chetlarini va o'tqazish (prisadka) qo'shimcha simini kislotaga eritmasida ochiltirish (1 litr eritmaga 540 ml 65% li HNO_3 va 123 ml li 40%li HF)

- payvand vannaning vedorod puffakchalari suzib chiqishi uchun etarli bo'lgan mavjud bo'lish uzoqliligini ta'minlovchi payvandlash rejimini qo'llash.

- EMM (elektromagnit maydoni) ni qo'llanish (payvand jarayonida)

- flyus-pastani AHT-A ni qo'llanish.

Titan qotishmalardan qilingan payvand konstruksiyalarda xavfli va keng tarqalgan nuqsonlar qatoriga **sovuq darzlar** kiradi. Ularning

paydo bo'lishi payvand qotishmalarining kimyoviy tarkibi va asosan ulardagi o'rtacha aralashmalar gazlarning miqdori bilan, shuningdek fazoviy va payvand brikmalarining va uning plastikligini kuchlangan holatiga bog'liq tuzilmaviy aylanishlar bilan belgilanadi.

Titanning payvand chokida sovuq darzlarning asosiy xususiyati ular rivojlanishining sekinlashgan harakteridir darzlar hosil bo'lguncha ketadigan vaqt bir necha minutdan bir necha yillargacha davom etadi.

Sovuq darzlarning hosil bo'lishini oldini olishning eng samarali chorasi asosiy metallarda va chokda **kislorod, vodorod va azot** miqdorini cheklashdir.

Aralashmalarining yo'l qo'yiladigan qiymati odatda, (dopustimoe soderjanie primesey) texnologik titanni payvandlashdagidan pastdir.

Kuchlanishni kamaytirish uchun kuydirib yumshatish-metall chokini, darzlar paydo bo'lishining, shu jumladan g'ovakliklar paydo bo'lishining oldini oluvchi muhimshartlardan biri hisoblanadi. Payvandlashni tugallash bilan kuydirib-yumshatish o'rtasidagi oraliqni qisartirish darzlarning paydo bo'lishi va rivojlanishi uchun qobiliyatini pasaytiradi.

5.19.3. Titan va uning qotishmalarini payvandlash texnologiyasi

Flyus ostida payvandlash. Payvandlash uchun kislorodsiz ftoridli quruq granulyatsiyadagi AH-T seriyasidagi flyuslardan foydalaniladi. Markani payvandlanayotgan metallning qalinligiga qarab tanlab olinadi. Qalinligi 2,5-8 mm bo'lgan metallarni payvandlashda **AH-T1** (79,5% CaF_2 ; 19 % $\text{BaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 1,5% NaF); **AH-T3** (87,6% CaF_2 ; 10,7 % $\text{BaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 1,7% NaF) flyuslardan foydalaniladi, yanada qalin metallni payvandlashda AH-T7 flyusidan foydalaniladi. Payvandlash teskari qutubli o'zgarmas tokda amalga oshiriladi. Elektr simining o'ta qizishining oldini olish uchun payvandlashni elektrod simining diametriga bog'liq holda tayinlanadigan elektrodning uncha katta bo'lmagan qulochi (vilet) bilan olib boriladi.

5.25-jadval

Elektrod diametri, mm	2,0 – 2,5	3,0 – 4,0	5,0
-----------------------	-----------	-----------	-----

Elektrod qulochi, mm	14,0 – 16,0	17,0 – 19,0	20,0 – 22,0
----------------------	-------------	-------------	-------------

Elektrod simini atmosfera bilan oʻzaro taʼsirlashuvidan saqlash uchun flyus qatlami balandligi elektrod qulochidan katta boʻlishi kerak. Flyusni payvandlashdan oldin 200 – 300 °C haroratda toblash kerak.

Elektr-shlak payvandlash. Payvandlashda AH-T2 markali flyus qoʻllaniladi (bir komponentli flyus - CaF_2). Erigan shlak vannasini argon gazi bilan qoʻshimcha himoyalanaadi (barbotirlash deyiladi).

Payvand chokini termik taʼsir zonasini (500 °C dan yuqori boʻlgan) qoliplovchi(suv bilan sovituvchi) qurilmani eni kengroq boʻlishi shart.

1. Рыкалин Н.Н. Тепловые основы сварки. Москва, 1947.
2. Фролов В.В. и др. Теоретические основы сварки. Москва, 1979.
3. Абралов М.А., Дуняшин Н.С., Эрматов З.Д., Абралов М.М. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник. - Т.: Comron press, 2014.
4. Abralov M.A., Dunyashin N.S., Abralov M.M., Ermatov Z.D. Eritib payvandlash texnologiyasi va jihozlari. O'quv qo'llanma. – T.: Voris, 2007.
5. Теория сварочных процессов /В.Н. Волченко, В.Н. Ямпольский, В.А. Винокуров. Под ред. Фролова В.В. – М.: Высшая школа, 1988. – 569 с
6. Петров Г.Л., Тумарев А.С. Теория сварочных процессов (с основами физ. химии) – М.: Высшая школа. 1977. – 392 с
7. Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К. Теория сварочных процессов: – Киев: Вища школа, 1976. – 423с
8. Колганов Л.А. Сварочные работы. Учебное пособие. – М.: «Дашков и К», 2004.
9. Козулин М.Г. Технология электрошлаковой сварки в машиностроении. Учебное пособие. Тольятти: ТолПИ, 1994.
10. Маслов В.И. Сварочные работы. Учебное пособие. М.: Изд. центр «Академия», 1999.
11. Николаев А.А. Электрогазосварщик. Учебное пособие. – Ростов на Дону: Феникс, 2000.
12. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие/ М.Д. Банов, Ю.В. Казаков. М.Г. Козулин и др.: Под ред. Ю.В. Казакова. М.: Издательский центр «Академия», 2001.

13. Чебан В.А. Сварочные работы. Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004.

14. Чернышев Г.Г. Сварочное дело: Сварка и резка металлов. Учебное пособие. – М.: Академия, 2004.

15. Edward R. Bohard. Welding: Principles and Practces. - New York: Connect Learn Success. 2012.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
1-BOB. Payvandlash jarayonlarining issiqlik asoslari	
1.1. Payvandlash jarayonlari haqida..	4
1.2. Hisoblab aniqlanadigan asosiy dastlabki shart-sharoit.	5
1.2.1. Harorat maydonining tavsifi.	5
1.2.2. Metallning issiqlik-fizik koeffitsientlari	6
1.3. Fur'ening issiqlik o'tkazuvchanlik qonuni...	9
1.3.1. Sirtqi issiqlik berish.	9
1.4. Issiqlikning o'tkazuvchanlik differensial tenglamasi.	11
1.4.1. Hisoblashning chegaraviy shart-sharoiti va usullari.	12
1.5. Metallni payvandlash yoyi bilan qizdirishni hisoblash.	15
1.5.1. Yoyning issiqliklik manbayi sifatidagi tavsifi.	15
1.6. Issiqlik manbalari sxemalari va qizishni hisoblash sxemalari.	19
1.7. To'plangan oniy manbalar issiqligining tarqalish jarayonlari.	22
1.7.1. Oniy manbalar issiqligining tarqalish jarayonlari.	22
1.8. Yarimcheksiz jism sirtining nuqtaviy manba bilan qizdirilishi.	28
1.9. Plastinani chiziqli manba bilan qizdirish.	34
1.9.1. Tez harakatlanuvchi quvvatli manbalar.	36
1.10. Termik sikl va yuqori haroratlar.	38
1.11. Elektrodlar va elektrod simining qizishi va erishi.	41
1.11.1. Elektrodning tok bilan qizishini hisoblash.	41
1.11.2. Elektrod simni qizishi (isishi).	43
1.11.3. Elektrodni va simni payvand yoyi bilan qizitish.	45
1.11.4. Elektrod va elektrod simning erishi.	46
1.12. Asosiy metallni yoy bilan eritish.	49
1.12.1. Vannaning o'lchamlari.	49
1.12.2. Eritib qoplash jarayonining issiqlik samaradorligi.	51
1.12.3. Eritib qoplash va eritish chuqurligi jarayonlari unumdorligi.	54
1.13. Asosiy metallning termik sikli hisob-kitoblari	55

1.13.1. Tarkibiy o'zgarishlarni tartibga solish.	55
1.13.2. Berilgan haroratda oniy sovutish tezligini hisoblash.	58
1.13.3. Berilgan haroratdan yuqori isitish davomiyligini hisoblash.	61
1.14. Metallni gaz alangasida qizitish.	63
1.14.1. Gaz alangasining issiqlik manbai sifatidagi tavsiflari.	63
1.14.2. Metallni gaz alangasida qizdirish hisob-kitoblari.	67

2-BOB. Payvandlash materiallari va payvandlashda yuz beradigan jarayonlar

2.1. Payvandlash materiallari.	72
2.1.1. Payvandlash simi.	72
2.1.2. Erimaydigan elektrodlar.	73
2.1.3. Payvandlash flyuslari.	76
2.1.4. Himoyalovchi gazlar.	78
2.2. Payvandlash vannasida metallurgiya jarayonlari.	79
2.3. Po'latlarning payvandlanuvchanligi.	85
2.4. Payvand birikmalardagi nuqsonlar.	88
2.4.1. Nuqsonlarning turlari va ko'rinishlari.	88
2.4.2. Tashqi nuqsonlar.	90
2.4.3. Ichki nuqsonlar.	92
2.5. Payvandlashdagi nuqsonlarning konstruksiyalar ish unumiga ta'siri.	98
2.6. Nuqsonlarni tuzatish usullari.	100

3-BOB. Fizikaviy kimyoning asoslari

3.1. Fizikaviy kimyoning elementlari.	103
3.1.1. Gazlarning fizik xossalari va tenglamasi.	103
3.1.2. Issiqlik sig'imi.	105
3.1.3. Ichki energiya.	107

3.2. Fizik-kimyó konstantalari.....	108
3.2.1. Entalpiya (issiqlik miqdori).....	108
3.2.2. Entropiya.....	108
3.3. Gaz aralashmalarida kimyoviy reaksiyalar.....	109
3.4. Yuqori haroratda kechadigan reaksiyalar uchun entalpiyaning, entropiyaning va erkin energiyaning o'zgarishi.....	112
3.4.1. Gaz aralashmalarida kimyoviy muvozanat	114
3.5. Reaksiya izotermasi tenglamasi.....	116
3.5.1. Suyuq va gaz fazalari orasidagi fizik kimyoviy muvozanat to'g'risidagi ta'limot asoslari.....	119
3.6. Metallarning gazsimon kislorod bilan oksidlanishi jarayonlari.....	120
3.6.1. Oksid dissotsiatsiyasi elastikligi (qayishqoqligi).....	120
3.6.2. Oksid dissotsiatsiyasi elastikligining haroratga bog'liqligi.....	122
3.7. Gazlarning eruvchanligi.....	124
3.7.1. Eritib payvandlashda metallning kislorod bilan o'zaro ta'sirlashuvi....	125
3.8. Metallning vodorod bilan o'zaro ta'sirlashuvi.....	129
3.9. Metallning azot bilan o'zaro ta'sirlashuvi.....	134

4-BOB. Elektr yoy nazariyasi

4.1. Elektr yoyining elektrod va payvandlash metallariga ta'siri.....	137
4.2. Gazlar va bug'larning ionlanishi.....	138
4.3. Termik ionlanish darajasi.....	140
4.4. Yoy razryadida fizik jarayonlar.....	147
4.5. Katoddan elektronlar emissiyasi.....	155
4.6. Yoyning energetik balansi.....	157
4.7. Elektr yoyning harorati va volt-ampere tavsifi.....	161
4.8. Elektrodning qizishi va erishi.....	164
4.9. Yoyda metallni ko'chirishni tadqiqoti usullari va ko'chirishni asosiy shakllari.....	170

4.10. Yoyda amal qiluvchi kuchlar.	175
4.11. Payvand toki va kuchlanishning ko'chirilishga ta'siri.	179

5- BOB. Payvandlashda metallurgik jarayonlar

5.1. Karbonat angidrid muhitida kam uglerodli po'latlarni elektr yoyi bilan payvandlash usuli.	182
5.2. Qoplangan elektrod bilan payvandlashni metallurgiyasi.	187
5.3. Payvand shlaklarining fizik-kimyoviy xossalari.	195
5.4. Aktiv oksidlarning o'zaro munosabatlari nazariyasi.	199
5.5. Kislorodni erigan metallardan chiqarish (qaytarish) nazariyasi.	201
5.6. Chok metallini legirlash.	207
5.7. Payvandlanayotgan choklar metallarini modifikatsiyasi (birlamchi tuzilmasini maydalash).	208
5.8. Kristallanish to'g'risida asosiy nazariy ma'lumotlar.	211
5.9. Payvandlash vannasi uning hosil bo'lishi va asosiy tavsiflari.	213
5.10. Payvand choklari birlamchi kristallanishini tartibga solish metodlari.	217
5.11. Issiq darzlarning hosil bo'lishi tabiati va mexanizmi.	220
5.11.1. Akademik A.A. Bochvar gipotezasi.	221
5.11.2. Prof. D.M. Rabkin va prof. I.I. Fomin gepotezasi.	222
5.11.3. Prof. N.N. Proxorov gepotezasi.	223
5.11.4. Poligonizatsiya yoriqlari gepotizasi (B.A. Movchan).	227
5.12. Ayrim boshqa omillarning issiq darzlarning paydo bo'lishiga ta'siri.	230
5.13. Metallarda gazlar va g'ovaklarning paydo bo'lish mexanizmi.	233
5.14. Chok metallida shlakli kirishmalar.	237
5.15. Yuqori legirlangan po'latlarning payvandlanuvchanligi.	239
5.16. Ferritli yuqori xromli po'latlarni payvandlash.	243
5.17. Austenitli xrom-nikelli po'latlarni payvandlash jarayoni.	247

5.18. Aluminiy va uning qotishmalarini payvandlash metallurgiyasi va texnologiyasi.	
5.18.1. Aluminiy payvandlash metallurgiyasi (aluminiyning kislorod va azot bilan o'zaro ta'sirlashuvi).	
5.18.2. Oksidli pardani yoy bilan yemirilishi.	
5.18.3. Payvand chokli metallni modifikatsiyalash.	
5.18.4. G'ovakliklarga moyillik.	
5.19. Titan va uning qotishmalarini payvandlash metallurgiyasi va texnologiyasi.	
5.19.1. Titandagi aralashmalar.	
5.19.2. Titandagi nuqsonlar.	
5.19.3. Titan va uning qotishmalarini payvandlash texnologiyasi.	
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati.	

[illegible]

ABRALOV M.A., ABRALOV M.M.

**PAYVANDLASH JARAYONLARINING
NAZARIYASI**

Darslik

Toshkent – 2016

Muharrir Bekqul Egamqulov

Tex. muharrir Shahlo Hikmatova

Sahifalovchi dizayner Behzod Haydarov

«Noshirlik yog'dusi» nashriyoti

Litsenziya: AI №122. 12.11.20 y.

Bosishga ruxsat etildi 27.11.2015 y. Bichimi 60x84 $\frac{1}{16}$.

Ofset bosma. Shartli bosma tabog'i 16.7. Nashriyot bosma tabog'i 15.5.

Adadi 50 nusxa. Buyurtma № 27/11.

«Reliable print» MChJ bosmaxonasida chop etildi.

Manzil: Toshkent shahri, Furqat ko'chasi, 2-uy.