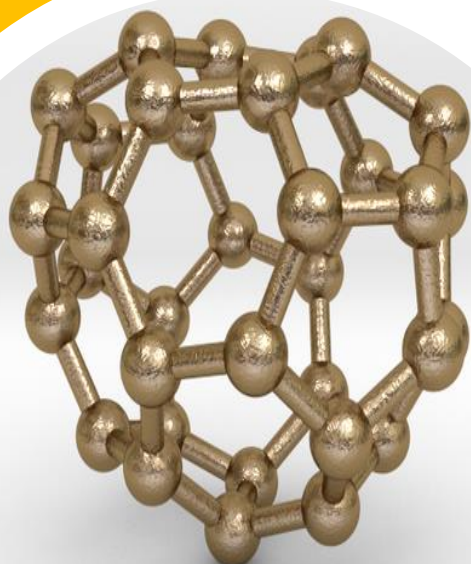


**TOSHENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI HUZURIDAGI PEDAGOG
KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA
ULARNING MALAKASINI OSHIRISH
TARMOQ MARKAZI**



**MATERIALSHUNOSLIK VA
YANGI MATERIALLAR
TEXNOLOGIYASI**

**MATERIALLARNI
PUXTALASHNING ILG'OR
USULLARI**

Toshkent¹ – 2023

Mazkur o'quv-uslubiy majmua Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2021 yil 25 dekabrda 538-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan o'quv dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchilar: “Materialshunoslik” kafedrasida professori, texnika fanlari nomzodi Sh.A.Karimov, f-m.f.doktori (PhD), Yo.S. Ergashov.

Taqrizchi: Rossiya, Komsomolsk – Amur texnika universiteti,
t.f.d., professor Kim V.A.

PhD injenering A.I. Abidov - “OTMK” AJ qoshidagi nodir metallar va qattiq qotishmalar ishlab chiqarish bo'yicha ilmiy ishlab chiqarish birlashmasi direktorining ilmiy ishlar bo'yicha o'rinbosari

O'quv-uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2021 yil 29 dekabrda 4-sonli qarori bilan nashrga tavsiya qilingan.

MUNDARIJA

№	НОМЛАНИШИ	БЕТ
I.	ISHCHI DASTURI.....	4
II.	MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA'LIM METODLARI.....	10
III.	NAZARIY MATERIALLAR.....	12
IV.	AMALIY MASHG'ULOTLARNING MATERIALLARI.....	111
V.	KEYS BANKI.....	131
VI.	GLOSSARIY.....	132
VII.	ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	136

ISHCHI DASTURI

Kirish

Dastur O'zbekiston Respublikasining 2020 yil 23 sentyabrda tasdiqlangan "Ta'lim to'g'risida"gi qonuni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 7 fevral "O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha harakatlar strategiyasi to'g'risida"gi PF-4947-son, 2019 yil 27 avgust "Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining uzluksiz malakasini oshirish tizimini joriy etish to'g'risida"gi PF-5789-son, 2019 yil 8 oktyabr "O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish kontsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi PF-5847-sonli Farmonlari xamda O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasining 2019 yil 23 sentyabr "Oliy ta'lim muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish tizimini yanada takomillashtirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi 797-sonli qarorida belgilangan ustuvor vazifalar mazmunidan kelib chiqqan xolda tuzilgan bo'lib, u oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasb mahorati xamda innovatsion kompetentligini rivojlantirish xamda oliy ta'lim muassasalari pedagog kadrlarining kasbiy kompetentligini muntazam oshirib borishni maqsad qiladi «Materiallarni puxtalashning ilg'or usullari» modulidan ishchi o'quv dasturi metall va nometall materiallarning yuza qatlamini puxtalashning ilg'or usullarini turlari va ishlatilishi, ular ta'sirida yuza qatlami xossalarini, strukturasi va ekspluatatsion xususiyatlarini xamda ularning turli ta'sirlar natijasida o'zgarish qonuniyatlari bilan bog'liq bo'lgan bilimlarni qamrab olgan.

Modulning maqsadi va vazifalari

Modulning maqsadi – tinglovchilarga turli soxalarda qo'llaniladigan va qo'llanilishi rejalashtirilgan metall va nometall materiallarning yuza qatlamini puxtalashning ilg'or usullarini turlari va ishlatilishi, ular ta'sirida yuza qatlami xossalarini, strukturasi va ekspluatatsion xususiyatlarini ishlov berish usullari bo'yicha yo'nalish profiliga mos bilim, ko'nikma va malakani shakllantirishdir.

Modulning vazifasi - tinglovchilarda metall va nometall materiallarning yuza qatlamini puxtalashning ilg'or usullarini turlari va ishlatilishi, ular ta'sirida yuza qatlami xossalarini, strukturasi va ekspluatatsion xususiyatlarini o'zgarish

qonuniyatlari bilan bog'liq bo'lgan bilimlarni hosil qilish xamda yangi materiallar va texnologiyalar haqida ma'lumotlar berishdir.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetentsiyalariga qo'yiladigan talablari

«Materiallarni puxtalashning ilg'or usullar» modulini o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

- fanning dolzarb muammolari;
- materiallarni puxtalashning ilg'or usullari fanining rivojlanish tendentsiyasi;
- materiallarni puxtalashning nazariy va amaliy manbalari;
- materiallarni puxtalashning usullari;
- materiallarni puxtalashning usullarini qo'llanilishi;
- materiallarni puxtalashg usullari haqida bilimlarga ega bo'lishi lozim.

Tinglovchi:

- materiallarni puxtalashning usullaridan foydalana olish;
- materiallarni puxtalashning usullari fizik, kimyoviy, mexanik, texnologik va ekspluatatsion xosalarini taxlil qilish;
- materiallarni puxtalashni tadqiqot qilish usullaridan foydalanish;
- materiallarni puxtalashning usullari natijalarini taxlil qilish ko'nikma va malakalariga ega bo'lishi zarur.

Tinglovchi:

- materiallarni puxtalashning usullari jarayoni asoslarini bilishi va ulardan foydalana olishi;
- mashinasozlik sohalarida ishlatiladigan detal va buyumlar va boshqalar uchun puxtalashning usullarini tanlay olish kompetentsiyalariga ega bo'lishi lozim.

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

“Materiallarni puxtalashning ilg'or usullar” moduli ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

- ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida prezentatsion va elektron-didaktik texnologiyalardan;

- o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda blits-so'rovlar, test so'rovlari, "Aqliy xujum", "FSMU", "Kichik guruhlarda ishlash", "Keys-stadi" va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning o'quv rejadagi boshqa fanlar bilan bog'liqligi va uzviyligi.

«Materiallarni puxtalashning ilg'or usullar» moduli o'quv rejadagi quyidagi fanlar bilan bog'liq: "Materiallarni ilg'or tadqiqot usullari", "Ilg'or funksional materiallar".

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar materialshunoslik sohalarida qo'llaniladigan va qo'llanilishi rejalashtirilgan materiallarni puxtalashning ilg'or usullarining turlari, tuzilishi, strukturasi, xossasi va boshqa ishlov berish usullarni o'rganish, amalda qo'llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

"Materiallarni puxtalashning ilg'or usullari" moduli bo'yicha soatlar tahsimoti

“Материалларни пухталашнинг илғор усуллари” модули бўйича соатлар тақсимои

№	Modul mavzulari	Tinglovchining o'quv yuklamasi, soat			
		Jami:	Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Ko'chma mashg'ulot
1.	Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi.	4	2	2	
2.	Maxalliy plastik deformatsiyalash usuli yordamida ishlov berish.	4	2	2	
3.	Elektruchqunli, lazer nuri yordamida, detanatsion usul bilan, plakerlash bilan puxtalash texnologiyalari.	4	2	2	

4.	Vakuum- plazmali, elektrokimyoviy qoplamalar qoplamalar va ionli implantatsiyalash usullari bilan yuzalarni puxtalash.	6	2	4	
	Jami:	18	8	10	

II. NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi.

Kristall srukturasidagi materiallarning puxtalanish mexanizmidagi nuqsonlarning roli. Vektorli mustahkamlash diagrammasi. Effektlarni kuchaytirish tasnifi. Puxtalanish jarayonining termodinamikasi. Puxtalanish texnologiyalarini tasniflash. Puxtalanish vektor diagrammasi. Puxtalanish jarayonlarining termodinamikasi. Puxtalovchi energetik tasir ko'rsatishning tasnifi. Puxtalanish texnologiyalari tasnifi.

2-mavzu: Maxalliy plastik deformatsiyalash usuli yordamida ishlov berish.

Puxtalanishning nazariy asoslari. Deformatsiyani kamaytirish jarayonining termik sharoitlari. Puxtalash usullarini optimallashtirish. Deformatsion puxtalanish jarayonining issiqlik shart-sharoitlari. Bulg'alash. Silliqlash. Kalibrlash. Olmosli silliqdash. Dornalash. Chikankalash. Plastik deformatsiyalash usulida qayta tiklash. Mexanik va issiqlayin puxtalashning kombinatsiyalashgan tamoyili. Elektromexanik ishlov berish. qo'shimcha materiallarsiz elektromexanik tiklash. qo'shimcha material bilan elektromexanik tiklash.

3-mavzu: Elektruchqunli, lazer nuri yordamida, detanatsion usul bilan, plakerlash bilan puxtalash texnologiyalari

Elektruchqunli qoplash uchun elektrod materiallari. Elektruchqunli puxtalashning qo'llanish oblasti. Elektruchqunli qoplama qoplash amaliyoti. Elektruchqunli qoplama qoplash uchun uskunarlar va jihozlar. Elektruchqun bilan qoplangan qatlamining texnologik xususiyatlari. Elektruchqunli qoplama qoplash amaliyoti. Elektruchqunli qoplama qoplash uchun uskunarlar va jihozlar. Elektruchqunli qoplama qoplashning maxsus usullari.

Lazerli termik ishlov berish. Lazerli lokal legirlash. Lazer yordamida payvandlash. Lazer yordamida kesish.

4-mavzu: Vakuum- plazmali, elektrokimyoviy qoplamalar va ionli implantatsiyalash usullari bilan yuzalarni puxtalash.

Vakuumdagi qoplamalar qoplash usullarini sinflanishi. KIB usuli. qo'llanish obdasi. Uskuna va jihozlari. Ko'p qatlamli qoplamalar. Ion-vakuimli nanotexnologiyalar.

Ion implantatsiyalashning fizik asoslari. Ion implantatsiyasi uchun uskunalari. Ion implantatsiyasining texnologiyalari. Ion implantatsiyasining qo'llanish obdastlari. Ion implantatsiyasi paytida metall materiallarni amorflanishi. Nanosrukturalari.

III. AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi.

Yuzani plastik deformatsiyalash yordamida (sharik yoki rolikni ishlov berilayotgan materialga ezish) tashqi qatlamini fizik –mexanik xossalarni o'zgartirish.

2- amaliy mashg'ulot: Maxalliy plastik deformatsiyalash usuli yordamida ishlov berish.

Yuzani plastik deformatsiyalash yordamida (sharik yoki rolikni ishlov berilayotgan materialga ezishda elektrokontakt qizdirish bilan) tashqi qatlamini fizik –mexanik xossalarni o'zgartirish.

3- amaliy mashg'ulot: Elektruchqunli, lazer nuri yordamida, detanatsion usul bilan, plakerlash bilan puxtalash texnologiyalari.

Yoyilishga bardosh elektruchqunli qoplamalarni qoplash texnologik rejimlarini o'rganish, aniqlash va VK, TK elektrodleri materialli bilan optimal rejimlarni solishtirish.

4- amaliy mashg'ulot: Vakuum- plazmali, elektrokimyoviy hoplamlar hoplamlar va ionli implantatsiyalash usullari bilan yuzalarni puxtalash

Lazer nuri yordamida yuzalarga yupqa qatlamli qoplamalarni qoplash texnologiyasi bilan tanishish va detal yuzasi sifatini nazorat qilish.

Ta'limni tashkil etish shakllari

Ta'limni tashkil etish shakllari aniq o'quv materiali mazmuni ustida ishlayotganda o'qituvchini tinglovchilar bilan o'zaro harakatini tartiblashtirishni, yo'lga qo'yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o'qitish jarayonida quyidagi ta'limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot;
- mustaqil ta'lim.

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

Jamoaviy ishlash – Bunda o'qituvchi guruhlarning bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o'quv maqsadiga erishish uchun o'zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

Guruhlarda ishlash – bu o'quv topshirig'ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o'quv jarayonida kichik guruxlarda ishlashda (3 tadan- 7 tagacha ishtirokchi) faol rol o'ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta'limni tashkil etish shaklidir. O'qitish metodiga ko'ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo'lish mumkin.

Bir turdagi guruhli isho'quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi.

Tabaqalashgan guruhli ish guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

Yakka tartibdagi shaklda- har bir ta'lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

IV. MODULNI O'QITISHDA FOYDALANILADIGAN INTERFAOL TA'LIM METODLARI.

“AQLIY HUJUM” METODI

Metodining o'quv jarayoniga tatbiq etilishi “Aqliy hujum” metodi uchun savollar Po'lat listni korroziyadan saqlash uchun qanday texnologiyalarni taklif etasizh

Metall sirtini metall bo'lmagan qaysi moddalar bilan qoplashda qanday innovatsiyalardan foydalanish mumkinh

Solishtirma hajm detanda nimani tushunasiz va buni izohlab bering.

Konvertirlash nimah

Metallurgik shlak tarkibidagi asosiy elementlarni qaysi yo'l bilan aniqlash mumkinh

Metodining o'quv jarayoniga tatbiq etilishi. “FSMU” metodi uchun keltirilgan fikr

Fikr: Martesit o'zgarishlar sodir bo'lish jarayoni haroratini qaytishi qanchalik yuqori bo'lsa, materialning shaklini saqlash effekti darajasi shunchalik past bo'ladi.

F – fikringizni bayon eting.

S – fikringiz bayoniga biror sabab ko'rsating.

M – ko'rsatilgan sababni isbotlovchi misol keltiring.

U – fikringizni umumlashtiring.

Metodining o'quv jarayoniga tatbiq etilishi. Mavzu yuzasidan guruhlariga beriladigan topshiriqlar

1-GURUH. Qoplama qoplangan yuza holatda faza o'zgarishlarining umumiy qonuniyatlarini izohlang.

2-GURUH. Puxtalangan yuzaning struktura o'zgarishlarini mexanizmini aniqlang.

3-GURUH. Yuza o'zgarishlar termodinamikasini tahlil qiling va izohlang.

Груҳлар фаолиятини баҳолаш меъёрлари.

Mezonlari	Ballar			
	2	3	4	5
Mazmuni				
Guruhning faol ishtiroki				
Belgilangan vaqtga rioya etilganligi				
Taqdimoti				

Baholash me'yorlari: Yuqori ball-20 ball

18-20 ballgacha - “A'LO” ;

15-17 ballgacha - “YaXShI” ;

12 - 14 ballgacha - “hONIHARLI”;

12 dan past ball - “hONIHARSIZ”

V. NAZARIY MATERIALLAR

1-mavzu: Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi.

Reja:

1. Materialni mustahkamlashning asosiy strukturaviy mexanizmlari.
2. Puxtalashning umumlashtirilgan termodinamik modeli.
3. Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi

Tayanch cho'z va iboralar: Puxtalash, termodinamik, modeli, oquvchanlik chegarasi, legirlovchi elementlar, dislokatsiya, dispers zarralar.

1.1 Materialni mustahkamlashning asosiy strukturaviy mexanizmlari

Mustahkamlik bu materialning tashqi mexanik, issiqlik, kimyoviy-oksidolovchi, elektrik va boshqa ta'sirlar ostida o'z shaklini o'zgartirishga va sinishga qarshilik ko'rsatishi bo'lib, bu juda murakkab tushuncha hisoblanadi va aloqida sistema va o'zaro bog'liq ko'rsatkichlar orqali aks ettiriladi [11]. Unga asosan quyidagilar kiradi: oquvchanlik chegarasi, cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlik chegarasi, chidamlilik chegarasi, siljuvchanlik chegarasi, davomiy mustahkamlik chegarasi, zarbiy qovushqoqlik, qovushqoq qolatga o'tish temperaturasi, uzilishdagi nisbiy uzayish, qattihlik, issiqqabardoshlik, olovbardoshlik, eyilishgabardoshlik va boshqalar. Sanab o'tilgan xossalarni mustahkamlik talablarining turli-tumanligini ko'rsatib qolmay, balki materialning mexanik yoki harorat yuklamalar ta'sirida o'zini tutishini aks ettiradi. Ular har doim ham materialni ish sharoitidagi kerakli xossalarni ta'minlab berolmaydi, lekin shunga qaramay bu xossalarga ko'ra material tanlanadi. Deyarli hamma solishtirma mustahkamlik mexanik xossalarni biror-bir yuklama ta'siri ostida ishlayotgan materialning ishdan chiqish ishini ko'rsatadi. Shunga ko'ra, materialni cho'zilishga sinashda materialning buzilish ishi quyidagicha aniqlanadi.

$$A = \int_0^{\Delta L_{\text{kp}}} \sigma S \cdot dL \approx \sigma_{\text{bp}} S \cdot \Delta L_{\text{kp}}$$

bu erda σ_{bp} - cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi; S -namuna ko'ndalang kesimi yuzasi; ΔL_{kp} -namunaning absolyut uzayishi, oldingi uzilish.

Emirilishning solishtirma ishini quyidagicha hisoblash mumkin:

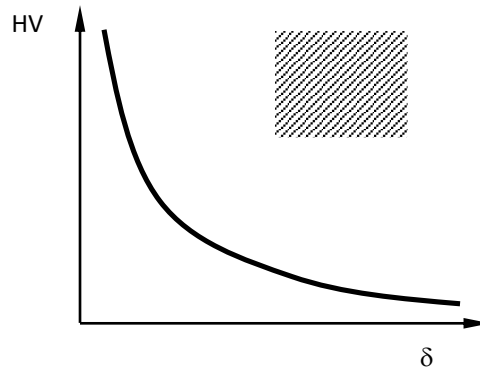
$$a_{yil} = \frac{A}{S \cdot \Delta L_{sp}} \approx \sigma_{bp}$$

Solishtirish shuni ko'rsatadiki, siqilishdagi emirilish solishtirma ishi siqilishdagi mustahkamlik chegarasiga deyarli teng ($a_{yil} \approx \sigma_{bc}$), qirqilishda esa, qirqilishdagi mustahkamlik chegarasiga teng ($a_{yil} \approx \tau_{cp}$). O'xshash bog'liqliklarni hamma ko'rinishdagi buzilishlar uchun olishimiz mumkin. Mustahkamlik xossalarning birining oshishi boshqalarining oshishiga sabab bo'ladi, bu esa ular orasida yaqin bog'liqlik borligini ko'rsatadi. Mexanik mustahkamlik xossalar birgalikda qattiq jism ichki energetik holatini aks ettiradi, lekin σ_{bp} , σ_{bc} , τ_{cp} va boshqalar orqali ifodalanadiganlarning qiymatlari orasidagi nomuvofiqlikni plastik deformatsiya ishini hajm bo'ylab notekis taqsimlanishi tushuntirishi mumkin. Albatta, cho'zilishda namunaning bir xil ko'ndalang kesimlari yuzalarida plastis deformatsiyaning hajmiy taqsimlanishi bo'yinchada yoki bir jinsli va barqaror bo'lmagan zonada sodir bo'ladi, siqilishda esa namunaning butun uzunligi bo'ylab, Qirqilishda esa qirqish tekisligi bilan tutashgan tor bir necha mikrometr qalinlikdagi zonada sodir bo'ladi.

1.2.Puxtalashning umumlashtirilgan termodinamik modeli.

Materialning turli xil tashqi kuchlarga qarshilik ko'rsata olishi uning strukturaviy xossalariga bog'liq bo'lib, ularni o'zgartirish orqali mustahkamlikni kerakli yo'nalishda boshqarish mumkin. Mustahkamlanish struktura o'zgarishiga bog'liq. Lekin alohida mustahkamlik xossalarning oshishi ixtiyoriy yuklamalarda ishlashga imkon beradigan yuqori ekspluatatsion xossalarni ta'minlamaydi. Metall materiallarning qattiqligi ko'tarilishi ularning cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlik chegaralarining ko'tarilishini ta'minlaydi, lekin toliqish xossalari yomonlashadi. Chidamlilik chegarasi plastiklikning ko'tarilishi va qattiqlikning kamayishi bilan ortadi. Eyilishgabardoshlilikni ta'minlash uchun materialning elastik-plastik xossalariga e'tibor qaratish kerak. Abraziv va adgezion eyilishga bardoshlilik materialning qattiqligi va mustahkamlik chegarasi bilan harakterlanadi [9]. Vodorodli, oksidlovchi, kavitatsion va diffuzion eyilishda materialning ekspluatatsion xossalari mustahkamlik xossalariga uncha bog'liq bo'lmaydi.

1.1-rasmda materialning elastik va plastik xossalari orasidagi umumiy bog'lanish ko'rsatilgan. Mustahkamlikning ortishi bilan har doim plastiklik va ishlanuvchanlik yomonlashadi. Ideal konstruktsion material har doim yuqori mustahkamlikka ega va yaxshi ishlanuvchan bo'lishi kerak. Bunday material uchun 1.1-rasmdagi umumiy bog'liqlikka nisbatan olingan o'ng yuqori shtrixlangan yuza mos keladi.



1.1-rasm. Materialning elastik va plastik xossalarning umumiy bog'liqligi

Ko'pchilik biz kundalik hayotda va ishlab chiqarishda ishlatadigan metall materiallar singish va o'rin olish qattiq eritmalarini asosli polikristall, geterogen strukturalarga ega bo'ladi. Poliskristallarda fazalar, donalar va zarrachalar o'rtasidagi chegara o'sib boradi. Polikristallarni tashkil etuvchi fazalarda har doim kristall tuzilishdagi nuqsonlar bo'ladi va ularning tarqalganligi va konsentratsiyasi legirlovchi elementlar va aralashmalarining borligi bilan bog'liq. Hamma sanab o'tilgan tashkil etuvchilar material strukturasi tashkil etadi va bu tashkil etuvchilarni turli kombinatsiyasi qotishmaning turli strukturaga ega bo'lishini ta'minlaydi va strukturaga bog'liq bo'lgan xossalarni belgilab beradi.

Mustahkamlanishda turli strukturaviy faktorlarning ulushi misol uchun ohuvchanlik chegarasini oshishi uchun quyidagi bog'liq mavjud:

$$\sigma_T = \sigma_{\tau 0} + \Delta\sigma_{\tau \text{в.р}} + \Delta\sigma_{\text{дч}} + \Delta\sigma_{\text{дисл}} + \Delta\sigma_{\text{гр.з}} + \Delta\sigma_{\text{суб.з}}$$

Bu erda $\sigma_{\tau 0}$ -Payerlsa-Nabarro kuchlanishi; $\Delta\sigma_{\tau \text{в.р}}$ -begona qo'shimcha atomlarining singish va o'rin olish mexanizmi bilan mustahkamlanishi; $\Delta\sigma_{\text{дч}}$ -dispers zarrachalar bilan mustahkamlanishi; $\Delta\sigma_{\text{дисл}}$ -dislokatsiya va disklinatsiya hisobiga

mustahkamlanish; $\Delta\sigma_{\text{Гр.3}}$ -donalar orasidagi mustahkamlanish; $\Delta\sigma_{\text{cy6.3}}$ - donalarning mustahkamlanishi.

Yuqorida ko'rsatilgan tenglik (1.3) kristall tuzilishda turli nuqsonlarning mavjudligini ahamiyatini ko'rsatadi. Shunda, $\Delta\sigma_{\text{Гр.п}}$ -nuqtali nuqsonlarning zichligi, $\Delta\sigma_{\text{дисл}}$ -chiziqli nuqsonlarning zichligi, $\Delta\sigma_{\text{Гр.3}}$ va $\Delta\sigma_{\text{cy6.3}}$ sirtqi yuzadagi nusonlarning ta'sirini ko'rsatadi, $\Delta\sigma_{\text{дч}}$ -kristall tuzilishdagi hajmiy nuqsonlar.

Payerlsa-Nabarro kuchlanishi kristalda dislokatsiyani siljishida zarur bo'lgan urinma kuchlanish bo'lib, bunda boshqa nuqsonlar bo'lmaydi. Payerlsa-Nabarro kuchlanishining formulasi quyidagicha:

$$\sigma_{\text{ro}} = \frac{2G}{1-\mu} \cdot \exp\left(-\frac{2\pi}{1-\mu} \cdot \frac{d}{b}\right)$$

Bu erda G -siljishdagi elastiklik moduli; μ - Puasson koeffitsient; d -qo'shni atom tekisliklari orasidagi masofa; b - Byurgers vektori sirpanish yo'nalishi bo'yicha atomlar orasidagi masofa.

1.3. Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi.

Qo'shni atomar tekisliklar orasidagi masofaning ortishi va sirpanish yo'nalishi bo'ylab atomlar orasidagi masofaning qisqarishi bilan Payerlsa-Nabarro kuchlanishi pasayadi. Atomlari zich joylashgan tekisliklar va yo'nalishlar uchun d/b nisbat odatda yuqori bo'ladi va bu yo'nalishlar bo'ylab ko'pincha siljish sodir bo'ladi.

Begona qo'shimchalarning o'rin olish yoki singish qattiq eritmaları hosil qilish orqali mustahkamlikni oshirilishi dislokatsiyalarni kristall tuzilishdagi nuqtali nuqsonlar bilan tormozlanishini ta'minlaydi. Bu holat dislokatsiyalarni hosil qiladigan kuchlanish maydonida begona qo'shimcha atomlarining diffuziyasi yo'nalishiga ta'sir etadi va bu begona qo'shimcha atomlarining asosiy metal strukturasi bo'ylab notekis tarqalishiga sabab bo'ladi.

Dislokatsiyalarning begona qo'shimcha atomlari bilan ta'sirlashuvi 4 xil bo'ladi:

- 1-tur elastik ta'sirlashuv (o'lchamli ta'sirlashuv);
- 2-tur elastik ta'sirlashuv (elastiklik moduli bo'yicha ta'sirlashuv);
- kimyoviy ta'sirlashuv;
- elektrik (kulonli) ta'sirlashuv.

Har bir turdagi ta'sirlashuv kristalldagi atomlar orasidagi bog'lanish tabiatiga, qo'shimchalar xususiyatiga va boshqa faktorlarga bog'liq, sanab o'tilgan bu ta'sirlashuvlarning biri yoki hammasi ham mavjud bo'lishi mumkin.

1-tur elastik ta'sirlashuv dislokatsiya va qo'shimcha atom atrofidagi elastik kuchalanish maydoni mavjudligi bilan bog'liq. Qo'shimcha atomi atrofidagi kuchlanishning ishorasi asosiy (r_0) va qo'shimcha (r) element atomi radiuslariga bog'liq. Eritmalarda o'rin oluvchi atomlar asosiy element atomlarinin egallashi uchun $r < r_0$ bo'lishi kerak, va ular dislokatsiyaning zich quduqlari tomon intiladi. Agar $r > r_0$ bo'lsa, qo'shimcha element atomlari asosiy element atomlari orasiga singadi. qo'shimcha elementlar atomlari buluti dislokatsiyalarning siljishini to'xtatadi va bu bulut Kotrell atmosferasi deyiladi. Kottrell atmosferasining ahamiyati tarkibida uglerod va azot kabi elementlarga ega bo'lgan metallar juda katta.

2-tur elastik ta'sirlashuvda esa qo'shimcha atomlar yoki vakansiyalar matritsaga qaraganda kichik hududli elastiklik doimiylarini namoyish qiladi. Shu sababli dislokatsiya siljishiga sarflangan ish odatiy elastik ta'sirlashuv uchun sarf bo'lgan ishdan farq qiladi. Qo'shimcha element atomining radiusi kichrayishi bilan elastiklik moduli bo'yicha energetik ta'sirlashuv oshadi va vakansiya bilan ta'sirlashganda u maksimal qiymatga etadi. 2-tur elastik ta'sirlashuv dislokatsiya atrofida vakansiyalar konsentratsiyasi oshishiga sabab bo'ladi va juda kichik masofalarda hosil bo'ladi

Kimyoviy ta'sirlashuv parchalangan dislokatsiyalar yaqinida hosil bo'ladi. Bunday holatda qo'shimcha element atomining nuqson to'plangan joyga tushishi metal elektron strukturasi bog'lanishni va natijada atomlar orasidagi bog'lanish harakterini ham o'zgartiradi. Bu o'zgarishlar to'planish energiyasini kamayishi va parchalanishni oshishiga sabab bo'ladi va bu qo'shimcha element atomlarining nuqsonlar to'plangan joyga diffuziyalanishi uchun energiya jihatidan engil sharoit yaratadi. Nuqsonlar to'plangan qatlamda qo'shimcha elementlar miqdori ortishi Sudzuki atmosferasi deyiladi. Sudzuki atmosferasi hosil bo'lganda dislokatsiya energiyasi kamayadi va uni tormozlashni ham ta'minlaydi.

Elektrik ta'sirlashuv faqat ayrim kristall strukturalarda hosil bo'ladi va keyinchalik ko'rib chiqiladi. Ikkita oddiy dislokatsiyani birlashtirish orqali murakkab dislokatsiyalar kombinatsiyasini olish mumkin va ularning o'ziga xosligi shuki ekstra

tekislik chetidagi bog'lanish buzilgan bo'ladi. Bunday turdagi dislokatsiyalar yarim o'tkazgichlar va ion kristallar uchun xosdir. Bunda dislokatsiyalardagi buzilgan bog'lanishlar xuddi qabul qiluvchi vazifasini bajaradi, ya'ni elektron o'tkazuvchanlikni yomonlashtiradi va shu bilan birga dislokatsiya va musbat zaryadli ionlar orasida kulon kuchlarini hosil qiladi.

Dislokatsiyalarning nuqtali nuqsonlar bilan ta'sirlashuv energiyasining miqdoriy qiymatlari 1.1 jadvalda keltirilgan.

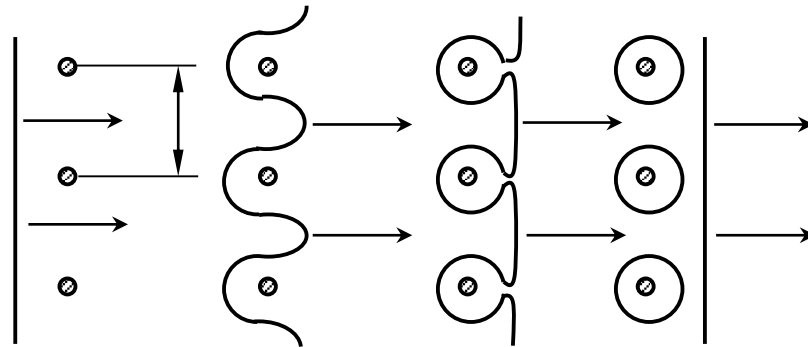
Jadval 1.1. Dislokatsiyalarni qo'shimcha element atomlari bilan ta'sirlashuv energiyasi [27].

Ta'sirlashuv turi	Hisoblash formulasi	O'rtacha qiymatlar, eV	Nuqson ko'rinishi
1.1-tur elastik ta'sirlashuv	$E_1 = \alpha G b r_0^3 \left(\frac{\Delta r}{r_0} \right) \cdot \sin \left(\frac{\theta}{r} \right)$	0,1 0,1	Tugunlar orasidagi atomlar
2. 2-tur elastik ta'sirlashuv	$E_2 = \Delta G \left(\frac{b^2}{r^2} \right)$	0,05...0,2	O'rin olish atomlari
3. Kimyoviy ta'sirlashuv	$E_4 = D b^2 \left(5 + \ln \frac{r \gamma}{D b^2} \right)$	0,05...0, 0,2...0,5	Vakansiyalar
4. Elektrik ta'sirlashuv	$E_4 = f \frac{e^2}{a}$	0,05...1 0,02	

Ayniqsa dispers-puxtalangan qotishmalarda mustahkamlikni oshirish uchun dispers zarralar bilan puxtalash muhim rol o'ynaydi. Bu dispers zarralar ko'plab shakllarda dislokatsiyalarni tormozlaydi. Agar ikkinchi faza zarralari orasidagi masofa katta bo'lsa, ta'sir etuvchi yuklama ta'sirida vujudga keladigan urinma kuchlanish ta'siri ostida dislokatsiya bu zarralar orasida egiladi va to'lqinsimon shaklga keladi, keyin esa zarralarni engib o'tadi, bu jarayonda Frank-Rida modeli kabi dislokatsiyalar soni ortadi (1.2-rasm). Dispers zarralar orqali o'tgan dislokatsiyalar o'z atrofida dislokatsion halqa izlarini qoldiradi, shu sababli dislokatsiyalarning umumiy uzunligi o'sib boradi va shunga monan dislokatsiya energiyasi ham o'sib boradi. Dislokatsiyalarning ikkinchi faza dispers zarrachalari bilan ta'sirlashuvi hisobiga oquvchanlik chegarasini oshishi Orovana tengligi orqali ifodalanadi.

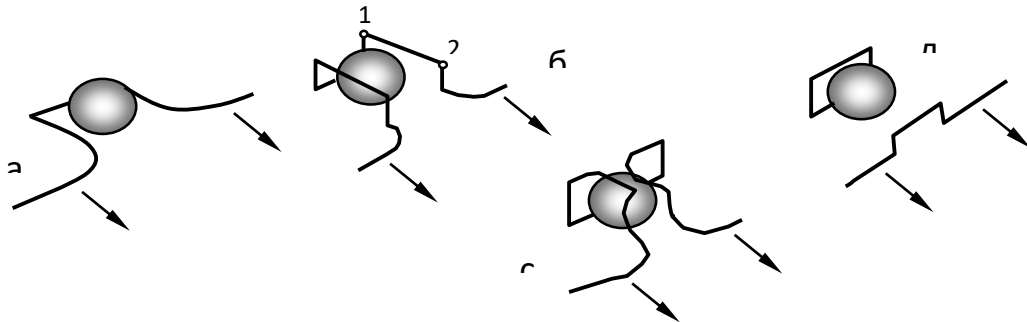
$$\Delta\sigma_{\text{н.ч.}} = 0,25 \cdot \left(1 + \frac{1}{1 - \mu}\right) \cdot \frac{Gb}{L - d} \cdot \ln\left(\frac{L}{2b}\right)$$

bu erda L - dispers zarrachalar orasidagi o'rtacha masofa.



1.2-rasm. Zarrachalarning Orovana usuli bilan sirpanish tekisligi bo'ylab dislokatsiyalardan o'tish sxemasi

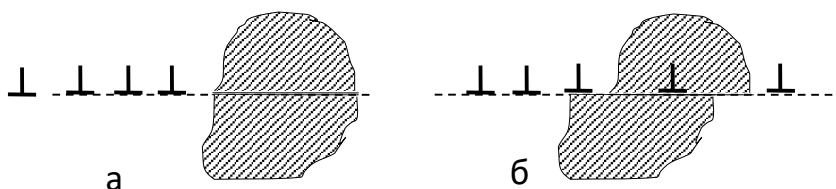
Yirik dispers qo'shimchalarning bo'lishi ikkinchi fazaning kogerent bo'lmagan zarrachalarini aylanib o'tish mexanizmini amalga oshiradi, qaysiki ko'ndalang siljishda, yuqori temperaturalarda sodir bo'ladi (rasm. 1.3).



2.3-rasm. Ikkinchi faza zarrachalarining dislokatsiya orqali o'tishidagi mahalliy ko'ndalang siljish bosqichlari

Mahalliy ko'ndalang siljish qachonki ikkinchi faza zarrachalari orasida egilishdan hosil bo'ladigan sirpanuvchi dislokatsiya vintli segmentlar hosil qilganda sodir bo'ladi. Bu segmentlar ikki barobar ko'p ko'ndalang siljishga sabab bo'lishi mumkin, qaysiki zarrachalarni aylanib o'tish uchun boshqa tekislikka o'tadigan va dastlabkisiga qaytib keladi (1.3-rasm, b.dagi 1-2 tur zona). Vintli segmentlar har xil ishorali bo'lib, bir-biriga qarama-qarshi yo'nalishda egiladi (1.3-rasm, v) va bir-birini kompensatsiyalaydi, shuningdek o'z ketidan prizmatik sirtmoq shaklini qoldiradi va dislokatsiya sirpanishi uchun ikkita zina qoldiradi(1.3-rasm,g).

1.5 formulaga ko'ra zarralar o'rtasidagi masofaning kamayishi bilan kuchlanish ortadi va bu kuchlanish ular orasida dislokatsiyaning siqilishi uchun zarurdir va yana shuningdek zarralar bo'ylab dislokatsiyani o'tkazish xuddi uni qayta kesganga o'xshagan vaziyatda, moment hosil bo'lishi mumkin (1.4-rasm). Shu sababli zarrachalar kristall panjarasi matritsanikidan farq qiladi, matritsada sirpanuvchi dislokatsiyaning zarracha panjarasiga kirishi sirpanish tekisligi bo'ylab atomlarning tartibli joylashuvini buzadi. Zarracha Byurgers vektori orqali matritsa dislokatsiyasiga suriladi va bu vektor zarracha kristall panjarasi siljish vektoridan farq qiladi. Natijada zarracha ichki qismlarida yuqori energetik yuzaga ega bo'lgan qismlar hosil bo'ladi va bu dislokatsiyaning tormozlanishiga sababchi bo'luvchi omillardan biridir.



2.4-rasm. Sirpanuvchi dislokatsiya dispers zarrachalarining qirqilish sxemasi

Dislokatsiyalarning tormozlanishining yana boshqa sababi qirqilgan zarrachalar va matritsalar orasidagi yuza qismlarning kattalashishi bilan bog'liq va bu yuzalar ustida zinachalar hosil bo'ladi (1.4-rasm). Yarim-kogerent zarracha va Gine-Preston turidagi maydon hisobiga mustahkamlanish kattaligi quyidagi tenglik orqali baholanadi:

$$\Delta\sigma_{\text{a.v.}} = \frac{\Delta G}{4\pi} \cdot \frac{d}{L}$$

Dislokatsiyalarning tormozlanishiga yana bir sabab bu zarracha atrofida uzoq ta'sir etuvchi elastik kuchlanish maydonlarining mavjudligi. Bunday kuchlanishlar zarracha va matritsa solishtirma hajmlari orasidagi tafovut sababli hosil bo'ladi va buning natijasida zarracha ajralib chiqadi. Agar matritsa bir tekis ajratib olinsa, elastik deformatsiya turli parametrli kristall panjarani ravon bog'lanishini ta'minlaydi.

Qizdirib yoki sovuqlayin puxtalash natijasida erkin (panjarali) dislokatsiyalarning zichligi oshishi bilan matritsaning mustahkamligi dislokatsiyalarning to'planishi joyi atrofida orientirlanmagan kuchlanish maydonlari paydo bo'lishi, sirpanuvchi tekisliklarning harakati to'silishi va birlashishi, dislokatsiyalarning ikki chegara bilan kesishishi, tuzilishdagi nuqson, ularning ikkinchi fazada mustakkam o'rnashishi va hosil qilingan plastik deformatsiya hisobiga oshadi. Ikkita dislokatsiyaning perpendikulyar bo'lgan Byurgers vektori bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida "o'tiruvchi" deb ataladigan dislokatsiya hosil bo'ladi, bu dislokatsiya yuqori chidamlilik va past harakatlanishga ega. Bunday dislokatsiyalar birgalikda "dislokatsiyalar o'rmoni"ni hosil qiladi, bu esa oquvchanlik chegarasining sezilarli ravishda oshishini ta'minlaydi. hattoki dislokatsiyalarning zichligi kichik bo'lganda ($\rho = 10^8 \dots 10^9 \text{ cm}^{-2}$) ham, "dislokatsiyalar o'rmoni"ning mustahkamlanishdagi hissasi 40-50 mkm donachalar ta'minlaydigan mustahkamlik bilan deyarli bir xil bo'ladi. Dislokatsiyalar zichligi ortib borishi bilan, "dislokatsiyalar o'rmoni"ning mustahkamlashdagi roli kuchayib boradi. Erkin dislokatsiyalar hisobiga bo'ladigan mustahkamlanishni quyidagi tenglik orqali baholash mumkin:

$$\Delta\sigma_{\text{дучи}} = \alpha Gb \sqrt{\rho}$$

bunda $\alpha \approx 0,5$

Donaning katta burchakli chegaralari strukturaviy ikki-o'lchovli nuqson hisoblanadi va ular bir vaqtning o'zida dislokatsiyalarning hosil qiluvchi man'ba hisoblanadi va dislokatsiyalarning siljishini tormozlaydi. Uzoq ta'sir doirali kuchlanish maydoniga ega panjara dislokatsiyasi o'ziga yaqinlashayotgan boshqa panjara dilokatsiyasini elastik itaradi. har keyingi dislokatsiya to'silgan dislokatsiyadan oldin kuchlanish maydoni ta'sirida tormozlanadi va shu sababli dona chegarasidan uzoq masofada o'zi to'xtaydi. Katta burchakli chegaralarning mustahkamlanishdagi ulushi Holla-Petch bog'lanishi orqali ifodalanadi:

$$\Delta\sigma_{\text{п.з}} = \frac{K_1}{\sqrt{D}}$$

bu erda D – donaning o'rtacha o'lchami.

Donachalar chegaralarining substrukturasi mavjud bo'lishi o'xshash donalar orasidagi chegaralarni to'suvchi ta'sirga ega. Bu mexanizmning mustahkamlanishdagi ulushi Lengford-Koen bog'lanish orqali aniqlanadi:

$$\Delta\sigma_{\text{cy6.3}} = \frac{K_2}{D_*^n}$$

Bu erda D_* - donachalarning o'rtacha o'lchami; n - daraja ko'rsatkichi, qaysiki material turi va uning ichki strukturasi bog'liq.

Bir qancha holatlarda katta burchakli donachalarning chegaralariga qaraganda biroz noto'g'ri yo'naltirilgan poligonal donachalar chegaralari mustahkamlashda ahamiyatliroq bo'lishi mumkin. Bunday chegaralarning hosil bo'lishi panjarali dislokatsiyalar zichligining kamayishi bilan bog'liq bo'lib, bu dislokatsiyalar panjara devorlarida joylashadi va bu kalavasimon dislokatsiyaning uyasimon va poligonal turga o'tishini ta'minlaydi. Noto'g'ri yo'nalganlikning ortishi donachalarning mustahkamlikka bo'lgan ta'sirini oshiradi. Shunda metallarning mustahkamlanishi ularning kristall tuzilishidagi turli xil nuqsonlarning hosil bo'lishi va o'zaro ta'sirlashuv jarayoni bilan bog'liq. 1.5-rasmda akademik A.A.Bochvarning metallarning mustahkamligini uning kristall tuzilishidagi nuqsonlarga bog'liqligini ko'rsatuvchi tengligi berilgan. Kristall tuzilishda nuqson bo'lmaganda metallning mustahkamligi nazariy jihatdan kesish jarayoni uchun quyidagicha bo'ladi:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{G}{2\pi}$$

Kristall panjarada nuqsonning paydo bo'lishi uning mustahkamligini keskin minimumgacha pasaytiradi, keyinchalik esa yana ko'tariladi. Kristall tuzilishdagi nuqsonlar zichligining ortishi hisobiga mustahkamlikning ortishi nuqsonlar o'rtasida o'zaro ta'sirlashuvning mavjud bo'lishi bilanoq boshlanadi. Hamma mustahkamlashning amaliy texnologiyalari umumiy grafikning o'sish hududida joylashgan bo'ladi.

Metall materialning holatini baholashda struktura-energiya usulidan foydalanish ularning kristall tuzilishining energiya sig'imi va mustahkamligi orasida bog'lanish mavjudligini tasdiqlaydi. Kristall tuzilishdagi har qanday nuqson ichki energiyaning

elastik akkumlyatori hisoblanadi, shu sababli kristall tuzilishdagi nuqsonlar zichligining oshishi material ichki energiyasini oshishiga sabab bo'ladi.

Deformatsiya texnologiyasida mustahkamlanish kristall tuzilishdagi chizikli nuqsonlar(dislokatsiya) hisobiga amalga oshadi, legirlash va modifikatsiyalash texnologiyasida esa mustahkamlanish dislokatsiyaning nuqtali nuqsonlar va dispers zarrachalar bilan o'zaro ta'sirlashuvi natijasida erishiladi. Kristall tuzilishdagi nuqsonlarning zichligi faqatgina ekspluatatsion mustahkamlik xossalari belgilab berib holmay, uning tashvi kuchlarga va haroratga bardoshlilikini ham belgilab beradi. Kristall tuzilishda yuqori energiyali chizikli nuqsonlar hosil qilish orqali barharor termik va termomekanik xossalarga erishish mumkin, bunda nol-o'lchamli nuqsonlar bilan ta'sirlashadigan bunday chizikli nuqsonlar maxsus dislokatsion shakllarda o'zaro to'sish orqali mustahkamlanadi. Dislokatsion shaklning barqarorligi mikrostrukturada ko'rinadigan uzoq davom etadigan elastik kuchlanish maydonining barqarorligi bilan aniqlanadi. Maksimum mustahkamlik dislokatsiya bilan qarakterlanadi, haysiki donalar chegaralarida va to'silgan atomlar va segregatsiyalarda hosil bo'ladi. O'rtacha mustahkamlikka esa nuqtali nuqsonlar va dispers fazalarning zarralari bilan tormozlangan dislokatsiyalar orqali erishiladi. Minimal mustahkamlikni donalar ichidagi aloqida va bir tekis to'plangan dislokatsiyalar ta'minlaydi.

Dislokatsiyalarning o'zaro va nuqtali nuqsonlar bilan ta'sirlashuv qonuniyati termodinamikaning fundamental asoslariga bo'ysunadi, bunda sistema minimal erkin energiyaga intiladi. Dislokatsiyaning kristall tuzilishdagi nuqtali nuqsonlar bilan ta'sirlashuv natijasida hosil bo'lgan energiya ko'pincha kristall panjaraning buzilishi natijasida hosil bo'ladigan energiyani kompensatsiya qilish uchun sarfli bo'ladi, bu esa mikrostrukturali sistemalarning erkin energiyasini pasaytiradi. Erkin energiyaning kamayishi huyidagi termodinamik bog'lanishga bo'ysunadi:

$$\Delta F = \Delta U - E_f$$

bu erda ΔF -erkin energiyaning o'zgarishi; ΔU - dislokatsiya hosil bo'lishi natijasida elastik energiyaning o'zgarishi; E_f –dislokatsiyaning kristall tuzilishdagi nuqsonlar bilan ta'sirlashuv energiyasi.

(1.11) dan ko'rinib turibdiki, ta'sirlashuv energiyasi qancha kata bo'lsa, erkin energiya shuncha kichik va dislokatsion struktura shunchalik barqaror bo'ladi. Dislokatsiyalarning kristall tuzilishdagi nuqsonlar bilan ta'sirlashuvi mustahkamlikni oshiradi. Dislokatsiyalarning siljish tezligi umumiy holatda quyidagicha aniqlanadi:

$$v = v_0 \cdot \exp\left(-\frac{U_0 + E_f - \gamma\tau}{kT}\right)$$

Bu erda v_0 -doimiy tezlik, taxminan tovush tezligining o'ndan biriga teng; U_0 - dislokatsiyaning harakatga keltirish energiyasi; E_f - dislokatsiyaning kristalldagi boshqa nuqsonlar bilan ta'sirlashuv energiyasi; γ -kristall panjara turiga bog'liq bo'lgan doimiy; τ -tangensial kuchlanish.

E_f ta'sirlashuv energiyasining oshishi bilan keltirilgan aktivlanish energiyasi ham oshadi, bu esa siljish tezligining kamayishiga sabab bo'ladi.

2-mavzu: Maxalliy plastik deformatsiyalash usuli yordamida ishlov berish.

Reja:

1. Deformatsion puxtalanishning nazariy asoslari.
2. Deformatsion puxtalanish dislokatsiyalarga bog'liqligi.
3. Plastik deformatsiyada dislokatsiya hosil bo'lishining asosiy mexanizmlari.
3. Deformatsion puxtalangan metallning struktura o'zgarishi.
4. Deformatsion puxtalash usullari.

Tayanch so'zlar: Struktura, deformatsiya, dislokatsiya, puxtalanish, plastik va elastik xossa, polikristall, faza, getrogen, diffuziya, disperslik

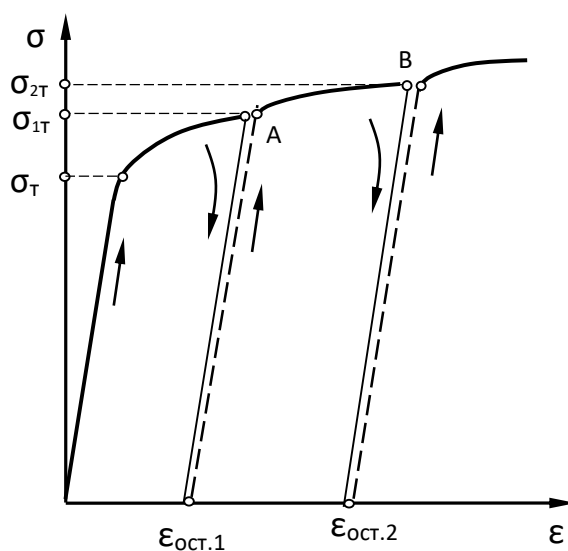
2.1. Deformatsion puxtalanishning nazariy asoslari.

2.1.1 Deformatsiya orqali puxtalanishning fizik asoslari.

Plastik deformatsiya atomlarning qatymas siljishi natijasidir. Kristall tuzilishlarda bunday atomlarning siljishi asosan dislokatsiyalarning harakat yo'nalishi bo'ylab sodir bo'ladi, va bu plastik deformatsiyaning asosiy atom mexanizmi hisoblanadi. Past temperaturali plastik deformatsiyaning dastlabki davrida va buzilish

sodir bo'lgunga qadar materialning plastik deformatsiyaga qarshilik ko'rsatishi uning deformatsiyalanish darajasi ortib borishi bilan ortib boradi. Boshqacha qilib aytganda deformatsiya davom etishi uchun doimiy o'sib boradigan kuchlanish talab qilinadi. Bu hodisa deformatsion puxtalanish deb ataladi.

Ko'pchilik metall va qotishmalarning plastik deformatsiyasi ularning puxtalanishi bilan birga kechadi, bu puxtalanish ularning qattiqligini, oquvchanlik chegarasi va boshqa mehanik xossalarning oshishi bilan amalga oshadi. Boshqacha qilib aytganda, plastik deformatsiya davom etishi uchun elastik zonadan chiqishda oldingi sarflangan kuchga qaraganda ko'proq kuch bilan ta'sir qilish kerak. Puxtalanish kattaligi plastik deformatsiya darajasi bilan aniqlanadi, bu esa 2.1-rasmda yaqqol ko'rsatilgan.



2.1-rasm. Material cho'zilayotganda plastik deformatsiya darajasining uning oquvchanlik chegarasiga ta'siri darajasi.

2.1-rasmda materialning elastik gomogen-plastik holatdagi kuchlanish-deformatsiya cho'zilish egri chizig'i ko'rsatilgan. Dastlabki cho'zilishda plastik deformatsiyaning boshlanishi σ_T ya'ni oquvchanlik chegarasi bilan harakterlanadi. Agar namuna A nuqttagacha yuklansa, keyinchalik bu yuklama olinganda, qoldih deformatsiya $\epsilon_{OCT.1}$ hosil bo'ladi. Qayta yuklanish jarayonida elastiklik maydoni kengayadi, va $\sigma_{1T} > \sigma_T$ da plastic ohish boshlanadi. Shunga o'xshash ravishda namuna hech qanday yuklama ta'sirisiz B nuqtaga etadi, bunda $\sigma_{2T} > \sigma_{1T} > \sigma_T$, plastik deformatsiya darajasi oshib borishi bilan materialning oquvchanlik chegarasi ham ortib boradi, bu esa materialning gomogen-plastiklik zonasida o'zini tutish qonuniyati bilan

bog'liqdir, plastik deformatsiya darajasining oquvchanlik chegarasiga ta'sirini ifodalovchi tenglik plastik zonadagi kuchlanish-deformatsiya tengligi bilan bir xil bo'ladi.

Materialning deformatsion puxtalanish koeffitsienti bu σ kuchlanishning differentsialini ε - deformatsion egri chiziqdagi plastiklik zonasida deformatsiya differentsialiga nisbatini anglatadi.

$$\theta = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

Elastiklik moduli turli xil bo'lganda plastik deformatsiyaga qarshilik va deformatsion puxtalanish koeffitsient deformatsiya darajasiga bog'liq bo'ladi. Deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish oshishi bilan, puxtalanish koeffitsienti kamayadi.

Deformatsiya jarayonida kristallarni "kuchlanish-deformatsiya" egri chizig'i shaklida muhokama qilsa bo'ladi. Eksperimental tashkil qilishda bu egri chiziqlar metallning kristall panjarasi turiga, tozaligiga, oldin o'tkazilgan termik ishlov berish va boshqa shu kabi faktorlarga bog'liq bo'ladi. Geksagonal kristall panjaraga ega bo'lgan metallni puxtalashda materialning puxtalanishi kub sistemadagi metallarga qaraganda kam bo'ladi. Bu ko'rinib turganidek geksagonal panjarada kam miqdordagi oson suriluvchi sistemalarning mavjudligi bilan bog'liq. Kub kristall panjaraga ega bo'lgan metallarda siljish kesishuvchi tekisliklar va yo'nalishlarda oson sodir bo'ladi, natijada plastik deformatsiyaning dastlabki bosqichlarida plastik siljish yagonadan ko'p sonliga aylanadi. Bunday jarayon murakkab dislokatsion konfiguratsiyalarning o'sishi bilan harakterlanadi, bu konfiguratsiyalar dislokatsiyalarning harakatlanishi uchun to'siqlar hosil qiladi.

Turli simmetriyali kristallarni mustahkamlashning turli darajalarini aks ettiradigan tenglama quyida berilgan bo'lib, bu tenglama kuchlanishning deformatsiyaga bog'liqligini ko'rsatuvchi egri chiziqni ifodalaydi.

$$\varepsilon = \left(\frac{\tau}{h} \right)^m$$

Bu erda ε -deformatsiya; τ -kuchlanish; x -puxtalanish koeffitsient; m - o'zgarimas, geksagonal kristallar uchun 1 ga va kub kristallar uchun esa 2 ga teng.

2.2. Deformatsion puxtalanish dislokatsiyalarga bog'liqligi.

Deformatsion puxtalanish dislokatsiyalarning tormozlanishi bilan bog'liq. Materialdagi dislokatsiyalarni harakatlantirish qanchalik qiyin bo'lsa, deformatsion puxtalanish koeffitsienti shunchalik yuqori bo'ladi. Plastik deformatsiya jarayonida dislokatsiyalar harakatini bir qancha faktorlar to'xtatadi, ulardan muhimlari quyidagilar:

- Boshqa dislokatsiyalar tomonidan hosil qilingan kuchlanish maydoni;
- Donalar va dona ichidagi zarrachalar chegarasi;
- Aralashirilgan moddalarning atomlari;
- Boshqa fazalarning zarralari;
- Yuzadagi qoplamalar.

Deformatsion puxtalanish hisobiga yuqorida sanab o'tilgan faktorlarning additiv ta'siri materialning oquvchanlik chegarasini oshiradi, buni quyidagi bog'lanish orqali ifodalashimiz mumkin:

$$\Delta\sigma_{\tau} = \Delta\sigma_{\alpha} + \Delta\sigma_{np} + \Delta\sigma_{\alpha,\gamma}.$$

Bu erda $\Delta\sigma_{\alpha}$ - boshqa dislokatsiyalarning boshqa bir dislokatsiya harakatlanishiga qarshiligi, ko'pincha bu dislokatsiyalar o'rmoni deb ataladi; $\Delta\sigma_{np}$ - Dislokatsiyalarning aralashmalar atomlari bilan ta'sirlashuviga qarshiligi; $\Delta\sigma_{\alpha,\gamma}$ -dislokatsiyalarning ikkinchi faza zarrachalari bilan ta'sirlashuviga qarshiligi.

Kristallda dislokatsiyalarning harakatlanishga ko'rsatadigan qarshiligi, ya'ni dislokatsiyalar o'rmoni qaysiki tekisliklarda yotadigan, sirpanuvchi dislokatsiyalar bilan kesishadi, shuningdek dislokatsiyalar bilan elastik ta'sirlashuvi, qaysiki sirpanuvchi parallel tekisliklarda joylashgan. Nazariy va amaliy izlanishlarga ko'ra dislokatsiyalarning harakatlanishining tormozlanishi boshqa bir dislokatsiya hisobiga amalga oshishi quyidagi bog'lanish bilan ifodalanadi:

$$\Delta\sigma_{\alpha} = \mu G b \eta_{\alpha} \sqrt{\rho}$$

Bu erda ρ - dislokatsiyalarning umumiy zichligi; η_H - dislokatsiyalarning bir tekis tarqalganligini harakterlaydi; μ - eksperimental aniqlanadigan va panjara va material turiga bog'liq bo'lgan koeffitsient; G - siljish moduli; b -Byurgers vektori.

Aralashmalar atomlarining dislokatsiyalar harakatlanishiga qarshilik ko'rsatishi shartli ravishda to'rt xil ko'rinishda bo'ladi:

- 1-tur elastik ta'sirlashuv (o'lchamli ta'sirlashuv);
- 2-tur elastik ta'sirlashuv (elastiklik moduli bo'yicha ta'sirlashuv);
- Kimyoviy ta'sirlashuv;
- Elektrik (kulon kuchlari) ta'sirlashuv.

Har bir ta'sirlashuv kristall panjaradagi atomlarning bog'lanish tabiatiga bog'liq bo'lib, yana shuningdek aralashmalarining xususiyatiga va boshqa faktorlarga ham bog'liq, yuqori sanab o'tilgan ta'sir turlaridan birortasi yoki hammasi ham mavjud bo'lishi mumkin.

1-tur elastik ta'sirlashuv dislokatsiya va aralashmalar atomlari atrofida elastik kuchlanish maydoning mavjudligi bilan bog'liq bo'ladi. Aralashmalar atomi atrofidagi maydonning ishorasi asosiy element p_0 va aralashmalar atomlarining p_{π} radiuslari nisbatiga bog'liq bo'ladi. O'rin olish qattiq eritmalarida $p_{\pi} < p_0$ bo'lganda asosiy panjaradagi atomlar o'rnin o'layotgan atomlar dislokatsiyalar atrofidagi siqilgan zonalar tomon harakatlanadi. Aralashmalar atomi $p_{\pi} > p_0$ bo'lganda singuvchi atomlar qattiq eritmada asosiy element atomlari o'rnini egallaydigan atomlar dislokatsiya maydoni bilan tortishadi. O'xshash turdagi ta'sirlashuv egri chizikli dislokatsiyalar bilan bog'liq, bu turdagi ta'sirlashuvlar sababli dislokatsiyalar atrofida aralashmalar atomlarining buluti hosil bo'ladi, bu esa dislokatsiyalarni to'sib qo'yadi. Bu atmosfera Kotrell atmosferasi deb ataladi. Kotrell atmosferasi o'z tarkibida uglerod va azot kabi singish aralashmalariga ega bo'lgan metallar uchun juda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ikkinchi tur elastik ta'sirlashuv shunisi bilan belgilanadiki, aralashmalar atomi va vakansiyalar kam joyini egallaydi va matritsaga qaraganda boshqacha elastiklik doimiyliklarini namoyish qiladi. Shu sababli dislokatsiyalarni harakatlanishi uchun sarflangan ish belgilangan elastik ta'sirlashuv natijasida hosil bo'lgan ishdan farq qiladi. Elastiklik moduli orqali ta'sirlashuv dislokatsiya atrofidagi vakansiyalarning konsentratsiyasini oshiradi.

Kimyoviy ta'sirlashuv parchalangan dislokatsiyalar mavjud bo'lganda hosil bo'ladi. Bunday holatda aralashmalar atomining nuqsonlar to'plangan joyga tushishi metallarning elektron strukturasi bilan kontaktlashuvini o'zgartiradi, yana shuningdek atomlar orasidagi bog'lanish xarakterini ham o'zgartiradi. Bunday o'zgarish nisbiy to'planish energiyasini kamayishiga va parchalanishning ortishiga sabab bo'ladi, bu esa aralashmalar atomlarining nuqsonlar to'plangan joyga diffuziyalanishi uchun qulay energetik sharoitlar yaratadi. Nuqsonlar joylashgan qatlamda aralashmalar miqdorining ortishi Sudzuki atmosferasi deb ataladi. Bu atmosferaning hosil bo'lishi dislokatsiyalar energiyasining kamaytiradi, bu esa dislokatsiyalarni to'sib qo'yadi. Elektrik (kulon kuchlariga asoslangan) ta'sirlashuv ayrim kristall strukturalarda hosil bo'ladi keyinchalik ko'rib chiqiladi. Ikkita oddiy dislokatsiyalarni birlashtirish bitta ancha murakkabroq bo'lgan boshqa yo'nalishdagi dislokatsiyani hosil qiladi. Bunday dislokatsiyalarning o'ziga xosligi shundagi ularning ekstra tekisliklari chetlarida uzilgan bog'lanishlar mavjud. Dislokatsiyadagi bunday uzilgan bog'lanishlar akseptorlar sifatida funktsiya bajaradi, ya'ni elektronlarni qabul qiladi va musbat ionlar va dislokatsiyalar o'rtasida kulon kuchlariga asoslangan ta'sirlashuvni hosil qiladi. Elektr ta'sirlashuvdan metallarda foydalanish uncha ham muhim ahamiyatga ega emas.

Ikkinchi fazaning dispers zarrachalari hisobiga puxtalanish to'g'ri va qiya bo'lishi mumkin. To'g'ri puxtalanish dislokatsiyalarning dispers zarrachalar bilan to'g'ridan-to'g'ri ta'sirlashuvi orqali ta'minlanadi, bu esa plastik deformatsiya jarayonida sirpanuvchi dislokatsiyalar uchun to'siqlar bo'lib xizmat qiladi. Qiya ta'sirlashuv strukturaning bir jinsli bo'lmagan holatining stabilligini ortishi va ikkinchi fazaning dispers zarrachalari mavjud bir holda rekristallizatsiya temperaturasining oshish ehtimolining mavjudligi bilan bog'liq. To'g'ri ta'sirlashuv Orovana modelida ko'rib chiqiladi, bunga ko'ra qo'shimcha kuchlanish dislokatsiyaning ikkinchi fazaning qo'shni zarrachalari orasida majburan egilishi ko'ra, keyinchalik bu zarrachalarni engib o'tishiga ko'ra aniqlanadi, bu Frank-Rid ko'paytirish mexanizmiga o'xshashdir. Bunda puxtalanish qiymatini quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$\Delta\sigma_{n.v.} = 0,25 \left(1 + \frac{1}{1 + \nu} \right) \cdot \frac{Gb}{\pi(L - d)} \cdot \ln \left(\frac{d}{2b} \right)$$

Bu erda ν - Puasson koeffitsienti; L-zarrachalar markazlari orasidagi masofa; d- ikkinch faza zarrachalarining o'rtacha o'lchami.

Puxtalanish faqatgina fazalarni muntazam holatga keltirmasdan, balki metastabil yarim-kogerent bog'lanish yoki Gine-Preston zonasini ham hosil qiladi, bu zona Ansella-Linnelya mexanizmi bo'yicha harakatlanayotgan dislokatsiyalarda ortiqcha qirqiladi. Bu qo'shimcha kuchlanish quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\Delta\sigma_{d.v.}^* = \frac{\Delta Gd}{4\pi L}$$

Bu erda ΔG - zarracha va matritsa larning siljish modullari orasidagi tafovut.

Shunday qilib, deformatsion puxtalanish dislokatsiyalar zichligining o'sishi, ularning harakatini va kuch yoki issiqlik ta'siri orqali dislokatsion strukturaning barqarorligini bloklovchi faktorlarning mavjudligi bilan aniqlanadi. Siljishga harshilikning ortishi bir vaqtning o'zida oson harakatlanadigan dislokatsiyalarning yo'qolishi bilan tormozlangan dislokatsiyalar zichligini ortishini anglatadi, bu esa mustahkamlikning ortishi demakdir. Bu vazifani bajarishning ancha samarali va texnik jihatidan maqsadga muvofiq usullaridan biri bu deformatsion eskirtirish mexanizmi orqali dislokatsiyalar hosil qiladigan oraliq termik bloklash bilan metallni uncha katta bo'lmagan darajadagi deformatsiyada ko'p marotaba deformatsiyalash usulidir.

2.3. Plastik deformatsiyada dislokatsiya hosil bo'lishining asosiy mexanizmlari.

Dislokatsiya nazariyasi plastik deformatsiyada dislokatsiya hosil bo'lishining bir qancha mexanizmlarini (Frank-Rid va Bardin-Xerringa manbalari) ko'rib chiqadi, bunday mexanizmlarda dislokatsiyalarning manbai bo'lib oxiri to'silgan dislokatsiyalar xizmat qiladi. Plastik deformatsiya vaqtida hosil bo'ladigan kuchlanishlar dislokatsiya chiziqlarini yoysimon shaklda egadi (2.2-rasm), chiziqli cho'zish esa uni to'g'rilashga intiladi. qachonki qo'yilgan kuch o'z holiga qaytaruvchi kuchga tenglashganda, yoy radiusi quyidagi bog'lanish orqali aniqlanadi:

$$r = \frac{\alpha Gb}{\tau}$$

Urinma kuchlanish qiymati ortishi bilan yoy yanada ko'proq egiladi, uning radiusi esa kichrayadi. Qachonki yoy yarim aylana bo'lib qolganda, uning radiusi quyidagi qiymatni qabul qiladi:

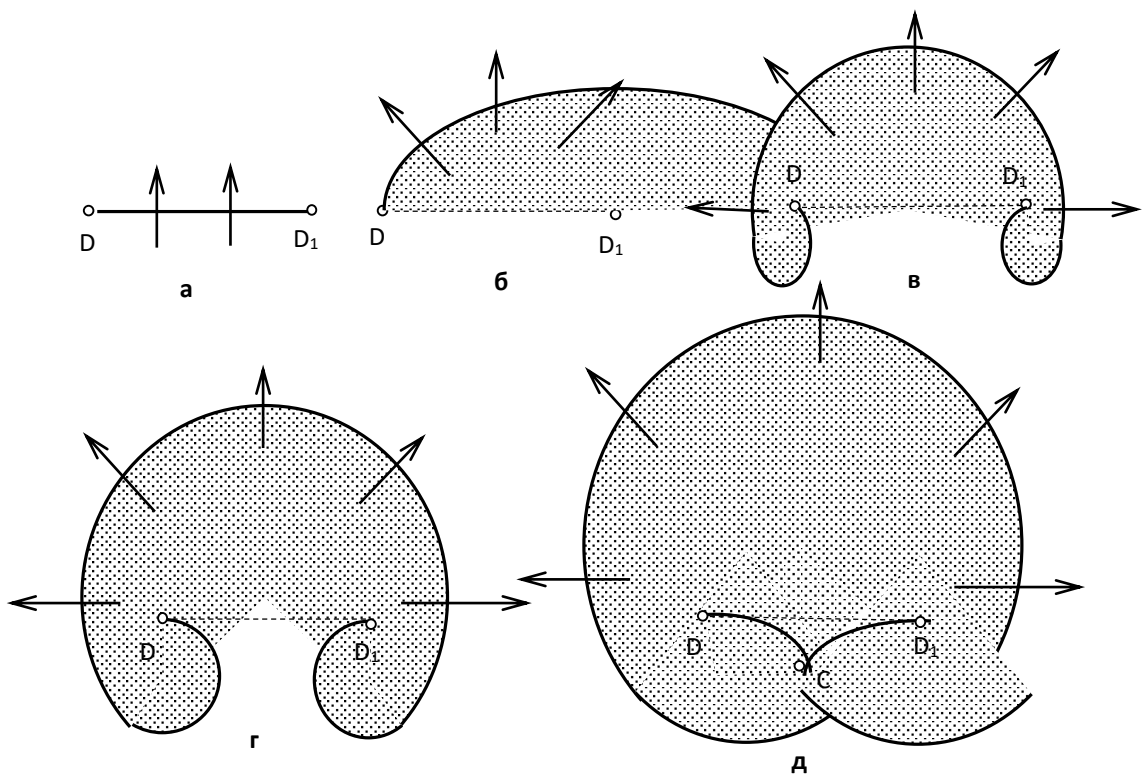
$$r = \frac{L}{2}$$

bu erda L-dislokatsiya uzunligi.

Bu minimal radiusga mos keladigan urinma kuchlanishning maksimal qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_{kp} = \frac{2\alpha Gb}{L} \quad (2.9)$$

$\tau < \tau_{kp}$ ning ixtiyoriy qiymatlarida yoy barqaror bo'ladi, kuchlanishning bu aniqlangan qiymatida radiusning o'z hiymatiga mos keladi. Agar yoy hali yarim aylana shakliga kelmagan bo'lsa, unda urinma kuchlanish kamayishi bilan tortish kuchi yoyni elastik ravishda to'g'rilyadi.



2.2-rasm. Fran-Rid tekis manbaida dislokatsiya bo'g'inlarini hosil bo'lish bosqichlari.

2.2-rasmda ko'rsatilgan dislokatsiya chizig'i harakatlanadigan zona siljish sodir bo'lib bo'lgan hudud hisoblanadi. Urinma kuchlanishning yo'nalishi o'zgarmasdan qoladi, kuchning o'zi $f = b\tau$, dislokatsiyaga ta'sir qilib, har bir nuqtada dislokatsiya chizig'iga perpendikulyar bo'lib, yoy radiusi bo'ylab yo'nalgan.

Yoyning $p = \infty$ dan (DD_1 to'g'ri chiziq 3.2-rasm a) $p = p_{kp}$ (3.2-rasmdagi yarim aylana) gacha egilishi urinma kuchlanishning uzluksiz ravishda noldan τ_{kp} Kengayuvchi sirtmoq D va D_1 nuqtalarda to'silgan holatda qoladi va shu sababli bu sirtmoq f_q b kuch ta'sirida bu nuqtalar atrofida ikkita simmetrik spiral ko'rinishida o'raladi, bu sirtmoqning hamma hududida bu kuch dislokatsiya chizig'iga perpendikulyar bo'ladi. Bunday holatda albatta shunday vaziyat bo'ladiki unda ikkita spiralsimon ko'rinishdagi dislokatsiya qismlari bir-biriga tegadi. Tegish nuqtasida dislokatsiyaning qarama-qarshi maydonlari bir-biriga tegadi. Ular bir-birini yo'q qiladi, ya'ni bitta dislokatsiya ikkita yopilgan sirtmoq va DCD_1 dislokatsiya qismga ajraladi, bunda DCD_1 2 ta yoydan iborat bo'ladi (2-rasm, d).

Yopiq dislokatsion sirtmoh D va D_1 nuqtalar bilan bog'lanmagan. Urinma kuchlanish harkatlanishi orqali hamma tomonga cheklovlarsiz tarqalishi mumkin, va boshqa to'siqlar bo'lmasa kristall yuzasiga chiqishi mumkin.

Qo'yilgan kuch ta'sirida va chiziqli cho'zish bilan to'g'rilangan DCD_1 dislokatsiya o'z uzunligini DD_1 gacha kamaytiradi va oxirida dislokatsiyaning dastlabki uzunligi ko'rinishiga keladi. Bunday yo'l bilan Frank-Rid mexanizmi bitta sirpanish tekisligida cheklanmagan miqdordagi dislokatsiya sirtmoqlarini va bu tekislikda sezilarli siljish hosil qilishi mumkin.

Dislokatsiyalarning boshqa manbalarini nazariy ko'rsatish Frank-Rid modeliga asoslanadi va manbaining fazoda joylashmaganligi va uning o'sishi davomida dislokatsion sirtmoqning harakatlanish shakli bilan farqlanadi.

Dislokatsiya zichligining plastik deformatsiya darajasiga bog'liqligi Van-Gyurera tengligi bilan ifodalanadi:

$$\rho = 10^8 \cdot \sqrt[3]{\rho_0} \cdot \varepsilon$$

bu erda ρ_0 -dislokatsiyaning dastlabki zichligi; ε - plastik deformatsiya darajasi.

Materialning deformatsion puxtalanishga moyilligi ko'pgina faktorlarga bog'liq, asosan, kristall panjara turiga, struktura, legirlovchi elementlar va qo'shimchalar konsentratsiyasiga, shuningdek deformatsiyalashda polimorf o'zgarishga moyilligiga ham bog'liq. Shunda GTsK kristall panjaraga ega kristallografik struktura GPU ga qaraganda ko'p sirpanuvchi tekisliklarga ega bo'lishi mumkin, GPU faqat bitta

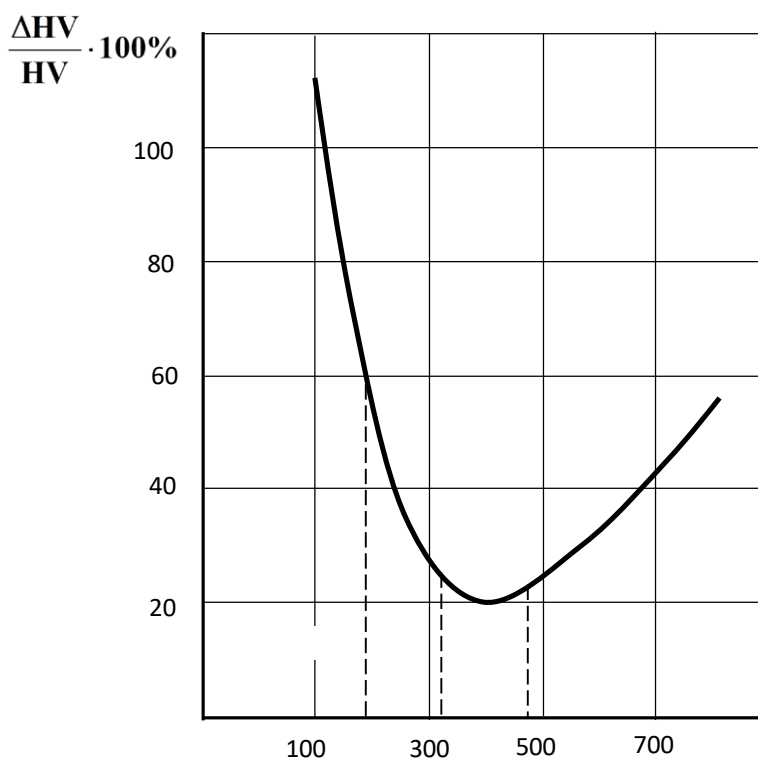
sirpanuvchi tekislikka ega, OTsK kristall panjaraga ega bo'lgan metallar ko'p miqdordagi sirpanuvchi sistemalarga ega bo'ladi. Sirpanish sistemalari qanchalik ko'p bo'lsa, materialning deformatsion puxtalanishga bo'lgan moyilligi shuncha yuqori bo'ladi.

Deformatsion puxtalanishning miqdoriy texnologik harakteristikalaridan biri puxtalanish darajasi (deformatsiyalashda hattihlikni nisbatan ortishi) hisoblanadi va u quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\psi = \frac{\Delta HV}{HV} \cdot 100 \%$$

bu erda ΔHV -deformatsiyalashda qattqlikni ortishi; HV-dastlabki holatdagi qattqlik.

Puxtalanish darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, po'lat shunchalik yumshoq bo'ladi. Shunda toblanmagan po'latning yuzasini deformatsiyalash uning qattqligini 100 % dan ortiqqa oshirishi mumkin, toblanganda esa faqatgina 10...15 % ga ortishi mumkin. qattqlikni oshishi po'latning deformatsiyalanadigan strukturaga egaligiga bog'liq. Eng



2.3- rasm. Uglerodli va legirlangan po'latlarni plastik deformatsiyalashda qattqligining nisbatan ortishi. I- ferrit va perlit; II- perlit; III- sorbit; IV- trostit va martensit.

yuqori deformatsion puxtalanishga moyillik ferrit strukturalar uchun, eng kichigi esa perlit va sorbit strukturalar uchun xosdir. Austenit deformatsiyalanganda u qisman martensitga aylanadi, bu esa qattqlikni oshiradi.

Martensitning deformatsion puxtalanishi dislokatsiya zichligining ortishi, qoldiq austenitning martensitga aylanishi va yuqori dispers karbid zarrachalarning ajralib chiqishi bilan bog'liqdir. 3.3- rasmda uglerodli va legirlangan po'latlarning turli xil strukturaviy holatda plastik deformatsiyalangandagi qattqligining nisbatan ortishi ko'rsatilgan.

2.3. Deformatsion puxtalangan metallning struktura o'zgarishi.

Plastik deformatsiya metall va qotishmalarning termodinamik potentsialini (kimyoviy potentsial) kristall panjaraning buzilishi va undagi nuqsonlar bilan bog'liq bo'lgan puxtalanish energiyasi hisobiga o'zgartiradi. Plastik deformatsiyadagi kimyoviy potentsial intensiv ravishda deformatsiya darajasining ortishi bilan o'sib boradi, keyin esa bu intensivlik yo'qolib to'yinishga intiladi. Uning absolyut chegaraviy qiymati plastik deformatsiya natijasida hosil bo'lgan struktura nuqsonlarining miqdori va energiyasiga bog'liq. Alyuminiyni plastik deformatsiyalashdagi ichki yutilgan energiya 2 % dan ortiq emas, po'latlarni deformatsiyalashda esa 10...12 % ga teng. Uglerodli po'latlarni deformatsiyalashda 90 % ga teng ichki yutilgan energiya 42 kJ/kg ga teng bo'ladi. Ichki energiyaning ortishi kristall tuzilishdagi nuqsonlarning harakatlanishini kamaytiradi. Strukturaviy nuqsonlarning hosil bo'lish energiyasi kristall panjara va legirlash turiga bog'liq. OTsK va GTsK panjaraga ega toza metallar uchun vakansiyalar hosil bo'lishining energiyasining eksperimental qiymati (E_0), bu vakansiyalarning ko'chishining aktivlashuvi (E_M) va o'zdiffuziyaning aktivlashuvi (E_{SD}) 2.1-jadvalda keltirilgan.

Metaldagi vakansiyalarning termodinamik muvozanat konsentratsiyasi temperaturaga bog'liq:

$$C_B = \exp\left(\frac{S_0}{k}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E_0}{kT}\right)$$

bu erda S_0 -bitta vakansiya hosil bo'lishidagi entropiya; k - Boltsman koeffitsienti.

2.1-jadval. Ayrim metallarning vakansiyalarining(eV) ko'chishi va energiya hosil bo'lishi.

Metall	Panjara turi	E_0	E_M	E_{CD}
Au	ГЦК	0,95	0,83	1,76
Ag		1,13	0,66	1,76
Cu		1,28	0,71	2,07
Al		0,67	0,62	1,28
Pt		1,51	1,43	2,90
W	ОЦК	3,60	1,70	5,70
Mo		3,20	1,30	4,50

Metallarni vakansiyalar bilan o'ta to'yinishiga yuqori temperaturadagi holatini (toblash)ni, yuqori konsentratsiyalangan energiya manbalari, plastik deformatsiya va boshqalarni qayd qilish hisobiga erishish mumkin.

Plastik deformatsiya vaqtida ichki yutilgan energiyaning asosiy qismi dislokatsiyaning o'sishi bilan bog'liq. Bu energiyaning qiymati quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\Delta E_{\text{BH}}^{\text{dusl}} = \rho V_M \cdot \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)} \left[\ln \left(\frac{1}{1,5 \cdot b} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} \right) + Z \right]$$

bu erda ρ -dislokatsiya zichligi; ν -Puasson koeffitsienti; G -siljish moduli; b -Byurgers vektori; V_M -1mol fazaning hajmi; Z - Dislokatsiya yadrosining elastik energiyasidagi ulushni ifodalovchi koeffitsient ($Z= 1...3$).

Agar dislokatsiya bilan singish atomlari buluti bog'langan bo'lsa, uning energiyasi kamayadi, yoki dislokatsiyaning o'rin olish atomlari yoki vakansiyalar bilan ta'sirlashuvida ham. 2.2- jadvalda dislokatsiyalarning nuqtali nuqsonlar bilan ta'sirlashuv energiyalari keltirilgan.

2.2-jadval. Dislokatsiyalarning nuqtali nuqsonlar bilan bog'lansiq energiyasi (eB)

Nuqtali nuqson	Bog'lanishning elastik energiyasi, E_{ynp}	Bog'lanishning elektr energiyasi, $E_{\text{эл}}$
Tugunlar orasidagi atom (aralashmalar yoki o'zining)	0,20...0,50	0,02
O'rin olish atomlari	0,05...0,10	0,02
Vakansiya	0,2	0,02

Karbid hosil qilmaydigan elementlar (Ni, Si, Al, Co) va shuningdek Ti va Varalashmalarning dislokatsiyaga tortilishini sekinlashtiradi. Cr, Mo va W kabi elementlar esa buni tezlashtiradi. Plastik deformatsiya vaqtida hosil bo'ladigan nuqtali nuqsonlar va dislokatsiyalardan tashqari energiya joylashuvdagi nuqsonlar, ikkita donalar chegaralari, yacheykalar devorlari va dislokatsion strukturaning mayda zarrachalari bilan bog'langan.

Plastik deformatsiyada dislokatsiya, qo'shaloqlarning va vakansiyalarning zichligi ortishi bilan deformatsiyaning alohida bir o'qi bo'ylab cho'zilgan qismida zarrachalar maydalanishi sodir bo'ladi, yacheykaning ichki strukturasidagi dislokatsiyalarning tartiblanishi kuzatiladi, elastik muvozanat holatda katta miqdordagi mikro va undan ham kichik bo'lgan yoriqlar hosil bo'ladi, bu holat esa makro kuchlanishni hosil qiladi. Karbid fazalar bu o'zgarishlarga bardosh berishi mumkin. Sementitning teng o'qli globullari o'zgarmaydi, plastinkasimon sementit esa matritsa bilan birgalikda sementitlanadi va bo'laklarga parchalanadi, buning oqibatida u uzayadi va ingichkalashadi, ya'ni deformatsiya harakati yo'nalishi bo'ylab orientirlanadi. Deformatsiya vaqtida perlitli strukturalarda plastinalar orasidagi masofa o'zgaradi. Karbidlarning bir qismi parchalanadi, va dislokatsiyalarda segregatsiya hosil qilish yoki juda mayda grafit ko'rinishida ajralishi orqali uglerod qattiq qotishmaga o'tadi. Shunga o'xshash hodisa martensit va rangli metallarning qotishmalarining o'ta to'yingan aralashmalarini deformatsiyalashda kuzatiladi.

Plastik deformatsiya natijasida strukturaning o'zgarishi va ichki yutilgan energiya strukturaga bog'liq bo'lgan mexanik va fizik xossalarni keskin o'zgartiradi. Ayniqsa puxtalik bilan bog'liqlari kuchli o'sadi va po'lat qotishmalarning plastiklik xossalari pasayadi. GTsK kristall panjaraga ega bo'lgan qotishmalar OTsK panjaraga ega bo'lganlariga nisbatan bir necha barobar intensiv puxtalanadi. Plastik deformatsiya elektr qarshilikni oshiradi, koersitiv kuchni pasaytiradi, shuningdek material zichligini kamaytiradi.

Deformatsion puxtalangan metallning holati termodinamik barqaror emas, va uni qizdirish jarayonida unda uning erkin energiyasi o'zgarishiga sabab bo'ladigan

jarayonlar sodir bo'ladi. Bu jarayonlar ularning aktivlashtiruvchi energiya o'sishi bo'yicha rivojlanadi va quyidagi tartibda:

- Nuqtali nuqsonlar va ularning oqimini dislokatsiyalar va vakansiylarni tugunlar orasidagi atomlar bilan bog'lovchi chegaralar diffuziyalanishi, kristall panjarada nutali nuqsonlardan iborat guruhlarning hosil bo'lishi;
- Dislokatsiyalarning oddiy va ko'ndalang sirpanishi bilan tarqalishi, bu esa qarama-qarshi dislokatsiya qismlarining buzilishi va dislokatsion sirtmoqlarning torayishi bilan boradi;
- Dislokatsiyalarni sirg'anishi orqali qayta taqsimlanishi, bu esa dislokatsiyalar siljishini dislokatsiyalar devorining buzilishi yoki sochliligi bilan birikishiga va ularning kristallografik orientrlanishiga sabab bo'ladi;
- Kichik burchakli chegaralarning hosil bo'lishi;
- Kichik burchakli va donalar orasidagi chegaralarning deformatsiyalangan matritsaga nuqsonlarni yutish bilan ko'chishi;
- Qayta kristallangan donalarni bo'luvchi va so'ngilarini yiriklashtiruvchi katta burchakli chegaralarning ko'chishi.

Materialga, deformatsiya va qizdirish bosqichlariga bog'liq holda hamma ko'rsatilgan jarayonlar navbati bilan sodir bo'lishi yoki birdaniga sodir bo'lishi mumkin. Ichki zaxira energiyasining issiqlik ko'rinishida ajralishi bilan kechadigan deformatsiyalangan metall strukturasi katta o'zgarishlar kristall panjarada va dislokatsiyada nuqtali nuqsonlarning yo'qolishi va qayta taqsimlanishi bilan bog'liq.

2.4. Deformatsion puxtalash usullari.

Yuzani plastik deformatsiyalash usullaridagi farqalar va xilma-xillikka qaramasdan ularning hammasini 4 ta guruhga bo'lishimiz mumkin va bu guruhlar 2.3-jadvalda keltirilgan.

1. Yuzani puanson bilan statik deformatsiyalash - zarb bilan presslash, shtamplash va boshqalar. Bunday ishlov berishning xarakterli xususiyati yon yuzasi silliq yoki figurali puanson bilan yuzani deformatsiyalash hisoblanadi. Bunda yuzadagi mikro noteskiliklar asosiy normal kuchlar hisobiga deformatsiyalanadi.

2. Yuzani (mikro notekisliklar) asbobni o'q (teshiklarni shliflash, kiryalash, va boshqalar) bo'ylab va ko'ndalang bo'ylab o'zgartirish orqali deformatsiyalash. Bunday operatsiyalarda shuningdek yuza qatlam deformatsiyalanayotganda normal kuchlar bilan birgalikda ishqalanish kuchlari ham hosil bo'lib, ular asbobni joyini o'zgartirish vaqtida hosil bo'ladi.

3. Yuzani rolik yoki shar (yumalab ishqalanish hisobiga deformatsiyalanish) bilan chiniqtirish. Bu guruhga detallarni rolik, shar bilan ishlov berish, dumalatib ishlov berish kabi usullar kiradi. Rolik yoki sharik ishlov berilayotgan detalga tekkanda siquvchi kuchlanish hosil bo'ladi, buning natijasida metall plastic deformatsiyalanadi, bu esa uning shaklini deformatsiyalayotgan asbob shakliga kirishiga undaydi. Bunda yuzadagi notekisliklar tekislanadi. Sharik bilan deformatsiyalayotganda zaruriy puxtalanish va yuzaning tekislanishiga normal kuchlari qiymati kichik bo'lganda erishiladi.

4. Yuzaning dinamik puxtalanishi (zarralar oqimi bilan ishlov berish, sharlar bilan puxtalash, yuzani zarb bilan ishlash, rotatsion siqish va boshqalar). Bunday qolatda yuza qatlamining puxtalanish darajasi va uning qattiqligi bir-biriga teguvchi jismlarning massasi, ularning harakatlanish tezligi va boshqa asbobning (sharik, zarrachalar, uriluvchi va boshqalar) ishlov berilayotgan yuzaga urilish energiyasini aniqlab beruvchi faktorlarga bog'liq.

2.3-jadval. YPD metodlarining klassifikatsiyasi

№	Jarayonning xarakteristikalar	Ishlov berilgan yuzaning sifati		Qo'llaniladigan metodlar
		Ishlov berish aniqligi darajasi	Yuza g'adir- budurligi, Ra, mkm	
1	Yuzani static deformatsiyalash (puanson bilan)	7...8	1,25...0,32	Zarb bilan siqish, shtamplash
2	Yuzani (mikro notekisliklar) asbobni o'q bo'ylab va ko'ndalang bo'ylab o'zgartirish orqali деформациялаш	6...7	0,63...0,08	Tsilindrsimon va shaklli teshiklarni sayqallash, silindrsimon va shaklli profillarni kiryalash va boshqalar.

3	Yuzani rolik orqali chiniqtirish (dumalab ishqalanish hisobiga deformatsiyalanish) Yuzaning dinamik puxtalanishi		Tashqi yoki ichki yuzalarni shariklar yoki roliklar orqali chiniqtirish, roliklar orasida chiniqtirish, rezbarlar, tishli g'ildiraklar va boshqalarga dumalatib ishlov berish va kalibrlash. Shariklar bilan puxtalash, yuzani zarb bilan sihish, rotatsion siqish. Zarrachalar oqimi bilan ishlov berish.
---	--	--	--

Puxtalanishni o'tkazishdan asosiy maqsad bu yuza qatlamning toliqishga bo'lgan qarshiligini va qattiqligini ortirish va ularda ichki yo'nalgan kuchlanishlarni hosil qilish, asosan siquvchi kuchlanishlarni, yana shuningdek yuzadagi notekisliklarning tartiblanishini ham oshirishdir. Plastik deformatsiyalash orqali yuzani samarali puxtalash asosan mashina detallariga ishlov berishning so'ngi texnologik bosqichlari bo'lgan tig' bilan kesish yoki abraziv asbob bilan ishlov berish bosqichlari o'rniga so'ngi texnologik bosqich sifatida qo'llaniladi. Uncha qattiq bo'lmagan detallarga ishlov berishda yuzani dinamik ishlov berish usuli orqali plastik deformatsiyalash samaralidir, bunda zarb bilan ta'sir qiluvchi asboblar, ultratovushli yoki impulsli chiniqtirishdan foydalaniladi.

Ishlov berilayotgan material yuzasining qattiqligi va plastik deformatsiyalash chuqurligi puxtalash bosqichlari, materialning fizik-mexanik xossalari, strukturasi va kimyoviy tarkibiga bog'liq. Yuza qattiqligiga eng katta ta'sirni ishlov berilayotga material bilan kontaktda bo'lishida asbobning nisbiy bosimi ko'rsatadi. Nisbiy bosim chiniqtirish yoki tekislashni kuchayishi, deformatsiyalanayotgan element yoki detal geometriyasi, ishlov berilayotgan materialning fizik-mexanik xossalariga ko'ra aniqlanadi. Chiniqtirish va sayqallashda dastlabki nisbiy bosimni Brinell (HB) bo'yicha qattqlikka teng deb qabul qilish mumkin.

Yuklama ta'siri nisbatining va zo'riqishning ortishi bilan puxtalangan yuzaning qattiqligi ma'lum bir darajagacha to'g'ri proporsional ortadi va keyin esa muvozanatlashadi. Muvozanatlashni dastlabi nuqtasi bosimning ruhsat etilgan chegarasini yoki yuklashning sikllari sonini aniqlab beradi. Puxtalash jarayonining

davom ettirilishi qattqlikni pasayishi va chidamlilik chegarasining keskin pasayishiga, yana shuningdek katta ichki kuchlanishlar hisobiga yuza qatlamning buzilishiga ham sabab bo'lishi mumkin. Bu jarayon esa o'ta puxtalanish deb ataladi. Yuklanishlarning umumiy sikllari soni puxtalangan strukturaning toliqishga mustahkamligi bilan cheklanadi va bu quyidagi ifodada aks ettiriladi:

$$N \leq \left(\frac{\sigma_B}{k_f \cdot HB} \right)^t \quad (2.14)$$

bu erda N -yuklanish sikllar soni; σ_B -material mustahkamlik chegarasi; t -materialning toliqish mustahkamligini ko'rsatuvchi; k -materialning zo'riqish holatini ko'rsatadigan va material tabiatiga bog'liq bo'lgan koeffitsient; f -ishqalanish koeffitsient; HB- Brinell bo'yicha qattqlik.

3-mavzu: Elektruchqunli, lazer nuri yordamida, detanatsion usul bilan, plakerlash bilan puxtalash texnologiyalari.

Reja:

1. Elektr uchqunli puxtalashning fizik asoslari (legirlash).
 2. Elektruchqunli qoplama qoplashning maxsus usullari. Elektr-uchqunli legirlashning mahsus metodlari.
 3. Kukun materialdan elektr-uchqun usuli yordamida qoplama qoplash.
 4. Bimetall elektrodlar bilan elektr-uchqunli legirlash.
 5. Lazer yordamida ishlov berishning fizik asoslari va texnologik jarayonlari.
- Tayanch so'zlar: legirlash, impulsli, lazerli, teplofizik jarayonlari, detonatsion purkash, bimetall elektrodlar.

3.1 Elektr uchqunli puxtalashning fizik asoslari (legirlash).

Materiallarga ishlov berishda elektro uchqunli usullar deb, asosida material va yuqori konsentratsiyali oqimdagi energiya hamda moddaning o'zaro ta'sir jarayonlari bo'lgan, elektroerozion va elektro uchqunli uslublar nazarda tutiladi. Barcha elektrouchqunli jarayonlar quyidagida aks etgan yagona asosga egalar. Elektrodlar yaqinlashganda ular orasidagi elektr maydoni kuchlanishi ortadi va ma'lum tirqishda uchqunli elektr razryad xosil bo'lishi uchu etarli kattalikga etadi. Xosil bo'lgan ochiq o'tkazuvchanlik kanalidan elektronlar tutami fokuslangan xolda anodning metall

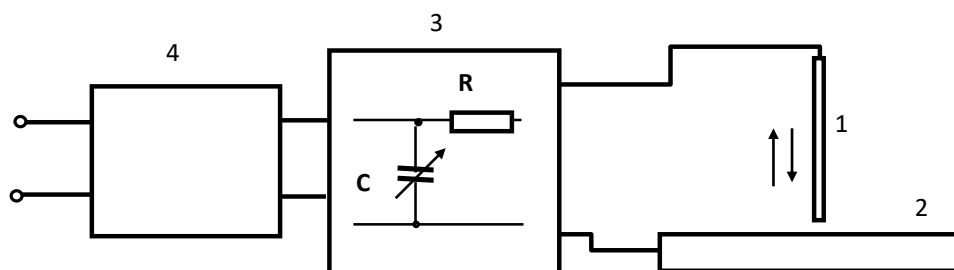
sirtiga borib uriladi. Tormozlangan elektronlar kinetik energiyasi anodning sirt qismida ajraladi. Anodning sirtidagi xarorat jiddiy ravishda katod xaroratidan baland bo'ladi va bu uchqunlanish jarayonining qutibliklik effektini negizini ifodalaydi [16].

Tizim birdaniga yig'ilgan elektr energiyani ozod qilishi sababli, tok zichligi keskin qiymatlardan ancha balandroq bo'ladi. Natijada anoddan erigan metal tomchisi ajrab chiqib, anoddan ilgari ketgan holda katod tomonga xarakatlanadi. Elektraro satxda uchib borayotgan tomchi xarakatda yuqori xaroratgacha qizishga ulgurib, shuning xisobiga qaynaydi va portlashsimon dispergiyalanadi. Tok zanjiri uziladi, elektr maydonining siqish kuchlari yuqoladi va zarrachalar keng frontli sochilib ketadi. Elektrodlar eroziyasi maxsullaridan iborat bo'lgan faol modda oqimi vujudga keladi, shu bilan birga unda anodning materiali elementlari kuproq bo'ladi. Elektroerozion va elektruchqunli legirlash tizimlarida jarayonning keyingi o'tishi xar xil bo'ladi.

Elektroerozion ishlov berishda uchqunlash jarayoni dielektrik suyuqlikda amalga oshadi, bu suyuqlik bir tomondan uchqunlanish razryadi quvvatini oshirishga olib keluvchi dastlabki kuchlanishni oshirib, ikkinchi tomondan elektraro satxdan eroziya maxsullarini yo'q qiladi. Anod satxidagi erozion buzulish faolligi, elektrod materiallari teplofizik va elektr xossalari to'planmasi orqali qo'shimcha kuchaygan qutiblanish effekti sababli katodnikidan ustun bo'ladi. Elektroerozion ishlov berish, unumdorligi materialning pishiqlik xossalari bog'liq bo'lmagan shakl yuzaga keltirish texnologiyasiga oiddir. Shuning uchun bu usuldan mutlaqo kesish orqali ishlov berib bo'lmaydigan, iqqiqga chidamli va qiyin ishlanadigan, toko'tkazuvchan materiallarga ishlov berishda keng foydalaniladi. Elektroerozion ishlov berishda ishlov berilayotgan materialning eng ko'p kesilishi to'g'ridan-to'g'ri qutiblikda amalga oshadi, bunda elektrod-vosita anod bo'ladi, ishlov berilayotgan jism esa katod. Teskari qutiblik tozalovchi elektroerozion ishlov berishda yuqori tozalikdagi sirt vujudga keltirish uchun qo'llaniladi. Elektroerozion ishlov berish jarayonini boshqarish, uchqunli razryadni yoyli razryadga aylanishiga olib kelishi mumkin bo'lgan, elektrodlar orasidagi mexanik kontaktga yo'l quymaslikni ta'minlovchi doimiy elektrodlar aro tirqishni nazarda tutadi.

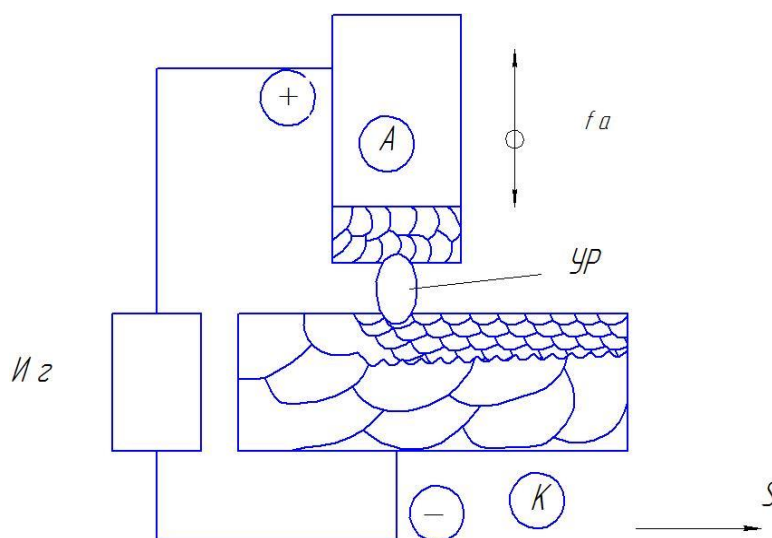
Elektruchqunli legirlashda (Elektruchqunli puxtalashda) ko'pincha to'g'ridan-to'g'ri qutiblanish ishlatiladi. 3.1-rasmda elektruchqunli legirlash uchun qurilmaning

tipli printsiplial sxemasi ko'rsatilgan. Puxtalanayotgan maxsulot katod 2 bo'lib, legirlayotgan elektrod anoddir 1. Anod va katod orasidagi elektr uchqun, kondensatorlar magazini tekislovchi va stabilizator 4 orqali zaryadlanadigan RC-generatori 3 ning sig'implarining bo'shatilishida vujudga keladi. Sxema o'zgaruvchan 220 v tok tizimi orqali ishlaydi.



3.1-rasm. Elektruchqunli legirlash uchun qurilmaning printsiplial elektr sxemasi

Yuqorida etilganidek aksariyat anodning materialidan iborat tashkil bo'lgan erodlangan massa, elektrod aro satx orqali, katodning sirtiga, qisman uning ustiga yopishib etkaziladi. Bunda xosil bo'luvchi qoplama maxsulot sirti ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilaydi. Anod ommaviy oqimi yuzaga kelishidan keyingi elektruchqunli legirlash jarayoni rivojlanishi xususiyatlarini batafsilroq ko'rib chiqamiz.



3.2-rasm. Elektruchqunli ishlov berish jarayoni umumiy sxemasi:

IG- impuls generatori, UR- uchqun razryadi, f - elektrodni vibratsiya chastotasi, S - surish, A- anod, K- katod.

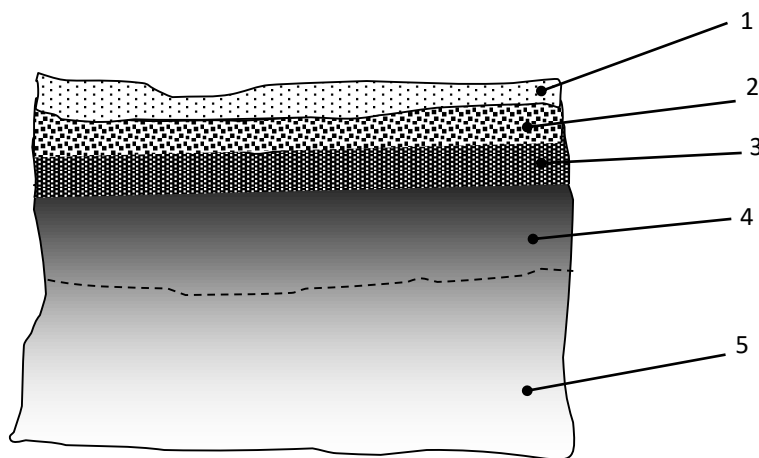
Eng keng tarqalgan kimyoviy –termik ishlov berish usulliga elektruchqunli ligirlash (EUL) kiradi (3.2-rasm). Bu usulda yuzani puxtalanishi anod materialini (qattiq qotishma) katodga (detalga) pulsatsiyalanuvchi tok va yuqori haroratli uchqun razryadi yordamida hosil bo'ladi. Bu maxsus dastgohlarda amalga oshiriladi. Ularni ishlash printsipi quyidagicha:

Anod ommaviy oqimi elektrod aro satxda xarakatlanib katod-maxsulot sirtiga intiladi, legirlovchi elektrod va puxtalanayotgan detal orasidagi qoldiq elektr maydoni evaziga qo'shimcha tezlanadi va qiziydi. Xarakatlanishda anodli erodlangan massa elektrod aro muxit va katod-maxsulot materiali eroziyasi maxsullari bilan fiziko-kimyoviy ta'sirga kirishadi. Tinish vaqtida erodlangan massa zarralari o'zida elektrik, kinetik va issiqlik energiyalarini saqlab qoladi, bu energiyalar puxtalanayotgan sirt bilan ta'sirga kirishganda katta zichlikdagi kuchlanish ko'rinishidagi issiqlik impulsi ko'rinishida ajraladi. Legirlovchi elektrod va puxtalanayotgan detal o'zaro kinematik aloqada bo'lgani sababli, erodlangan massa tinishidan so'ng, puxtalanayotgan sirt periodik xarakterdagi kontakt-deformatsion ta'sirga uchraydi. Kontaktli ta'sirning xar bir akti davomida legirlovchi elektrod va puxtalanayotgan sirt orasida mikrolokal adgezion aloqalar vujudga keladi va shu on uziladi, bu modifikatsiyalangan qatlam plastik deformatsiyasini va mexanik massako'chirishni yuzaga keltiradi.

Yuqori zichlikdagi kuchli energetik ta'sir elektruchqunli legirlashga xamoxang bo'lgan energomassako'chirishning mikrometallurgik, konveksion-diffuzion jarayonlar o'tishini kuchaytiradi.

Puxtalashtirilgan sirt quyidagi tuzilmaning (3.2-rasm)[16] kompozitsion tizimini ifodalaydi. Eng yuqori qatlam, katod material elementlari va elektrod aro muxit tomonidan modifikatsiyalangan legirlovchi anod materiallaridan tashkil topgan, yaxlit yoki orolchasimon yupqa qoplamli tuzilmalardan iboratdir. Yuqori qatlam yaxlitligi puxtalash sharoitlari va rejimlariga bog'liq. Yuqori qatlam ostida, puxtalashtirilayotgan sirt ustida ion-plazma va tomchilik fazalar kondensatsiyasi natijasida xosil bo'luvchi, anod va katod materiallari qorishmasidan iborat zona joylashadi. Undan keyin, katod-maxsulotning puxtalashtirilayotgan matritsasidagi legirlovchi elektrod elementlari diffuziyasi xisobiga xosil bo'lgan qatlam keladi 3. Uni ostida, issiqlik o'tkazuvchanlik xisobiga impulsli issiqlik ta'siri va intensiv sovutishga

duchor bo'lgan dastlabki materialning transformatsion strukturasi bo'lgan termik ta'sir zonasi (TTZ) 4 joylashadi. TTZ toblanish strukturalari vujudga kelishi natijasida, dislokatsiyalarning kuchaytirilgan zichligi va kristallik tuzilishning boshqa defektlari natijasida yuqori mikropishiqligi bilan ajraladi. Termik tasir zonasi asosiy material strukturasi ravon ravishda o'tib ketadi 5. Elektuchqunli legirlashning rejimlariga bog'liq xolda xar bir qatlamning kattaligi va puxtalashtirilish darajasi keng diapazonda o'zgaruvchan bo'lishi mumkin, bunda eng yuqori qalinlik xar doim TTZga tegishlidi. Modifikatsiyalangan qatlamning umumiy qalinligi 250...500 mkm ga etishi mumkin, bunda bevosita tindirilgan qoplam qalinligi 150...200 mkm dan oshmaydi.



3.2-rasm. Elektuchqunli legirlash bilan puxtalashtirilgan sirt qoplami strukturasi

Tribotexnik tizimlarda puxtalashtirilgan sirt strukturalar ekspluatatsiyasida yuqori qatlam kontakt ta'sir shartlarini belgilaydi, uning ximoya funksiyasi esa faqatgina ish paytida ko'rinadi. Pastki qoplamlar aniqlangan periodda tribobiriktirilishning ishchanligiga javobgar bo'ladilar va puxtalashtirilgan sirt ish resursini belgilaydilar.

Elektuchqunli legirlash jarayonining asosiy energetik xarakteristikasi bu yagona uchqunli razryad energiyasi bo'lib, umumiy xolda quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$W_p = \int_0^{t_n} U(t) \cdot I(t) dt \quad (3.1)$$

Bu erda t_n –yagona uchqunli razryad davomiyligi; $U(t)$ va $I(t)$ –elektrod aro sathdagi kuchlanish pasayishi va tok kuchining vaqt bog'likligi.

Impulsdagi $U(t)$ kuchlanishi va tok $I(t)$ ni jarayonni ostsilograflash yo'li bilan aniqlaydilar.

3.1.jadvaldan ko'rinib turganidek EUL (elektuchqunli legirlash)da yakka uchqun razryadi energiyasi uncha katta bo'lmagan qiymatga etadi, uskunalarning o'zini esa kamquvvatli toifaga mansub bo'ladi. Biroq uchqunli razryad qisqa vaqt ichida va o'lchami bir necha o'nlik mikrometr bo'lgan kichik maydonda sodir bo'lishini inobatga olib, kuchlanish zichligi ta'siri real uchastkalarda $10^5 \dots 10^7$ Vt/sm² ga yaqin miqdorga etadi, bu esa yuqori konsentratsiyalik energetik oqimlar guruhlariga oiddir. Elektrizroziya jarayoni aktiv modda oqimini olishdagi eng sodda va enerkiyani kam sarflaydigan uslublariga kiradi. Anod erroziyasi maxsullari , legirlovchi elektrod sathi bo'ylab yarimsfera doirasida izotrop ravishda sochilib, ionlashtirilgan, bug'li, tomchili va qattiq kristalli fazalarni o'z ichida mujasamlashtiradi. Bu fazalar nisbati yoki erozion ommaviy oqim strukturasi, kimyoviy tarkib va elektrod materiallari strukturasi, sirtlar g'adir budurligi va uchqunlanish razryadi energetik rejimlari hamda elektrod aro gazli muxit tarkibiga bog'liq.

Yagona erozion zarra elektrod aro oraliqda xarakatlanib, o'zida issiqlik, kinetik va elektr energiyalarni yig'adi. Zarrani puxatalanayotilgan sirtga qo'ndirilganda unda yig'ilgan energiyaning katta qismi issiqlik impulsi ko'rinishida ajraladi va ta'sir joyida tubi anod-katod moddasi erozion fragmentlari va muxit bilan o'zaro ta'sir maxsullari bilan to'lgan kratersimon chuqurcha xosil qiladi. Mikrochuqurcha diametral o'lchami issiqlik impulsi energiyasi bilan belgilanadi, shuning uchun diametral o'lchamlar taqsimlanishi xarakteri struktura va erozion anod oqim energetikasining bilvosita ko'rsatkichi bo'lib xizmat qilishi mumkin. Natijada EULning asosiy parametrlaridan biri bo'lib xarorat va barcha unga xamrox bo'lgan struktur jarayonlarni nazorat qiluvchi xarorat gradienti va tezligi g'avidalanadi. EUL jarayonining yuqori dinamikligidan xarorat xarakteristikalarini o'lchash qiyinlashadi, shuning uchun nazariy teplofizik analiz uni tadqiqot qilishni asosiy uslubi deb tan olinadi. Fazaviy o'zgarishlar va kristallanish chegaralari o'zgaruvchanligi inobatga olingan issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi (Stefan masalasi) echimi asosida, impulslu issiqlik manbayi markazi va xarorat o'rtasidagi energiya zichligini bildiruvchi aloqa aniqlangan.

$$T - T_{\text{m}} = \frac{E_0 \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha \sqrt{a}}{2}\right)}{\lambda \sqrt{2t_{\text{m}}}} \quad (3.2)$$

Bu erda T_{m} –Erish xarorati; E_0 –energetik oqim zichligi; t_{m} –issiqlik impulsi davomiyligi; a –xarorat o'tkazuvchanlik koeffitsienti; α - erish chegarasidagi tutashish shartlarini belgilovchi koeffitsient.

Yuqori qatlamlardagi xarorat gradientini material taranglik chegaralaridan oshirilgan xolda kristallik tuzilish defektlari rivojlanishini, lokal termoplastik deformatsiyani keltirib chiqaruvchi termokuchlanishlar miqdoriy qiymati belgilaydi. Elektrtuchqunli legirlash jarayoni xarorati esa, o'z o'rnida struktur-energetik reaksiyalar tezligi, ularning tugatilganligi va mutanosibligini nazorat qiladi. Yakka uchqunli razryad xarorati energiyasi ortirilganda uning gradienti xam oshadi. Elektrtuchqunli legirlash bilan birga o'tuvchi ko'pgina jarayonlarga xarorat va uning gradienti neadekvat ta'sir ko'rsatadi. Shunday qilib, xarorat gradienti ortishi bilan modifikatsiyalangan struktura dislokatsiyalari zichligi ortadi, xarorat ortishi esa uning dam olish jarayonlari xisobiga pasayishiga olib keladi. Xarorat gradienti ortishi bilan legirlovchi elektrod satxida uning mo'rt buzilish jarayonlari intensivatsiyalanadi va eroziyalangan anod massaning ortishiga olib keladi, biroq xarorat ortishi bilan elektrod aro jabxada oksidlanish jarayonlari aktivatsiyalanadi, bu esa eroziyalangan fragmentlar o'lchamining kichiklashishiga va anod massa oqimini pasaytirishga olib keladi.

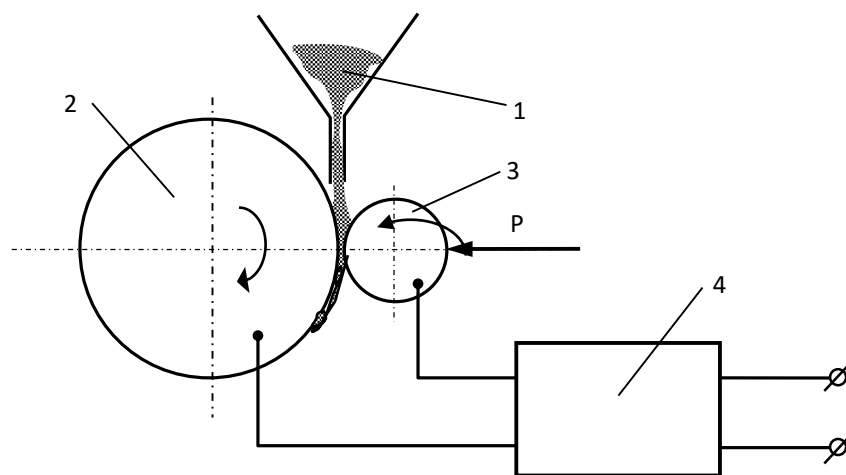
3.2. Elektrtuchqunli qoplama qoplashning maxsus usullari. Elektr-uchqunli legirlashning mahsus metodlari.

Elektr-uchqunli usulda olingan qoplama boshqa usulda olinganidan shunisi bilan farq qiladiki, bunda qoplama asos bilan yuqori mustahkam bog'lanishga ega bo'ladi. Bu esa puxtalangan, modifikatsiyalangan va legirlangan struktura hosil qilish usullarining turli-tumanligini tushuntiradi, bularning hammasi esa elektr-uchqunli jarayonda foydalaniladi. Ulardan bir qanchasini ko'rib chiqamiz.

3.2.1 Kukun materialdan elektr-uchqun usuli yordamida qoplama qoplash.

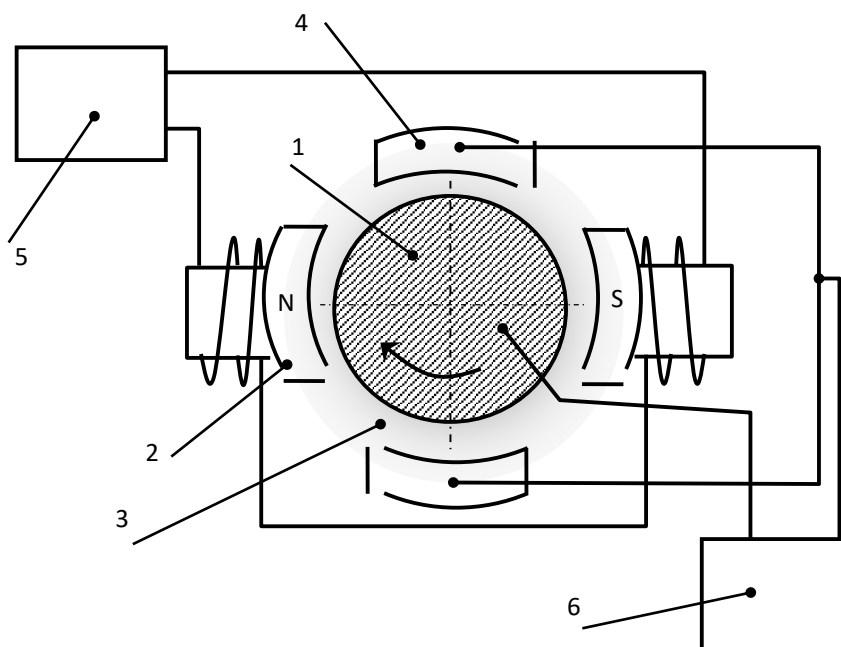
Mayda zarrachali tok o'tkazuvchi materialning kukuni puxtalanuvchi yuzaning kontaktlashuvchi zonasiga va misdan tayyorlangan rolikka uzatiladi, bular orasida

davriy uchqunli zaryad hosil bo'ladi. Uchqun ajralish jarayonini boshlab beruvchi impuls generatori konstruktiv jihatdan an'anaviy elektr-uchqunli legirlashda qo'llaniladigan qurilmalardan farq qilmaydi. Bog'lab uzish jarayoni elektr zaryad zanjirini uzuvchi electron qurilma yordamida amalga oshiriladi. Siquvchi rolik faqatgina anod vazifasini bajarib qolmasdan, balki qizdirilgan legirlangan qatlam yuzasining plastik deformatsiyalanishini ta'minlaydi. Uchqunli jarayonni elektrkontakt bilan almashtirish qoplamaning asos bilan adgeziyasini oshirish mumkin. Bundan yuzani puxtalashda va uni qayta tiklashda foydalanish mumkin. Qurilmaning asosiy sxemasi 4.8-rasmda keltirilgan.



3.3-rasm. Qoplama qoplash va legirlangan qatlam yuzasini plastic deformatsiyalashni elektr-uchqunli usuli: 1- metall kukuni; 2- puxtalanuvchi detal; 3- rolik; 4- impuls generatori.

3.3-rasmda Ferromagnit tarkibli metall kukunlarini qoplash uchun qurilmaning asosiy sxemasi keltirilgan. Puxtalanuvchi yoki qayta tiklanuvchi detal 1 doimiy magnitning 2 markazlari orasida aylantiriladi, bu magnitlarga perpendikulyar ravishda elektrodlar (anodlar) 4 joylashtiriladi. Detal yuzasi va magnit orasidagi bo'shliqqa kukunsimon ferromagnit material 3 kiritiladi, uning buluti esa magnit maydoni yordamida ushlab turiladi. Detalni uning yuzasida aylantirilganda metall kukunlarining detalga yuzasiga o'tirishi sodir bo'ladi. Elektrod va detal orasida hosil bo'ladigan elektr zaryad o'tirgan kukunni yuzaga qizigan holda yopishishini ta'minlaydi. Doimiy tok manbai 5 elektromagnitlarni ta'minlab turadi, impuls generatori 6 esa uchqun zaryadini ta'minlaydi.



3.4-rasm. Ferromagnit kukunni elektr-uchqun usulida qoplash:

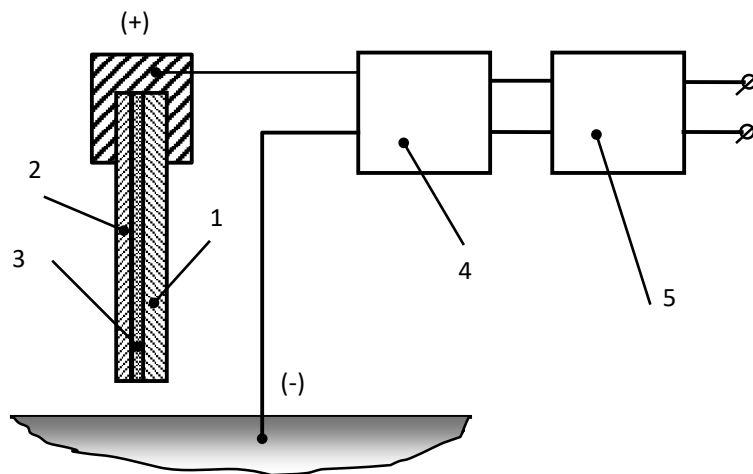
1-Puxtalanuvchi detal (katod); 2- elektromagnit; 3- ferromagnit kukun; 4- elektrod (anod); 5- doimiy tok manbai; 6- impulslar generatori.

Elektr-uchqun usulida legirlangan qoplamani qoplash va yuzani qayta tiklash uchun mahsus metall kukunlari ishlab chiqilgan, bu kukunlar qattiq qotishmalar ya'ni karbidlar, nitridlar va qiyin eriydigan metallarning boridlari, xrom va xromli qotishmalar volfram va uglerodning aralashmalari va boshq shu kabilardan foydalaniladi. Kukun materiallardan foydalanish metall psevdqotishmalar hosil qilishga imkon beradi, bunday qotishmalarni an'anaviy metallurgik jarayonlar yordamida olishni imkoni mavjud emas. Elektr-uchqunli qayta tiklash texnologiyasidan asosan harbiy mahsulotlarni va konchlikda foydalaniladigan mashinalarni, xo'jalik texnikalarini va asbobsozlik sanoatida ta'mirlash ishlarida keng ko'lamda foydalaniladi.

Bimetall elektrodlar bilan elektr-uchqunli legirlash.

Bimetall elektrod 2 ta metallardan iborat bo'ladi (3.5-rasm), bu metallar bir-biridan elektrizolyatsiyalovchi qistirma ajratilgan bo'ladi, bu metallarning biri legirlovchi elektrodlar an'anaviy materiallaridan tayyorlansa, ikkinchisi esa yuqori electron-emission xususiyatlarga (Elektronlarning past energiyada chiqishi) ega bo'lgan qotishmalardan tayyorlanadi.

Yordamchi elektrod 2 kanalning to'liq o'tkazuvchanligini electron emissiyasi hisobiga ta'minlash uchun xizmat qiladi, bundan keyin esa elektrodlarda kuchlanishlar kichik bo'lganda ham elektr zaryad ancha kuchli bo'ladi. Asosiy elektrod 1 ning elektrik emirilishi juda aktiv bo'ladi qachonki suyuq fazali anod hajmining ortib borishi bilan, bu esa o'z navbatida uzatilish koeffitsientini oshiradi. Bimetall materiallar legirlovchi material sifatida juda qattqlikka va past erosiion aktivlikka ega bo'lgan metallar va qotishmalarni qo'llash imkoniyatini taqdim etadi.



3.5-rasm. Bimetall elektrodlar yordamida elektr-uchqunli legirlash sxemasi: 1- legirlovchi material; 2- yordamchi elektrod; 3- izolyatsiyalovchi; 4- impuls generatori; 5- ta'minot manbai.

3.2. Lazer yordamida ishlov berishning fizik asoslari va texnologik jarayonlari.

Lazer yoki optik kvant generator shunday qurilma bo'lib, turli ko'rinishdagi energiyalarni (Elektr, yorug'lik, kimyoviy, issiqlik va boshqalar) bir tekis optik diapazonda elektromagnit nurlanadigan energiyaga aylantiradi. Lazerning ishlashi uyg'otilgan atomlar, molekulalarning ionlar va boshqa moddalarning zarrachalari sistemasi yorug'likni induksion tarqatishiga asoslangan bo'lib, bu zarrachalar optik rezonatorlarda joylashadi. Bunday mustahkamlanish bo'lishi mumkin, agar aktiv muhit harakat holatida yoki noto'g'ri joyda bo'lsa, aktiv muhit zarrachalarning (Elektronlar, atomlar, ionlar, molekulalar va boshqalar) energiya darajasi bo'yicha bir tekisda taqsimlanishi buzilsa va harakatga kelgan energetik pog'onadagi zarrachalar soni past energiya pog'onalarida joylashgan zarrachalar sonini ortiradi.

Aktiv muhitning joylashish zichligining ma'lum tartibda o'zgarishining boshlanishi va buni qo'llab-quvvatlash uchun turli xil uyg'otuvchi metodlaridan foydalaniladi, qaysiki dam berish deb ataladi, bu esa aktiv muhitning strukturasi bog'liq. Dam berish ultrabinafsha nurlanish, elektronlar to'plami, kuchli elektr maydon, gazli muhitdagi elektr zaryad, kimyoviy reaksiya va boshqa metodlar orqali amalga oshiriladi.

Optik rezonatorning oynalari orasidan puxtalovchi nurlanishning ko'p marotaba o'tishida lazer nurlanishning kuchli to'plami hosil bo'ladi. Lazer nurlari shaffof qilib tayyorlangan rezonatorning oynalaridan biri orqali chiqadi.

Lazer nurlari katta diapazondagi to'lqin uzunliklariga ya'ni ultrabinafshadan infraqizil va sabmillimetrgacha ega bo'ladi. Lazerlar nurni turli rejimlarda sochishi mumkin: uzoq vaqt to'xtovsiz, bir marta bitta chaqnash ko'rinishida, turli chastotali impuls rejimida.

Lazerli nurlanish bir tekislilik va bir xil ranglilik bilan harakterlanadi. To'lqin kogerent deb ataladi agar amplitude, chastota, faza, tarqalish yo'nalishi va qutblanishi doimiy vaqt bo'yicha yoki biror-bir qonun bo'yicha o'zgarsa. Aynan bir xil yorqinlik chastotaning va to'lqin uzunligining doimiy bo'lishini ta'minlaydi. Bir xil yorqinlikdagi to'lqin doim kogerent bo'ladi. Elektromagnit to'lqinlarning nazariy jihatdan bir xil yorqinlilikka ega bo'lishi, to'lqin uzunligiga teng bo'lgan dog'ga uning fokusini to'g'rilash imkonini beradi. Bu shuni anglatadiki, infraqizil diapazonli lazer nurlanishdan foydalanishda dog' diametri 1,0...10,0 mkm ga etishi mumkin, va quvvati esa 80 Vt (odatiy elektr lampaning quvvati), issiq oqimining zichligi 1010...1011 VtG`sm² ni tashkil etadi, bu esa yuqori konsentratsiyali energiya oqimi demakdir. Bunday issiqlik oqimi qiyin eriydigan metallarni eritib qolmasdan balki ularni bug'latib yuborishga ham etadi.

Umumiy holatda lazer texnologiyasi deganda materialga yoki yarim tayyor mahsulotga lazer nurlanish yordamida ishlov berish, ishlab chiqrish, holatini, xossalarini, shaklini o'zgartirish tushuniladi. Ko'pchilik holatlarda lazer texnologiyasida lazerning ishlov berilayotgan materialga ta'sirining issiqlik effektidan foydalaniladi. Issiqlik ta'siri lazer texnologiyalarida nurlanish va ishlov berish rejimi parametrlarini o'zgartirish hisobiga keng chegaralarda o'zgaratiriladi.

Lazer qurilmalarini bir qancha belgilar bo'yicha klassifikatsiyalash mumkin:

- Ishchi jism turiga ko'ra lazerlar qattiq jisimli, gazli, suyuq yoki rangli va erkin elektronsiz bo'lgan lazerlarga bo'linadi;
- Lazerlar haydash xususiyatiga ko'ra optik, gaz zaryadli va kimyoviy bo'lishi mumkin;
- Lazerning nurlanish quvvati qiymatiga ko'ra kam quvvatli, quvvatli va yuqori quvvatli bo'lishi mumkin;
- Lazerning nur impulsining davomiyligiga ko'ra uzluksiz va impulsli bo'lishi mumkin.

3.3.1. Uzluksiz lazer nurlanish orqali metallarni termo-puxtalashning teplofizik jarayonlari.

Lazer bilan ishlov berish texnologiyasi lazerli nurlanishning kichik hudud yuzasiga yuqori zichlikdagi issiqlik oqimlarini yo'naltira olish xususiyatiga asoslangan. Lazerli nurlanishda ishlov berilayotgan material yuzasiga yo'naltirilgan yoqrug'lik oqimi ko'pincha undan qaytadi, va ko'pincha qattiq jism tomonidan yutiladi. Metall tubiga etib boradigan nurlanish 0,1...1,0 mkm qalinlikdagi yuzaga yaqin qatlamdagi valent elektronlar tomonidan deyarli to'liqligicha yutiladi. Bu esa elektronlar energiyasining ortishiga va buning natijasida ularning bir-biri bilan to'qnashishi kuchayadi. Elektron tomonidan yutilgan energiya dastlabki tartib vaqti moment 10-11s da metallning kristall panjarasiga uzatiladi. Shu sababli bu paytda metallning issiqlik holati 2 ta bir-biridan farq qiladigan temperatura bilan harakterlanadi: electron temperaturasi T_e va panjara temperaturasi T_p va $T_e \gg T_p$. 10-9 s tartibda vaqtning tugab borishi bilan electron va panjara temperaturasi orasidagi farq minimal bo'ladi, va metallning harorati umumiy temperatura T_m bilan harakterlanadi. Bu shart ishlov berish zonasidagi nurlanish quvvati zichligi 10^9 Vt/sm^2 dan oshmagan taqdirda bajariladi.

Lazerli o'lchamli metallarga ishlov berish va puxtalash texnologiyasi issiqlik ta'sirlaridan foydalanishga asoslangan. Issiqlikning asosiy qismi lazerli qizdirishda elektron o'tkazuvchanlik hisobiga metall tubiga uzatiladi. Natijada lazerli qizdirishdagi issiqlik jarayonlarining fizik tabiati metallarga issiqlik bilan ta'sir qilishning an'anaviy usullarida kuzatiladigan fizik tabiat bilan bir xil bo'ladi. Bu esa lazerli ishlov berishda

issiqlikning metallarda tarqlashini issiqlik o'tkazuvchanlikning klassik nazariyasidan foydalangan holda ko'rib chiqishga asos bo'ladi [2].

Lazerli nurlanishning metallar va qotishmalar bilan ta'sirlashuvi yuqori tezliklik qizdirish va sovutish, eritish va bug'latish, materialning ajralishi va kimyoviy o'zgarishi, ionlashuvi va boshqa jarayonlar bilan boradi. Bunday yuqori gradientli haroratga ega bo'lgan issiqlik maydonida hosil bo'luvchilar termomehanik kuchlanishlar va deformatsiyaga sabab bo'ladi [42].

Lazer ta'siri ostida yuza qatlaminin puxtalanishi o'ta yuqori tezlikda qizdirish va undan keyingi nurlantirilgan materialning sovutilishi, yuzaning atrofdagi muhit elementlari bilan legirlanishi, nurlanish zonasidagi dislokatsiya zichligining o'lchami va boshqalar bilan belgilanadi. Nurlangan materialda bunday hollarda struktura va faza o'zgarishlari sodir bo'ladi, bu esa o'z navbatida o'ziga xos xossalarga ega bo'lgan maxsus ulatradispers gomogen struktura hosil bo'lishi bilan sodir bo'ladi. Lazeli puxtalashning bir qancha turlari mavjud bo'lib, ular bir-biridan asosan nurlanishning quvvati darajalari va termik jarayonlarning o'tkazilish tezligi bilan farqlanadi.

Birinchi 4 ta puxtalash usullaridan hozirgi kunda juda keng ko'lamda foydalaniladi. An'anaviy termik va kimyoviy-termik ishlov berish texnologiyalari bilan taqqoslaganda yuzani lazerli puxtalashning asosiy afzalliklari quyidagilar hisoblanadi: puxtalangan zonani olishning oddiyligi, texnologik jarayonning ekologik jihatdan tozaligi, termik siklning qisqaligi sababli oksidlovchi jarayonlarning minimal bo'lishi, murakkab shaklli yupqa devorli detallarni puxtalashda lazer texnologiyasidan foydalanish imkonining mavjudligi, va shuningdek mehanik kuch ta'sirining yo'qligi.

Lazerli puxtalashning istiqbolli yo'nalishlaridan biri bu yuzani tezlik bilan nurlantirish va zarb bilan puxtalash holatlarida amorfizatsiya qilishdir. Amorfizatsiya jarayonida yuqori tezlikda issiqlik olib kelinishi va olib ketilishi eritmaning o'z shaklini saqlagan holda qotishi, hamda metall oyna yoki yuza qatlaminin amorf holatining hosil bo'lishini ta'minlaydi. Yuzani amorfizatsiya qilish orqali yuqori qattqlik, korroziyabardoshlik, magnit xossalarning yaxshilanishi va boshqalarga erishish mumkin. Zarb bilan puxtalashga materialga lazerli nurlanishning o'ta qisqa impulsleri ta'sir ettirilganda erishiladi. Metal bilan ta'sirlashish jarayonida qaytish

impulsleri hosil bo'ladi, bu esa metallning sezilarli puxtalanishini ta'minlaydigan zarb to'lqinlarini hosil qiladi.

Metall yuzasining qizdirilish harorati berilgan uzunlikdagi elektromagnit to'lqinlarda materialning qay darajada energiya yutish qobiliyatiga ega ekanligiga qarab belgilanadi. Materialning yutish qobiliyatini son jihatdan nurlanishning yutilgan intensivligini aniq bir vaqtda qizdirishdagi nurlanishning pasayuvchi intensivligiga nisbati sifatida ifodalash mumkin. Umumiy tamoyil shuki metallarning yutish qobiliyati nurlanish to'lqinlari uzunligining kamayishi bilan ortadi.

Turli lazer ishlov berishning texnologik xususiyatlari

Puxtalash turi	Quvvat zichligi, Vt/m^2	Sovutish tezligi, Grad/s	Modifikatsiyalashgan qatlam chuqurligi, mm
1. Fazasiz o'tish	$10^7 \dots 10^8$	$10^4 \dots 10^5$	0,02...0,5
2. Fazali o'tish	$10^8 \dots 10^9$	$10^4 \dots 10^6$	0,2...3,0
3. Lazerli legirlash	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^4 \dots 10^6$	0,2...2,0
4. Lazerli naplavka	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^4 \dots 10^6$	0,02...1,0
5. Yuzani amorflash	$10^{12} \dots 10^{14}$	$10^6 \dots 10^{10}$	0,01...0,1
6. Shokli, zarbli	$10^{13} \dots 10^{16}$	$10^4 \dots 10^6$	0,02...0,2

Termo-puxtalash uchun texnologik lazerlar sifatida CO_2 (nurlarning to'lqin uzunligi $\lambda=10,6$ mkm), shuningdek qattiq korpusli oynasi neodimdan bo'lgan ($\lambda=1,06$ mkm) lazerlardan foydalaniladi. Bunday maxsus diapozonda ko'pchilik metallar yuqori qaytaruvchi yoki past yutuvchi xossalarga ega bo'ladi. Oksidlanmagan metall yuzasining yutuvchanlik xossasi lazer nurining to'lqin uzunligi $\lambda=1,06$ mkm bo'lganda Xagena-Rubens tengligi orqali aniqlanadi:

$$A = \frac{112,2}{\sqrt{\sigma_0}}$$

bu erda A -yutilish koeffitsienti; σ_0 -doimiy tokda metallning nisbiy elektr o'tkazuvchanligi.

Metallarning elektr o'tkazuvchanligi harorat ko'tarilishi bilan pasayadi, lekin yutilish koeffitsienti esa ortib boradi. Yuza qatlamida oksid pardoning bo'lishi yutilish xossasini o'sishiga halaqit berolmaydi. hamma metallar yuqori elektr o'tkazuvchanlik xossasiga ega bo'lib, shu sababli yuqori qaytaruvchanlik xossasi bilan ajralib turadi. Lazer nurlanishi bilan metal orasidagi ta'sirlashuvni kuchaytirish uchun ishlov berilayotgan detal yuzasiga maxsus bog'lanish bilan qoplanadi. Bunday qoplamalar

tarkibida kolloid grafit, marganes fosfat, polikristall volfram, mis oksidi bo'ladi. Ko'pgina holatlarda yuzaning yutuvchanlik xossasini oshirishga yuza g'adir-budurligini kamaytiruvchi oldindan mehanik ishlov berish yoki yuzani oksidlash uchun tayyorlangan lazerli nurlantirish orqali erishish mumkin.

Puxtalangan hududlarning o'lchami va shakllari, ularning strukturasi va xossasi materialdagi harorat hududlari va ularning vaqt o'tishi bilan o'zgarish harakteriga qarab aniqlanadi.

Yuzani termo-puxtalashning optimal rejimlarini keying modeli namoyishlardan aniqlash mumkin. Doimiy teplofizik xossalarga ega bo'lgan yarim cheksiz korpusni ko'rib chiqamiz, bu teplo-fizik xossalar yuzaning issiqlik manbai q ga nisbatan V tezlik bilan o'zgaradi. Agar issiqlik manbai o'zi bilan r radiusli doimiy intensivlikni namoyish qilsa,

$$q = \frac{AP_0}{\pi r^2}$$

Unda u materialga vaqt $t = 2r/V$ o'tishi bilan ta'sir qiladi. $r \gg \sqrt{at}$ bo'lganda issiqlik o'tkazuvchanlikning chegaraviy echimini topamiz

Lazerli ta'sirlashuv natijasida material strukturasi o'zgarishi.

Lazerli ta'sirlashuvdagi struktura o'zgarishlari temperaturaning absolyut qiymatlari va gradientlari, qizdirish va sovutish tezligi bilan aniqlanadi. Lazerli ishlov berish uchun yuqori gradientli va qizdirish va sovutish tezligiga ega dinamik temperature maydonlarining o'sishi harakterga ega. Lazerli nurlanishning material bilan ta'sirlashuvi natijasida diffusion, kimyoviy va termoplastik jarayonlar aktivlashadi, bular esa kristall tuzilishdagi dislokatsiyalar va boshqa nuqsonlar zichligining ortishi, toblangan strukturaning ortishi, qoldiq kuchlanish maydonlarining hosil bo'lishi, ortiqcha fazalarning ajralishi va erishi va boshqa struktura hosil qiluvchi jarayonlar sabab bo'ladi. Lazerli puxtalash natijasida hosil bo'lgan yuza strukturalari yuqori darajadagi notekisligi bilan xarakterlanadi va yuqori qattiqligi bilan ajralib turadi, bunday qattiqlikni an'anaviy termik ishlov berish yo'li bilan olishning iloji yo'q.

Po'latlar tarkibida uglerod miqdorining ortishi bilan puxtalanish darajasi ortib boradi, Kulrang cho'yanlarga lazerli ishlov berishda qo'shimcha puxtalanishga oq cho'yanning hosil bo'lishi hisobiga erishiladi. Lazer nurlanish orqali kam uglerodli

po'latlarning mikroqattiqligini oshirish mumkin, lekin bunday natijaga ma'lum bo'lgan ishlov berish turlaridan (TMI, toblash va boshqalar) foydalanib erishib bo'lmaydi. Lazerli ishlov berish orqali mikroqattiqlikning oshishi armko-temirlar uchun (0,06 %) hHVq800 MPa, U 10 po'latlar uchun 10000 MPa, po'lat 45 uchun esa 14000 MPa ni tashkil etadi. Ushbu ko'rsatilgan qonuniyat barcha metallar uchun umumiy harakterga ega bo'lib, lekin ayrim materiallarning alohida xossalari struktura o'zgarishlarining so'ngi natijasiga katta ta'sir qilishi mumkin.

Temir va temir-uglerodli qotishmalar misolida struktura va xossalarning o'zgarishi uchun ancha xarakterli misollarni ko'rib chiqamiz. Fokus nuqtasi yuzasida hosil bo'lgan mikrostrukturani shartli ravishda 2 ta hududga (erish hududi, termik ta'sirlashuv zonasi) ajratiladi, bu hududlar bir-biridan kristallanishning dastlabki holatlari bilan farqlanadi: issiqlik jarayonlarining davomiyligi, qizdirishning maksimal temperaturasi, temperature gradienti, dastlabki faza-strukturaviy holat va sovutish tezligi. Shu aniqki, erish hududi agar qizdirishning maksimal temperaturasi erish temperaturasidan ortib ketsa hosil bo'ladi. Erish hududining o'lchamlari maksimal temperature qiymatiga va lazerli ta'sirlashuvning davomiyligiga bog'liq.

Donalarning o'lchami va shakli sovutish tezligiga bog'liq bo'lib, bu jarayonning kinetikasi sezilarli ravishda an'anaviy toblashdan farqlanadi. Bu shu bilan belgilanadi ya'ni kristallanishning 2 ta asosiy parametrlari-kristallarning o'sish tezligi va kristallanish markazlarining soni o'ta sovushga katta ta'sir qiladi. O'ta sovutish orqali muvozanat holat diagrammasini belgilab beruvchi likvidusning muvozanat temperaturasi va kristallanishning haqiqiy temperaturasi orasidagi tafovutni tushunib olish mumkin. Sovutish tezligi ortib borishi bilan o'ta sovush kattaligi ortadi.

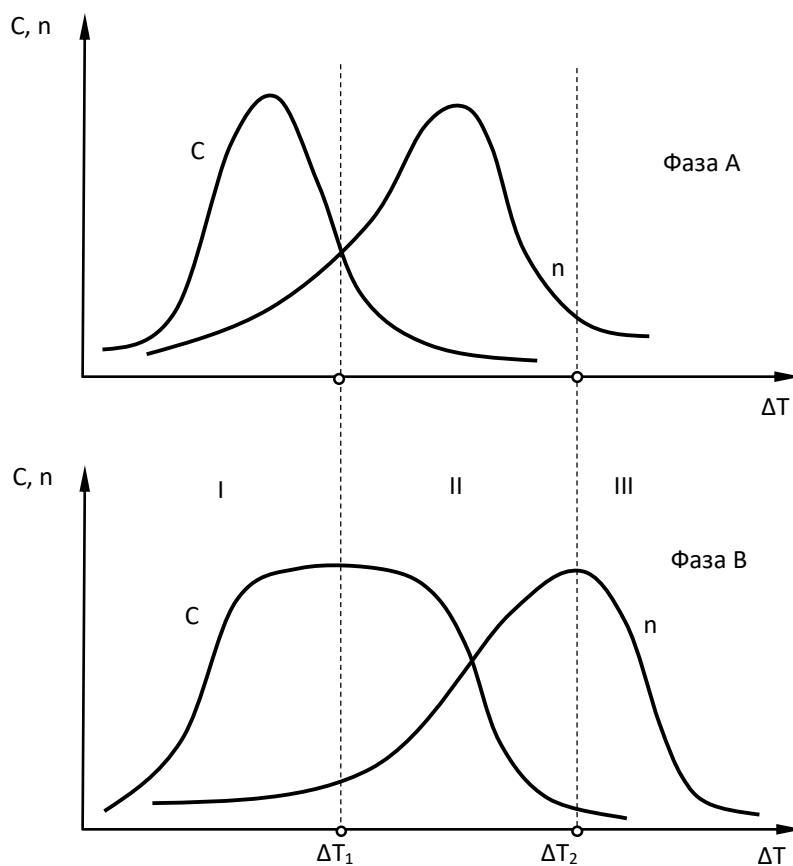
3.6- rasmda kristallanish parametrlarining o'ta sovush kattaligiga bog'liq holda o'zgarishi keltirilgan. Nol gradusda o'ta sovutishda holat diagrammasida ko'rishimiz mumkin bo'lgan bir jinsli struktura hosil bo'ladi. O'ta sovutishning I oralig'ida kristallanish markazlarining soni n uncha katta bo'lmagan holatda A fazalarning kristallarining o'sishi tezligi C katta qiymatlarni qabul qiladi, natijada yirik donali struktura hosil bo'ladi. II oraliqda o'sish tezligi C kichik qiymatlarni qabul qiladi, lekin kristallarning hosil bo'lish markazlari maksimum qiymatga etadi, natijada mayda

donali mikrostruktura hosil bo'ladi. III oraliqda esa o'rta donali mikrostruktura hosil bo'ladi.

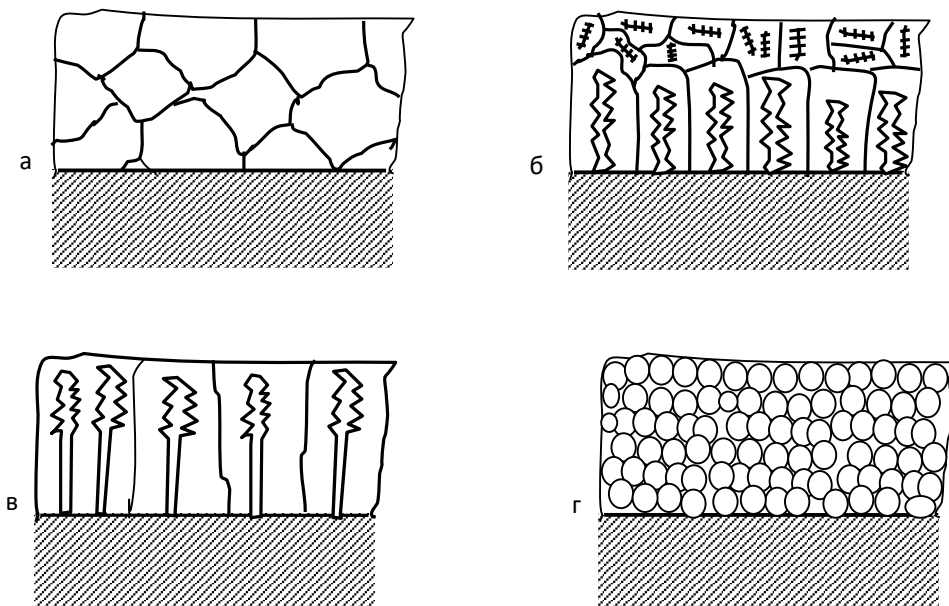
Strukturada o'zining kinematik xarakteristikalari C va n ga ega bo'lgan V ikkinchi faza mavjud bo'lganda, bunda hosil bo'ladigan mikrostruktura A va V fazaning barcha kinematik xarakteristikalariga bog'liq bo'ladi.

3.7- rasmda eritilgan yuza qatlamning turli tezlikda sovutilishidagi kristallanishida olingan mikrostrukturaning sxemasi keltirilgan.

Sekin sovutishda hosil bo'ladigan kristallanish markazlari soni va ularning o'sish tezligi uncha katta bo'lmagan qiymatlarga ega bo'ladi. Bunday markazlar butun qotishma bo'ylab hosil bo'ladi, va ularning o'sish yo'nalishi orientirlanmagan, natijada yirik bir tekis o'qli tekis chegarali donalar hosil bo'ladi (3.7- rasm, a).



3.6- rasm. Lazerli ishlov berishda o'ta sovushning fazalarning kristallanish parametrlariga ta'siri.



3.7- rasm. Eritilgan yuza qatlamning turli tezliklarda sovutishda kristallanish sxemasi.

Sovutish tezligi ortib borishi bilan suyuq va qattiq fazalar chegaralarida o'ta sovush hosil bo'ladi, lekin eritmaning yuzasida esa kam hosil bo'ladi, shu sababli uyasimon shaklli donalar yuzada hosil bo'ladi, asosdan eritma yuzasiga qadar ustunsimon kristallitlar joylashadi, bu kristallitlar esa bir qancha orientrlangan dendritlardan iborat bo'ladi (3.7- rasm, b).

Sovutish tezligining keyinchalik o'sib borishi uyasimon donalar hududining torayishi va yo'q bo'lib ketishiga sabab bo'ladi, bunda dendritlardan iborat bo'lgan ustunsimon kristallitlar hosil bo'ladi, ularning strukturasi bo'yiga ko'ra bir xil emas. Asosga yaqin bo'lgan dendritlarning hosil bo'lishi birinchi tartibli o'qlar bilan xarakterlanadi, yuqori qismlarda esa yuqori tartibli o'qlar hosil bo'ladi (3.7-rasm, v).

Sovutish tezligi 106 K/c dan oshganda o'ta sovush bir qancha yuzlab graduslarga etadi, bu esa pasayuvchi hududning bog'lanishi $C = f(\Delta T)$ ga mos keladi (3-rasm). Kristallarning past tezlikda o'sishi dendritlar hosil bo'lishini oldini oladi va kristallarning tekis o'sishini ta'minlaydi, bu esa o'z navbatida mayda donali strukturaning o'sishiga sabab bo'ladi (3.7-rasm, g).

Uglerodli va legirlangan po'latlarni lazerli toblangandan keyin ularni elektron-mikroskopik tekshirish shuni ko'rsatadiki, ustunsimon kristallarning hosil bo'lishi dendrit hisoblanadi, kristallanishning katta tezliklari sababli mikroskopik likvatsiya sezilarli ravishda o'sadi. Ko'ndalang kesimda ustunsimon kristallar alohida bloklardan iborat bo'lgan teng o'qli donalar bo'lib ko'rinadi. Uglerodli po'latlar uchun bunday

qatlamning strukturasi qandaydir miqdordagi qoldiq austenitga ega bo'lgan mayda ignali martensitga mos keladi.

Kul rang cho'yanda birinchi hudud asosan o'zi bilan alohida tomchisimon ko'rinishni taqdim qiladi, bunda suyuq metall kristallanib bo'lganidan so'ng ledeburitga aylanadi, evtektik guruhlar esa bo'ylama o'sish natijasida issiqlik chiqib ketadigan yo'nalish bo'ylab orientirlanadi.

Birinchi hududda grafitning kirishi deyarli ajralib chiqmaydi. Sezilarli darajada g'ovaklikning mavjud bo'lishi gazlarning ajralib chiqishi bilan tushuntiriladi, bu gazlar cho'yanning birinchi kristallanishida grafit ajralib chiqishida yutilgan bo'ladi.

Qotishmalarda ikkinchi hudud farq qiladi, bu farq turli xil tarkibli uglerod, legirolovchi qo'shimchalar, dastlabki struktura, yana shuningdek uning chuqurligi bo'ylab sezilarli harorat gradientlariga ega bo'lishligi bilan belgilanadi. Armko-temirda ikkinchi qatlamning strukturasi mayda donaliligi bilan ajralib turadi, bu esa $\alpha \leftrightarrow \gamma$ fazali qayta kristallanishi va termik kuchlanish ostida plastic deformatsiyalanish va undan keyingi qayta kristallanish natijasi hisoblanadi.

O'rta uglerodli po'latlarda nisbatan katta harorat oralig'I sababli va γ fazalar orasida ikkinchi qatlamning strukturasi ikki fazali hududni ko'rish mumkin, bunda α faza eritmasiga yaqin joyda kam uglerodli martensit hosil bo'ladi, keyinchalik undan ferrit hosil bo'ladi.

Uglerodli po'latlarda oldin perlit zonalari joylashgan ikkinchi hududda oldingi struktura bo'lgan perlitda sementit plastinkalarining joylashish holatiga o'xshash bo'lgan struktura ya'ni unda uglerodning taqsimlanishi davriy xarakterga ega bo'ladi. Donalar chegarasi bo'ylab ferrit to'rlari saqlanib qoladi. Ikkinchi qatlamning shunga o'xshash bir jins bo'lmasligi uglerodli asbobsozlik po'latlarida kuzatiladi. Bu guruh metallarning struktura o'zgarishining o'ziga xosligi ulardagi polimorf o'zgarishlar ancha yuqori haroratlarda sodir bo'lishi, bir jins bo'lmagan austenit hosil bo'lishi, shunga o'xshash ravishda bir jinsli bo'lmagan martensit hosil bo'lishi bilan belgilanadi. Xuddi mana shunday jarayonlar legirlangan po'latlarga lazerli ishlov berishda ham kuzatiladi.

Impulsi lazerli nurlanish yordamida metallarni puxtalashning teplofizik jarayonlari

Lazerli ishlov berishdan asosan keskichlar, tribobog'lanishlar va yuqori kontakt kuchlanishlarda ishlaydigan mashina detallarining ishchi yuzalarini puxtalash uchun foydalaniladi. Impulsi lazerli ta'sirlashuv uzluksiziga qaraganda yuqori samarali puxtalanishni ta'minlaydi.

Impulsi nurlanish bilan puxtlash jarayonining asosida birlik impulsi lazerli ta'sirlashuvning elementar hududini tashkil qilish yotadi. Shunga asoslangan holda impulsi ta'sir etish orqali puxtalashdan yuqori sifatli operatsiyalarni amalga oshirishda foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Impulsi nurlanish bilan puxtalashning texnologik xarakteristikalariga quyidagilar kiradi: ta'sirlashish joyining o'lcham parametrlari (birlik joyning diametri, puxtalanish chuqurligi, birlik maydonning qoplanish sohasi), puxtalanish darajasi, puxtalangan yuzaning g'adir-budurligi. Bu xarakteristikalar materialning teplofizik parametrlari, ishlov berish sxemasi, lazer nurining energetik parametrlari, materialning lazerli nurlanishni yutish samaradorligiga va boshqa shu kabilarga ta'sir qiladi.

Impulsi lazer bilan ta'sir etishdagi puxtalanish jarayonining fizik tomoni bir qancha mexanizmlardan tashkil topadi: toblangan strukturaning o'sishi, termoplastik deformatsiya hisobiga kristall tuzilishda yuqori zichlikdagi nuqsonlarning hosil bo'lishi, lazerli diffuziya hisobiga lazerli ta'sirlashuv zonasidagi legirovchi komponent va aralashmalarning o'zgarishi va boshqalar. Qoplama bilan qoplangan yuzaga lazer bilan ishlov berishda qo'shimcha puxtalanishga plazma-kimyoviy reaksiya va mikro-metallurgik jarayonlar hisobiga erishiladi.

Puxtalangan strukturalarning o'sishini taxmin qilishda shuni hisobga olish kerakki, qizdirish tezligi ortishi bilan fazaviy-strukturaviy o'zgarishlar sodir bo'ladigan kritik nuqtalar ancha yuqori harorat sohalariga ko'chadi. Ko'chish qiymati qotishmaning kimyoviy tarkibiga bog'liq.

Lazerli toblash- bu jarayonda yuzaning yupqa qatlami faza o'zgarishlar sodir bo'ladigan haroratdan past yoki yuqori haroratgacha qizdiriladi, keyin esa sovituvchi muhitda o'ta yuqori tezlikda sovutiladi. Bunda material o'z-o'zidan toblanadi. harorat gradienti 104...106 K/sm ga etishi mumkin. Qizdirish tezligi 105...108 K/s ni, ba'zan esa 1010 ni tashkil etadi. harorat gradientlari juda yuqori bo'lganda sovutish tezligi 104...106 K/sm ga etadi.

Lazerli toblash yuzaning eritilishi bilan yoki yuza eritilmasdan ham sodir bo'lishi mumkin. Birinchi holatda yuzaning mikrogeometriyasi saqlanib qoladi va keying mehanik ishlov berishda esa unga qo'yiladigan talab pasayadi. Lazerli toblashda puxtalangan qatlamning chuqurligi 0,15 mm ni tashkil etadi.

Eritmasdan lazerli toblash keskich asboblarini va tez eyiluvchi mashina detallarini puxtalashda foydalaniladi. Bunday jarayon quvvatining zichligi $103...104 \text{ Vt/sm}^2$ ni tashkil etadi.

Faza o'zgarishi bilan kechadigan lazerli puxtalash jarayoni quvvat zichligining $104...106 \text{ Vt/sm}^2$ qiymatlarida olib boriladi. Bunda qizdirish jarayonida ishlov berilayotgan qatlamda austenit hosil bo'ladi va karbid faza eriydi, keyin sovutishda austenit martensitga aylanadi. Lazerli toblashda sovutish tezligi odatiy toblashdagi sovutish tezligiga qaraganda deyarli 1000 barobar katta bo'ladi. Natijada tarkibida uglerod miqdori ko'p bo'lgan martensit hosil bo'ladi. Bunday strukturalar odatiy xurushlovchilar bilan yaxshi xurushlanmaydi, yana yuqori qattqlikka, mayda donaga ega bo'ladi va metastabil yuqori haroratli fazalarga ega bo'lishi mumkin.

Lazerli toblashning afzalliklari:

- Murakkab shaklli mahsulotlardagi etib boorish qiyin bo'lgan joylarni puxtalash imkonining mavjudligi;
- Mahalliy va tor joylarni puxtalash imkoniyati;
- Mahsulotlarni deformatsiyalash darajasini kamaytirish yoki mutlaq yo'qotish va ishlov berishni yuqori sifatli bo'lishini ta'minlash;
- Yupqa namunalari yoki kichik o'lchamli detallarga ishlov berish imkoniyati;
- Yuqori tezlikdagi ishlov berish hisobiga oksidlanishni kamayishi;
- Yuqori unumdorlik va tejamkorlik;
- Ishlov berishni inert va aktiv muhitlarda olib boorish imkoniyatining mavjudligi.

3.2.2. Lazerli mahalliy legirlash.

Lazerli mahalliy legirlash yuzaga oldindan folga, kukun aralashmalar ko'rinishidagi maxsus qoplamaning qoplashni, metallash, elektr-uchqunli legirlashni, galvanik va boshqa usulda legirlashni, keyin esa yuza qatlamiga katta miqdordagi

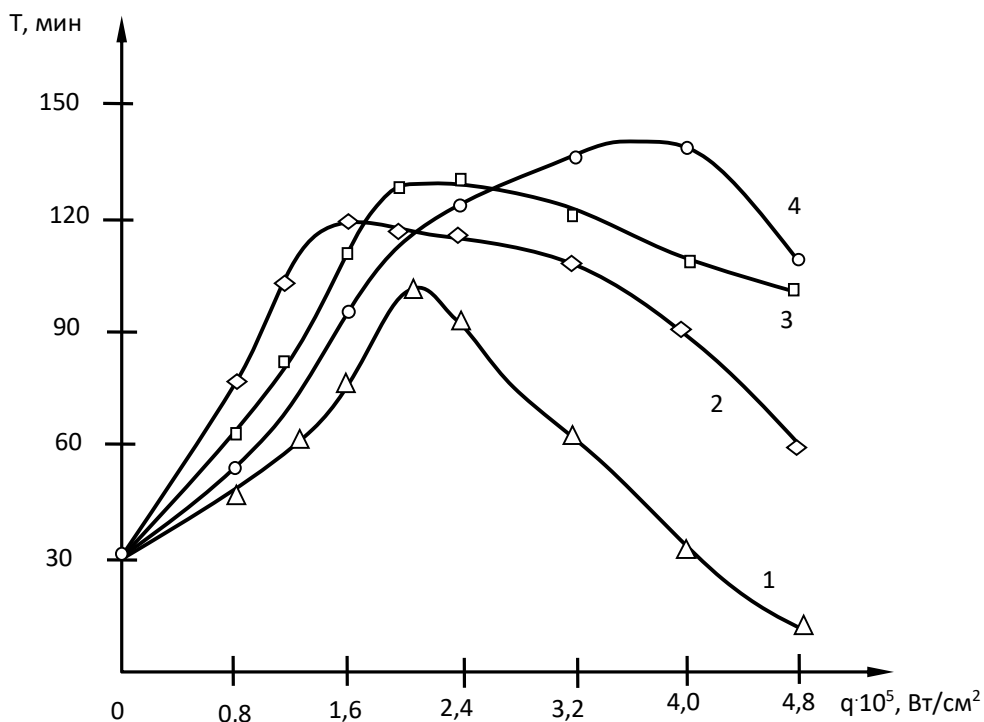
legirlovchi komponentlarni o'tishini ta'minlaydigan lazerli ishlov berishni o'z ichiga oladi. Legirlangan strukturalar suyuq fazadagi konveksion aralashish va suyuq va qattiq fazalardagi diffuziyalar hisobiga o'sadi. Moddalarning konveksion uzatilishi chuqurligi bir necha yuz mikrometrga etishi mumkin, diffuzion uzatilish chuqurligi esa o'nlab mikrometrga etadi.

Lazerli sementatsiyalashda legirlovchi aralashma yoki qoplama sifatida grafit yoki sajaning atseton, spirt va boshqa eritmalaridagi eritmasi foydalaniladi. Qoplamaning yuza bilan yopishuvchanligini oshirish uchun qoplama tarkibiga kleylovchi komponent qo'shiladi. Azotlashda legirlovchi aralashma sifatida ammiakli va boshqa tarkibida azot bo'lgan tuzlar qo'llaniladi. Silitsilash bu kremniy kukuni ega bo'lgan metallarning silikageli yoki silitsidi qoplamasi bilan qoplash. Borlash uchun tarkibida bor kukuni, bor karbidi, bor angidrid, metallarning boridlari va boshqalar bo'lgan qoplamadan foydalaniladi.

Lazerli metallashda yoki metall qoplamalar qoplashda toza metallarning yoki qotishmalarning kukunlari qo'llaniladi, bu kukunlar oldindan suyuq aralashma yoki quruq aralashma ko'rinishida lazerli ta'sirlashuv zonasiga kiritiladi. Yuqori qattqlik va eyilishga bardoshlikni yuzani qiyin eriydigan metallarning karbidlari yoki VK, TK va TTK tipidagi standard qattiq qotishmalar bilan mahalliy legirlash orqali ta'minlash mumkin, bunda bunday legirlovchilar yuzaga elimlovchi aralashma asosidagi suyuq aralashma shaklida yoki elektr-uchqunli legirlash yordamida kiritiladi.

Lazerli ishlov berish natijasida hosil bo'ladigan qattiq fazali diffuziya hisobiga legirlash suyuq fazali konveksion moddalarning uzatilishiga nisbatan bir qancha afzalliklarga ega. Bunday jarayonni toza mehanik ishlov berishdan keyingi so'ngi ishlov berish deb qarash mumkin. Bunday metod tezkesar va asbobsozlik po'latlaridan tayyorlangan asboblarning turg'unligini oshirishda yuqori samaradorlik ko'rsatdi.

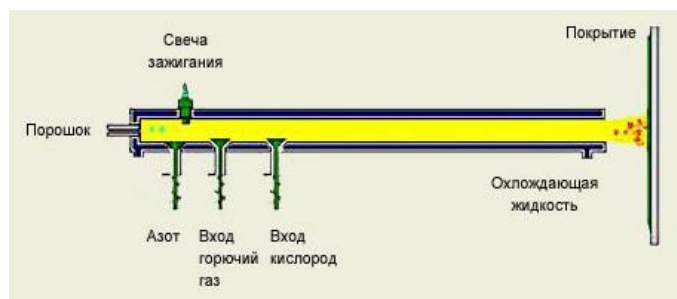
3.8-rasmda legirlashda impulsli lazerli nurlanishdagi issiqlik oqimining zichligini 12X18N10T po'latini yo'nish vaqtida foydalaniladigan tezkesar po'latlardan tayyorlangan keskich turg'unligiga ta'siri tasvirlangan. Qoplama metall karbidi va suyuq shishadan iborat suyuq aralashma ko'rinishida asbob yuzasiga qoplandi, bu qoplama qurigandan keyin uning qalinligi 0,3 mm ni tashkil etdi.



3.8-rasm. Mahalliy legirlashda lazerli nurlanish quvvatining zichligini 12X18N10T po'latini yo'nishda R6M5 dan tayyorlangan keskich turg'unligiga ta'siri, yo'nish tezligi 20 m/min:1-legirlanmagan qoplama bilan; 2- WC dan tayyorlangan suyuq aralashma; 3- TiC dan tayyorlangan suyuq aralashma; 4- TaC dan tayyorlangan suyuq aralashma.

3.2. Detonatsion purkash.

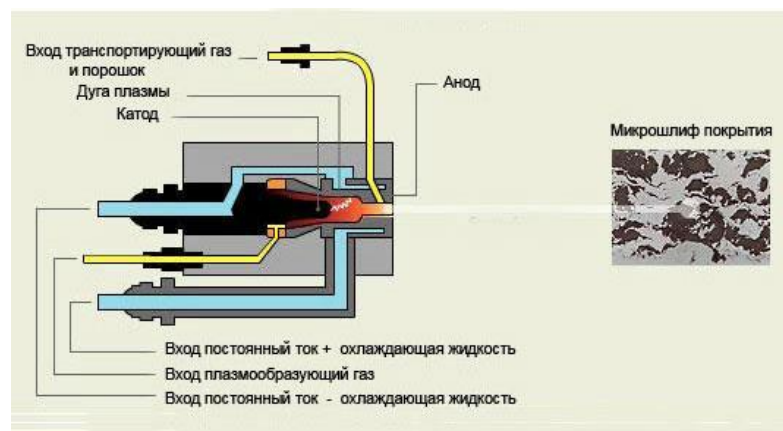
Bu usulni mohiyati shundan iboratki, detonatsion pushkani yonish kamerasida gaz aralashmasini portlashi natijasida zarralarni katta tezlik berilishiga asoslangan. Bu usulda qoplama kichik unumdorlikda yuqori sifatga erishish mumkin bo'ladi. Detonatsion pushkani ishlash printsipi 3.9- rasmda ko'rsatilgan bo'lib, pushka tashqi tomondan suyuqlik bilan sovutilib turadi.



3.9-rasm. Detonatsion purkash qurilmasini ishlash sxemasi.

3.3. Plazma yordamida purkash.

Plazma yordamida qoplpshda plazma alangasiga tushgan material o'zini erish temperaturasi gacha qiziydiva yuqori tezlikda (500 m/s) asosga uriladi. Alanganing harorati esa 6000-11000° C gacha etadi.



3.10- rasm. Plazma yordamida purkash sxemasi ko'rsatilgan.

4-mavzu: Vakuum- plazmali, elektrokimyoviy qoplamalar va ionli implantatsiyalash usullari bilan yuzalarni PUXTALASH.

Reja:

1. Vakuumda qoplapma qoplashning fizik asoslari.
2. Vakuumda qoplama qoplashning fizikaviy usullari.
3. KIB metodi yordamida qoplama qoplashda foydalaniladigan qurilma
4. Elektrokimyoviy qoplama hosil qilish.
5. Elektrokimyoviy oksidlantirish rejimlari.
6. Sanoatda elektrokimyoviy oksidlantirish texnologiyasini qo'llash.
7. Ionli implantatsiya usuli bilan yuzalarni puxtalash.
8. Ionli implantatsiya qurilmasi.
9. Vakuumda qoplama olish metodlari 3 ta turga bo'linadi: termik, gaz fazali va ion-plazmali.

Tayach so'zlar: vakuum-plazmali, elektrokimyoviy qoplama, elektrokimyoviy oksidlantirish, ionli implantatsiya, termik, gaz fazali, ion-plazmali.

4.1. Vakuumda qoplapma qoplashning fizik asoslari.

Vakuumda qoplama olish metodlari 3 ta turga bo'linadi: termik, gaz fazali va ion-plazmali Termik metod rezistorli, elektron-nurli va lazerli qizdirish natijasida hosil bo'ladigan molekulyar va atomlar guruhlarining kondensatsiyasiga asoslangan. Zamonaviy adabiyotlarda bunday metodni bug' fazadan foydalanib qoplash va molecular guruhlardan qoplash deb ham ataladi. Termik usulda bug'langan zarralar nishon yuzasidan izotropik uchib chiqib detal yuzasiga tushadi ya'ni kondensatsiyalanadi. Bug'lanish jarayonida kondensatsiyalanayotgan zarralarning energiyasi 0,3 eV dan oshmaydi, ionlashuv darajasi esa deyarli nolga teng. Bu metod kondensatsiyalanadigan zarrachalar energiyasining pastligi va boshqarib bo'lmasligi bilan cheklangan, bu esa ko'pgina holatlarda kondensatning asos bilan birikish mustahkamligini past bo'lishini belgilab beradi. Asosning haroratini, bug'ning

kondensatsiyalanish tezligini va vacuum darajasini o'zgartirish orqali kerakli struktura va mehanik xossalarga erishish mumkin.

Termik usuldan foydalanib metallar, nometallar, yarim o'tkazgichlar va boshqa materiallardan qoplama olish mumkin. Lekin qoplamaning asos bilan birikish mustahkamligining pastligi, qoplama xossalarning unchalik barqaror emasligi va asosni qoplama erish haroratidan past bo'lmagan (0,3...0,5) haroratgacha qizdirish zaruriyati bu usuldan mashinasozlikda foydalanish imkoniyatini cheklaydi va oksid, karbid, nitrid, borid va boshqa birikmalarni olish imkonini bermaydi.

Gaz-fazali qoplash metodi (GFQ) uchuvchi metall birikmalarning (asosan xloridlar, fluoridlar va boshqa galogenidlar) vodorod va azot, metan yoki kislorod bilan aralashmasini issiqlik reaktoriga uzatilishiga asoslangan. Zamonaviy adabiyotlarda bunday usul CVD (Chemical Vapour Deposition) yoki kimyoviy bug' qoplash metodi (XOP) deb ham ataladi. Kimyoviy reaksiya jarayoni kechganda detal yuzasida toza metallardan qoplama yoki uning azot, kislorod yoki uglerod bilan birikmasi shaklidagi qoplama hosil bo'ladi. Qoplama olishning asosiy sharti bu vodorod muhitida metall galogenidlarining parchalanish haroratidan yuqori haroratgacha qizdirib, ushlab turish. Birikmali sifatli qoplama olish uchun bu birikmaning erish haroratining 0,3 qismicha, 900...1000 dan yuqori haroratda ushlab turish kerak. Shu sababli XOP metodi ko'pchilik konstruksion mashinasozlik materiallarini puxtalash uchun uncha yaroqli emas.

Vakuum ion-plazmali metod konstruksion materiallarga qoplama qoplash va tayyor detallar olishda juda keng qo'llaniladi. Bu usulda termik faktordan tashqari qoplama hosil bo'lish kinetikasi ta'sir ko'rsatuvchi va juda past haroratlarda turli birikmali yuqori sifatli qoplama olish imkonini beradigan kinetik va ionlashish faktorlaridan ham foydalaniladi.

Vakuum ion-plazmali metod shunisi bilan xarakterlanadiki bir yoki boshqa darajada plazmadan foydalaniladi. Plazmadan katoddagi nishon materialini purkash, bug' oqimini qo'shimcha ionlashtirish va qoplanuvchi materialni plazmali holatda olish uchun qo'llaniladi. Barcha ion-plazmali metodlarni qoplama hosil qilinadigan modda fazasiga qarab 3 ta guruhga bo'lish mumkin: ionli purkash, ionli qoplash va plazmali purkash.

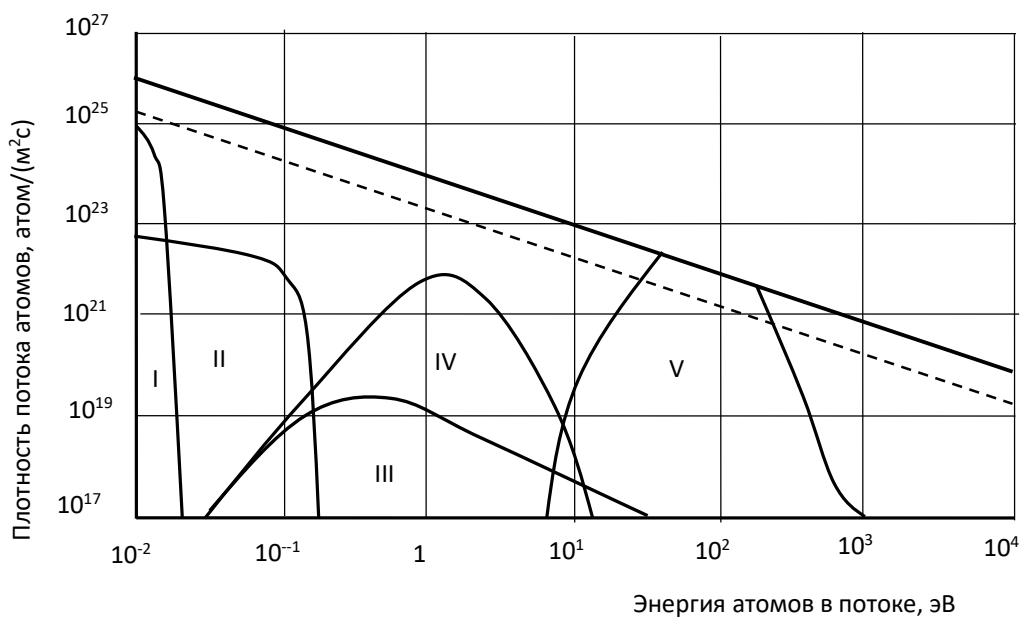
Ionli purkash metodida qoplama materialidan tayyorlangan nishon yordamchi gaz razryadi plazmasida yuqori energiyali musbat ionlar bilan bombodirovka qilish orqali purkaladi. Nishon moddasining faza atomlaridan iborat purkaluvchi mahsulotlar yuzaga qoplanadi va qoplama hosil bo'ladi.

Ionli qoplash metodi termik metod orqali olingan qoplamalarning yopishish mustahkamligini oshirish, shuningdek ion purkash metodi orqali olingan qoplamalarning unumdorligini va o'sish tezligini oshirish zaruriyati sababli rivojlandi. Bu metod asosida kondensatsiyalanish energiyasi ortishi bilan qoplamaning asos bilan birikish mustahkamligi ortishi qonuniyati yotadi. Bu esa qiyin eriydigan materiallardan past haroratlarda qoplama olish imkonini beradi. Ionli qoplashda material termik usulda bug' holatga o'tkaziladi, keyin ion holatga o'tkaziladi va u manfiy potentsial ta'siri ostida detal yuzasi tomonga yo'naltiriladi.

Yoyli bug'latish qurilmasi yordamida qoplama olish metodi vakuumda plazmali purkash (VPP) metodi deb ataladi. Bu metod 2 ta jarayonni o'z ichiga oladi: elektr razryad tiplaridan birida plazma ishlab chiqarish va dionlashuv va kondensatsiya yuzasiga plazma mahsulotlarining yo'naltirilishi. Bunda faqat plazma ionlari yoki hamma kvazineytral plazmalar tezlashtirilishi mumkin. Birinchi holatda ionli qoplanish bo'lsa, ikkinchisi esa plazmali tezlashtirgichlar yordamida qoplash metodi. Plazmali tezlashtirgichlar bilan qoplashda plazmalarning tezlanishi Amper kuchi ta'sirida yoki gazokinetik bosim gradienti ta'sirida bo'lishi mumkin.

Qoplama olishning turli metodlarini taqqoslash uchun 2 ta asosiy texnologik parametrlar bo'yicha analiz o'tkazamiz: kondensatsiya yuzasiga tushuvchi zarrachalar oqimi zichligi va zarrachalar yo'naltirilgan harakati o'rtacha kinetic energiyasi. 4.1-rasmda zarrachalar energiyasi va oqimi zichligi yuqoridan ikkita chiziq bilan chegaralangan, bu 700K va 1500K haroratlardagi emissiya hisobiga haroratning eng yuqori nuqtasiga mos keladi. I hudud past haroratli, metallurgic va gazotermik qoplama qoplash metodiga mos keladi.

II hudud barqaror termik bug'lantirish metodiga mos keladi. Katodli purkash (III hudud) zarrachalarning ancha yuqori energiyasi bilan xarakterlanadi va 10-9 m/s tezlikda qoplama qoplash imkonini beradi.



4.1-rasm. Turli qoplama qoplash metodlarini zarrachalar oqimi zichligiga va bitta zarrachaga to'g'ri keladigan energiyaga bog'liq holda taqqoslash.

Magnetron metodda (IV hudud) katodli purkash yuqori bo'ladi, bu esa 10^{-7} mG's tezlikda qoplama kondensatsiyalash imkonini beradi. V hudud ion va plazmali qoplash metodlariga mos keladi. Plazma texnologiyali metodlar boshqa metodlar bilan taqqoslaganda yuqori energiya kondensatsiyalanayotgan zarrachalar energiyalarini keng chegarada o'zgartirish va turli texnologik jarayonlarni (gazli yoki ionli xurushlash, kondensatsiya va singdirish) bitta ishlab chiqarish siklida amalga oshirish imkoniyatiga ega.

Vakuum- plazmali metod (KIB) bu 2 ta tartib bilan sodir bo'ladigan jarayonlarning yig'indisi- ionli bombardirovka va qoplamaning kondensatsiyalanishi.

KIB metodi katod dog'ining moddasini vacuum yoyining yuqori-tokli past kuchlanishli razryadi hisobiga ishlab chiqarishiga asoslangan, bu esa elektrod materiali bug'ini oshiradi. Ionli bombardirovka paytida vakuum bo'shlig'iga reaksiyaga kirishuvchi gazlar (azot, metan va boshqalar) ni uzatish qoplamaning puxtalanayotgan detal yuzasiga plazmokimyoviy reaksiyalar hisobiga kondensatsiyalanadi.

Bug'lanish jarayonlari, birikmalar hosil bo'lishi, ionli bombardirovka va qoplamaning kondensatsiyalanishi vacuum kamerasida sodir bo'ladi, kameraning metall korpusi anod vazifasini o'taydi. Katod qiyin eriydigan materialdan tayyorlanadi.

Dastlabki yoy va katod orasidagi oraliqda hosil bo'luvchi elektronlar va ionlar ta'sirida bug'langan moddalar va reaksiyaga kirishuvchi moddalarning ionlashuvi sodir bo'ladi, zararlangan va neytral katod material zarralardan va reaksiyaga kirishuvchi gazlardan iborat yuqori tezlikka ega bo'lgan oqimlarni hosil qiladi.

Katod dog'idagi yuqori zichlikdagi energiya har qanday elektr o'tkazuvchi materialni bug'latishi mumkin, shuningdek davriy jadvalning IV-VI guruh qiyin eriydigan metallarini ham. KIB metodining o'ziga xos tomonlaridan biri bu bug'langan materialning yuqori kimyoviy aktivligi hisoblanadi, bu aktivlik esa katod materialining elektr-yoyli bug'lanishida hosil bo'ladigan kondensat bilan bog'liq, buni hisobiga esa kondensat past haroratli plazmaning yuqori ionlashgan oqimiga o'zgaradi. Bug'langan metal va gazning ionlashuv darajasi bug'lanuvchi metallning kristallokimyoviy tabiati, gaz bosimi, magnit maydonning kuchlanganligiga (plazmaoptik qurilmalar bilan jihozlangan qurilma) bog'liq. Qoplash jarayonida kondensat bug'langan moddaning ionlari bilan intensive bombardirovka qilinadi, shunda uning zarracha bo'lib purkalishi va qoplama qoplash hududida harorat ortishi sodir bo'ladi. Natijada puxtalanayotgan detal yuzasidagi atomlarning siljuvchanligi keskin ortadi, reaksiyaga kirishuvchi gaz aralashmalari komponentlari va kondensat orasida kimyoviy reaksiya akitivlashuvi sodir bo'ladi. KIB ni ikkita ketma-ket bajariluvchi jarayonlar deb qarash mumkin: ionli bombardirovka va qoplamaning kondensatsiyalashuvi.

Ion oqimining katta zichligiga erishish uchun maxsus plazma optik qurilmadan foydalaniladi, bu hollovskiy erroziya- plazmali tezlatgichlar deb ataladi, bu esa plazma oqimining fizik xarakteristikalari va uning tezligini boshqarish imkonini beradi.

4.2-rasmda odatiy turdagi (4.2-rasm, a) vakuum-plazmali qurilmaning va plazma-optik sistemaning (4.2-rasm, b) asosiy sxemasi ko'rsatilgan plazmali oqimni boshqarish (hollovskiy tezlatgich).

Vakuum yoyi yonganidan keyin katod eroziyalanadi. Katod yuzasida yarim sfera chegaralari bo'ylab iztrop ravishda uchuvchi eroziya qoldiqlari ionlashgan, bug' va tomchisimon fazaga ega bo'ladi. Fazalarning foiz miqdorlari material ko'rinishiga

va katodni tayyorlash usuliga qarab aniqlanadi. Kam g'ovaklikka ega bo'lgan qiyin eriydigan materiallar uchun ionlashgan faza ulushi 50 dan 80 % gacha o'zgaradi. Plazma oqimi tezligi 106 m/s, bunda ionlarning kinetik energiyasi katod potentsialining pasayishi hisobiga olinadigan energiyadan bir necha barobar katta bo'lishi mumkin va 100 eV ga etadi.

Vakuum yoyining katodi uchun minimal kritik tok mavjud bo'lib, undan yuqorida razryad barqaror bo'ladi. Bu tokning kuchi keng chegaralarda o'zgaradi va katod materiali va elektr zanjir parametrlariga bog'liq.

Razryadli tokda katodning eroziyalanishining yuqori kritik tezligi tok kuchiga proporsional

$$\frac{dm}{dt} = \mu_p I_p$$

bu erda μ_p - katod materialining eroziyalanish koeffitsienti; I_p - razryadli tok.

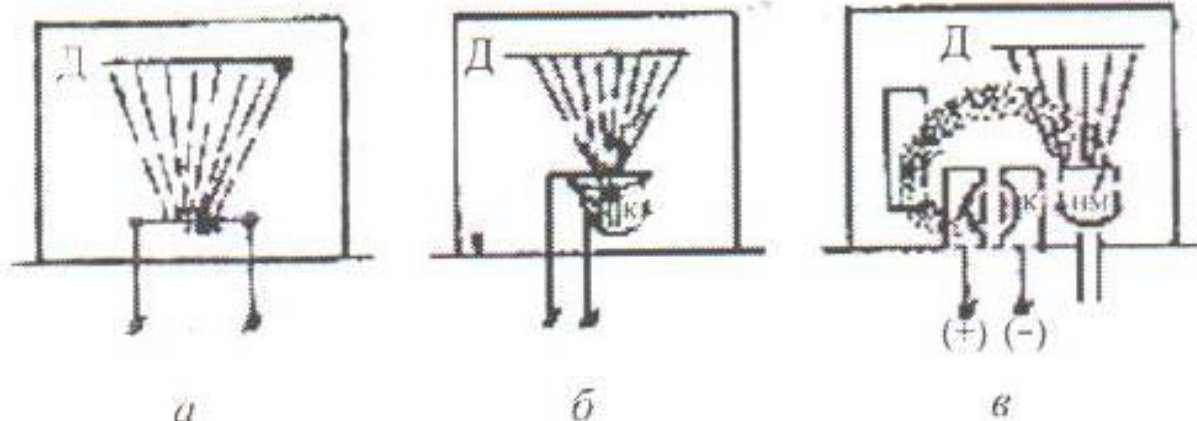
Ma'lumki, eroziya koeffitsienti, plazma tarkibi va ionlarning o'rtacha energiyasi yoy tokiga uncha bog'liq emas, bu esa barqaror vacuum yoyning asosiy xarakteristikalarini taqqoslash imkonini beradi. 4.1-jadvalda shunday taqqoslash natijalari keltirilgan, bu erda I_{kp} - yoyning barqaror yonib turishidagi minimal tok; U_k - katodda potentsialning pasayishi; U - yoydagi kuchlanish; Z - zarrachalarning oqimlarda o'rtacha ionlashuvi karraliligi; μ_p - katod materialining eroziyalanish koeffitsienti; W_{io} - Oqimdagi bitta zarracha o'rtacha energiyasi.

4.1-jadval

Statsionar yoy va u generatsiya qiladigan ionlarning asosiy xarakteristikasi

Katod materiali	I_{kp} , A	U_k , B	U , B	$\mu_p \cdot 10^{-9}$, kg/Kl	Z	$W_{io} \cdot 10^{-19}$, Dj
Ti	85	16,8...17,6	22	53	1,79	122
Zr	160	17,7...18,5	21,5	79	1,94	147
Al	60	17,2...18,6	16	125	1,58	101
Cr	90	16,7...17,4	20	42	1,94	122
Mo	130	16,6...17,2	28,4	47	1,95	176
C	200	-	20	17	1,04	49
Ni	90	-	19	101	1,53	86

Vakuumda termik usul bilan purkab qoplama olish metallarni parlarini yo'liga qo'yilgan detal sirtiga o'tirishiga asoslangan. Qoplama sifatida foydalaniladigan material qoldiq bosim 0,01-0,001 Pa bilan vakuum kamerasiga joylashtiriladi va uning parlari bosimi 1 Pa etadi. Qizdirish turli usullar bilan bajariladi: elektr tokini rezistor usuli bilan o'tkazadi (4.2-rasm, a), induktiv (4.2- rasm, b), elektron-nurli (4.2-rasm, v).



4.2-rasm. Materialni qizdirish sxemasi: a- rezistorli, b- induktiv, v- elektr-nurli. A- anod, K- katod, M- magnitli fokuslovchi va elektron oqimini kerakli yo'nalishda og'diruvchi sistema.

Yuzasi qoplanadigan mahsulot par oqimi yo'nalishiga o'rnatiladi va kerakli zichlikdagi asos bilan birikkan qoplama hosil qilinadi. Vakuumda termik purkash bilan dekorativ (prutoklar, zargarlik buyumlari, oyna, plastmassadan avtomobil detallari yuzasini dekorativ qoplash va oynalarni tonirovka qilish), bunda qoplama qalinligi mkm ning o'ndan bir qismini tashkil qiladi, hamda qalin korroziyabardosh va eyilishga chidamli qoplamalar olinadi. Bunda uzoq vaqt davomida qoplangan qoplama qalinligi bir necha o'n mkm ni tashkil etadi. Qoplamaning sifati kontrol va moslanadigan texnologik parametrlar, harorat va vaqt, qoplama qoplash tezligi, hamda qoplama va asos materialitning fizik-kimyoviy xossalari, qoplama qalinligi bilan belgilanadi.

Bundan tashqari u boshqarish qiyin bo'lgan faktorlar vakuum kamerasi ichida qolgan gazlarni par bilan ta'siri, qoplama materialini tigel bilan o'zaro ta'siri, hamda qoplama yuzasi sirt tarangligi kuchlanishlarini asos bilan ta'siri rol o'ynashi mumkin. Qoplama xossaasi, qoplamaasos bilan mustahkamligi birinchi qatlamni hosil qilish sharoitiga va asosni qizdirilish xaroratiga bog'liqdir.

Vakuum qoplamasini vaqti- vaqti bilan ishlovchi, yarim davrli va to'xtovsiz ishlovchi qurilmalarda olinishi mumkin. Vaqti vaqti bilan ishlaydigan qurilmalarda donalab detallar yoki kichik seriyalab, yoppasiga ishlab chiqarishda partiya detallarni qoplash mumkin. Vqti vaqti bilan qoplama olish qurilmasida detal kameraga o'rnatiladi, kameradan havo so'rib olinadi, qoplama qoplanadi va kameraga havo kiritilib detal chiqarib olinadi.

Yarim davrli bilan ishlovchi vakuum qurilmalarda list va lenta detallarini yuzasida qoplama hosil qilishda ishlatiladi. Vakuum kamerasiga o'rnatilgan rulon material asta –sekin qoplanib boradi va tamom bo'lgach jarayon to'xtatiladi va kameradan chiqarib olinadi.

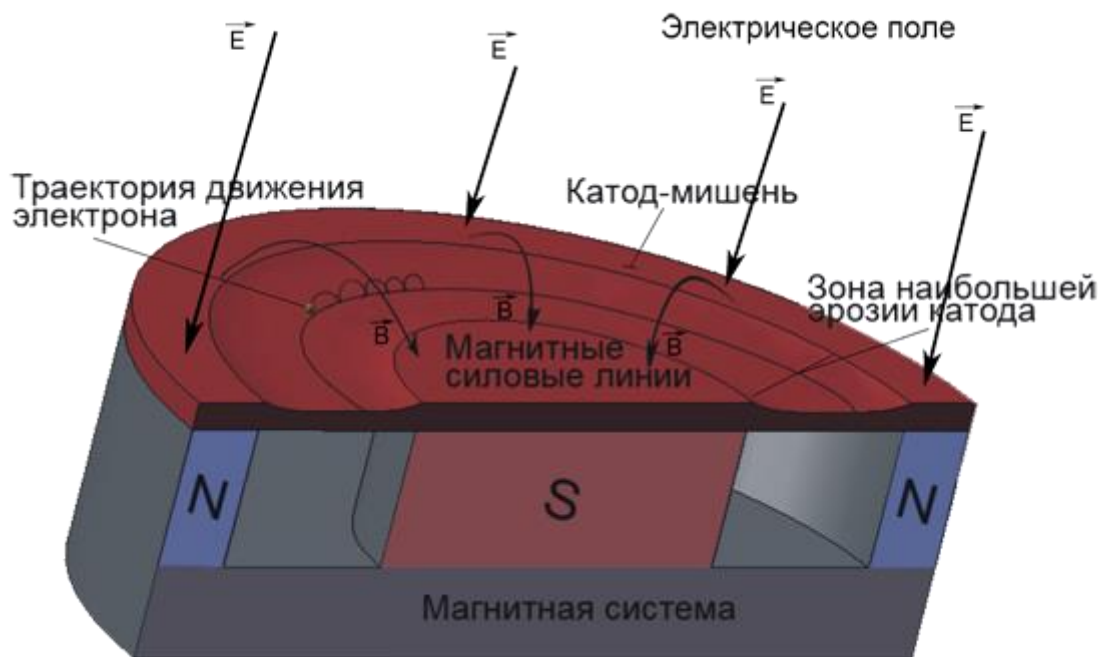
To'xtovsiz ishlaydigan vakuum kameralarda mahsulot (lenta, list) to'xtovsiz vakuum kamerasida qoplanib o'tib turadi. Bu qurilmalar vakuum doimiy ushlab turiladi. Ularda to'xtovsiz vakkumni ta'minlash uchun shlyuz kameralardan foydalaniladi. Bu usulda yuqori samardorlikka erishiladi. Bu kuchli parlovchi qurilmalar; elektron-nurli qurilmalar yordamida amalga oshiriladi. Bunday qurilmalarda aksial fokuslangan elektron pushkalar qo'llaniladi. Ularda ikkita bug'latgichlar qo'llanishi va ularda o'z navbatida ketma-ket ikki xil metall yoki qotishmani birin ketin qoplash mumkin.

Yarim to'xtovsiz va to'xtovsiz ishlatiladigan vakuum qurilmalarida mahsulot yuzasini yaxshi tozalanishi natijasida metall yuzasiga 100-120 °C da kadmiy va rux, 150-200 °C da qo'rg'oshin, 200-300 °C da alyuminiy, 500 °C da xrom va titan qoplanishi mumkin.

Bu usullarni asosiy kamchiligi qoplama va asos orasidagi yaxshi bog'lanishni ta'minlash uchun yuzani qizdirish zarurligi, parlanadigan metallni parlanish koeffitsentini pastligi, qoplama qalinligini bir xililigini murakkab detallarda ta'minlanishi.

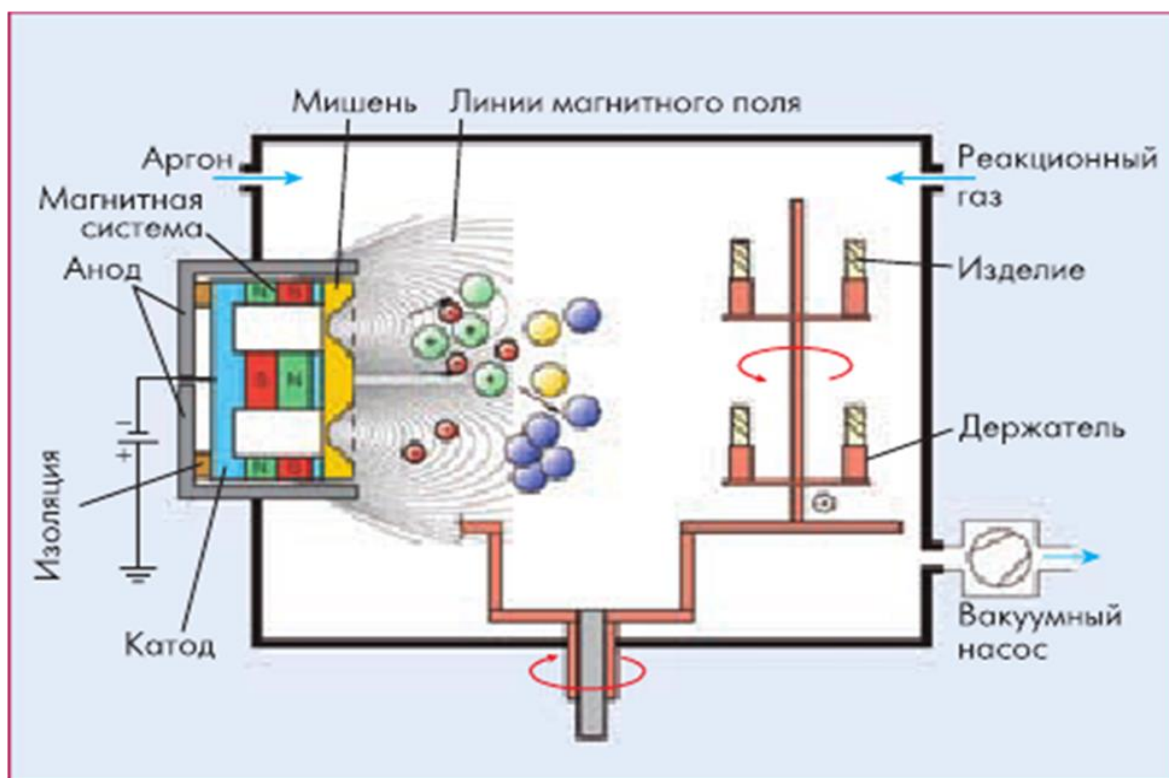
4.2 Vakuumda qoplama qoplashning fizikaviy usullari.

Magnitron yordamida purkash qoplama qalinligini bir tekis chiqishini va yuqori sifatini ta'minlaydi. Magnitron yordamida purkash sistemasi 4.3- rasmda ko'rsatilgan. asosiy elementlar bo'lib, katod-nishon (1), anod va magnit sistema hisoblanadi.



4.3-rasm. Tekis nishonli magnitron purkash sistemasi sxemasi. 1- magnit sistemasi; 2- katod-nishon; 3- magnit maydoning kuchlanish liniyasi; 4- katodni eng katta eroziya zonasi; 5- elektronni harakat traektoriyasi.

Doimiy kuchlanishni nishon (manfiy potentsial) va anod (musbat yoki manfiy potentsial) orasiga uzatilsa notekis elektr maydoni hosil bo'ladi va anomal sho'lali razryadni uyg'otadi. Nishonning purkash yuzasida yopiq magnit maydonini mavjudligi aynan nishoda razrya plazmasini jamlaydi. Katoddan ionli bombardimon qilinishi natijasida ajralgan elektronlar magnit maydoni tomonidan qamrab olinadi, ularga nishon yuzasida murakkab sikloidal harakat beriladi. Elektronlar magnit maydoni bir tomonidan katodga qaytarilgan elektronlar o'zini qamalda kabi his qilsa, boshqa tomondan elektronni qaytaruvchi nishon yuzasi bo'lishi mumkin. Elektronlar bu qamalda aylanishi mumkin toki, elektron energiyasining katta qismi anodga o'tishidan avval ionlash va qo'zg'atish uchun foydalaniladi, qaysiki katod yuzasida ionlanish jarayonini samaradorligini va musbat ionlarni konsentratsiyasini oshiradi. Bu o'z navbatida nishon yuzasini ionli bombardimon intensivligini, purkash tezligini o'sishi, u o'z navbatida plenkanini o'sish tezligini oshiradi.

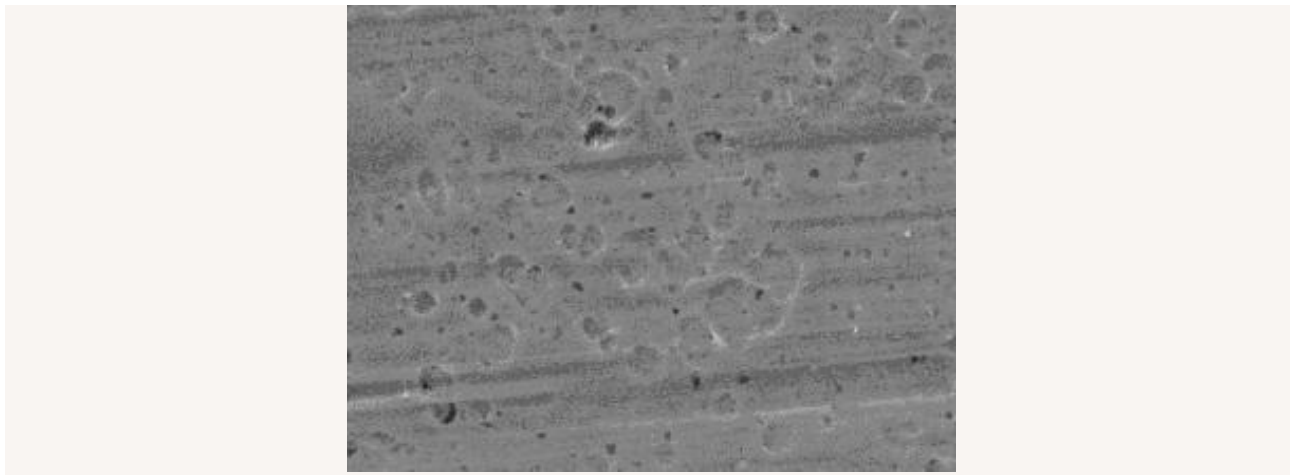


4.4-rasm. Magnitron usuli bilan qoplama qoplash sxemasi.

Shuni takidlash kerakki, plazma razryadi magnit tutgich oblastida, aynan nishon yaqinida mavjud bo'lib, uning shakli magnit maydonining geometriyasi va o'lchami bilan aniqlanadi.

Magnitron purkash sistemasining asosiy afzalligidan biri, ikkilamchi elektronlarni nishon yuzasida magnit tutgich bilan ushlab qolinishi, qistirmani intensiv qizib ketishidan saqlaydi. Bu o'z navbatida materiallarni purkash tezligini oshiradi va u esa qoplash tezligini oshiradi.

Magnitron metodi turli metall va qotishmalardan sifatli xossalarga, hamda yuqori qattqlika ega bo'lgan eyilishga chidamli qoplamalar olish mumkin. Purkalayotgan zarrachalarning 75-95 % neytral atomlarga xos bo'lganligi sababli asosni (detal, namuna, asbobni) qattiq qizib ketmaydi, bu esa o'z navbatida past haroratda eriydigan elementlardan (engil eruvchi metallar va qotishmalar, plastmassalar, organik moddalar) ham qoplama olish imkonini beradi.



4.5-rasm. Magnetron qoplama strukturasi

4.3. KIB metodi yordamida qoplama qoplashda foydalaniladigan qurilma

hozirgi kunda KIB texnologiyasi asosidagi vakuum-plazmalı qurilmalarning bir qancha modifikatsiyalari qo'llaniladi, ularning asosiy xarakteristikalari 2-jadvalda keltirilgan.

Ularning orasida konstruktsiya jihatidan eng optimali "Bulat 6" va NNV6,6-I1 hisoblanadi. So'ngi qurilma elektrotexnik qurilmalar ilmiy-izlanishlar institutida (VNIIE TO) loyihalangan. NNV6,6-I1 qurilma 3 ta elektr-yoy bug'latgich, katod dog'ining elektromagnit stabilizator va plazma dog'ining plazma-optik fokusirovkasi bilan jihozlangan. NNV6,6-I1 ning elektr qismida ta'minlagich, boshqaruvchi va nazorat qiluvchilar mavjud va payvand to'g'rilagichlar, transformatorlar, tiristorli kuchlanishni nazorat qiluvchi, katta tokli Javon va boshqaruv javonidan iborat bo'ladi.

hamma qurilmalar kamerasida qoldiq bosim hosil bo'ladi va bu ishchi gazni kamera kirituvchi avtomatik boshqaruvchiga ega vakuum sistema bilan nazorat qilinadi. Detallar harorati "SMOTRICH" pirometrik sistema yordamida aniqlanadi.

4. 2-jadval. KIB metodi uchun qurilma

Ustanovka	v_H , nm/s	$\tau_H \cdot 10^2$, c	T_H °C	n_H , dona	Kamer o'lchami, mm		N, kVt
					D	H	
Pusk 79-1	1,3- 1,6	1,2- 1,6	330- 800	1	360	450	40
Pusk 83	1,3- 1,6	-	330- 800	1	200	300	15
Bulat 3T	1,2	10,5	330- 800	3	900	500	60
Bulat 6	8-10	10,8	330- 800	3	-	-	-
NNV 6,6-II	3-9	-	330- 800	3	600	600	-

Nomlanishi: v_H - qoplama qoplash tezligi; τ_H - jarayonni umumiy davom etish vaqti; T_H °C –detal harorati; n_H -bug'latuvchilar soni; D-kamera diametri; H-kamera balandligi; N- qurilma quvvati.

KIB metodidan sanoatda asosan tezkesar po'latlardan tayyorlanadigan asboblarga qoplama qoplashda keng foydalaniladi.

Oqim zichligi va qoplama qoplanadigan yuzani bombardirovka qilishda ionlar energiyasi KIB ning muhim parametrlari hisoblanadi. Ionlar energiyasi bug'lanuvchi elementning atom tuzilishi, tezlatuvchi kuchlanish qiymati, ionlar zaryadining karraliligi bilan aniqlanadi. Vaqt bilan birgalikda ionlar energiyasi kondensatsiya yuzasidagi haroratni belgilaydi, uning qiymati yuzada qoplama qoplashdan oldin kerakli darajadagi termik aktivlashtirishni hosil qilish va plazma-kimyoviy reaksiyaning ijobiy o'tishi jihatidan juda muhim hisoblanadi. Ionli bombardirovka va qoplamaning kondensatsiyalanishi jarayonida plazma oqimi yo'nalishi bilan birga puxtalanayotgan detalning mazkur oqimga nisbatan holatini ham hisobga olish kerak.

Kondensatsiyalangan qoplamaning ekspluatatsion va fizik-mexanik xossalari ularning strukturasi, kimyoviy va fazaviy tarkiblariga ko'ra aniqlanadi. O'z navbatida ular purkash rejimiga, purkalayotgan materiallarning xossalariga detal yuzasini purkashga tayyorlanishiga ham bog'liq bo'ladi. Qoplanadigan qoplama kristall

strukturaga ega bo'ladi, bunda uning qalinligi ortib borishi bilan unda tekstura hosil bo'ladi. Tekstura hosil bo'lishi bu qoplama strukturasi qaytadan shakllanishi demakdir, bu esa donalarni yo'naltirish uchun ketadigan Gibbs energiyasi minimum bo'lishini ta'minlaydi. Qalin qoplamalar albatta katta o'lchamdagi donalarga ega bo'ladi. TiN va ZrN kabi qoplamalarning kristallanishi "bug'-kristall" mexanizmi bo'yicha sodir bo'ladi, bunda asosning harorati 750-800 K ni tashkil etadi. Qoplama yuzasi o'sish jarayonida asos yuzasi kabi bo'lib, unga normal holda o'sadi.

Purkab qoplangan qatlam strukturasi ionli bombardirovka rejimining bir tekis olib borilmaganligi oqibatida hosil bo'ladi, bu esa chuqurchalar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

KIB 2 ta ketma-ket olib boriladigan bosqichlardan iborat bo'ladi: ionli bombardirovka va qoplamaning kondensatsiyasi.

Ionli bombardirovka ko'p funktsiyali ahamiyatga ega bo'lib, ularda eng muhimi bu yuzani qoplama kondensatsiyalanishi uchun tayyorlash hisoblanadi.

Ionli bombardirovka qoplama kondensatsiyalanadigan yuza mikro geometriyasiga katta ta'sir qiladi. Ti, W, Cr ionlari bilan bombardirovka qilinganda yuza silliqlashadi va bu jarayon vaqt o'tishi bilan kuchayadi. Turli xil metallar ionlari bilan ta'sir etish samaradorligi bir xil emas va bu asosning strukturasi va kimyoviy tarkibiga bog'liq. VK6 qattiq qotishmasi yuzasiga qoplama qoplashda volfram ionlariga qaraganda titan va xrom ionlarining ta'siri yaxshiroq bo'ladi. R6M5 tezkesar po'lati yuzasini bombardirovka qilishda ham xuddi shunday holat kuzatiladi.

Ionlarning yuzaga ta'sir etishini fizik modelini 3 bosqichli jarayonda aks ettirish mumkin.

Birinchi bosqich yuzadagi singgan, oksid pardalarning emirilishi bilan xarakterlanadi, garchi emirilish intensivligi ionlar energiyasi, ta'sir etish vaqti, bombardirovka qilinadigan yuza va oqim yo'nalishi orasidagi burchak va shuningdek yuza qatlamlaridagi qatlamlarning kimrorelief bilan aniqlansada.

Ikkinchi bosqich ion oqimining yuza bilan to'g'ridan-to'g'ri (fizik) kontaktlashuvi va zarrachalar kinetik energiyasining mazkur yuzaga uzatilishi bilan xarakterlanadi. Zaryadlangan ionlarning yuzaga ta'siri alohida xarakterga ega. Yuzani emirishga qodir bo'lgan ionlar energiyasi yuzaning unchalik mustahkam bo'lmagan strukturalarini

(mikro notekisliklarning tojlari, dona chegaralari, sementatsiyalangan yoki bog'lovchi faza, nuqsonli hajmlar, g'ovaklar va boshqalar) emiradi. Keyin esa matritsa yuzasining asosiy tashkil etuvchisining emirilishi sodir bo'ladi. Qoplamaning matritsa bilan ancha samarali birikishi ta'minlaydigan solishtirma yuza kattalashadi.

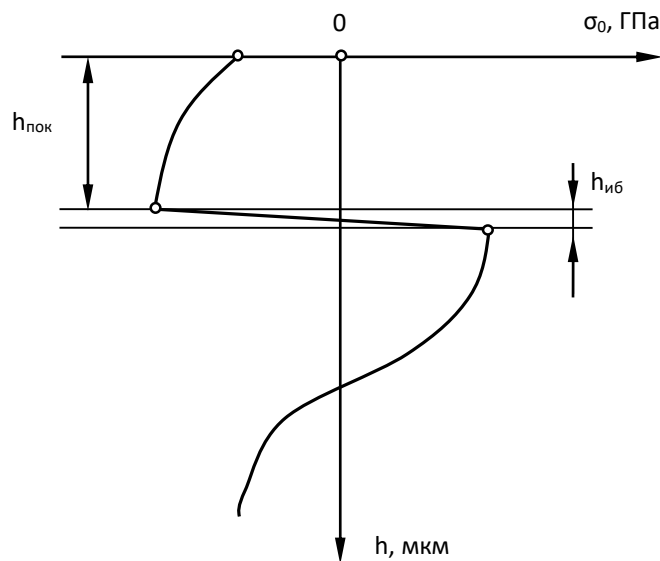
Uchinchi bosqich yuzaning sezilarli ravishda emirilishi bilan xarakterlanadi. Dona chegaralari, bog'lovchi fazalar va g'ovaklar kuchli ta'sirga uchraydi. Og'ir metallarning ionlari bilan bombardirovka qilganda siljish zonalari ko'rinishidagi buzilishlar hosil bo'ladi. Kristall tuzilishdagi nuqsonlar zichligining ortishi aktiv diffuzion jarayonlar va mikro yoriqlarning "ta'mirlanishi" ga sabab bo'ladi. Diffuzion ko'chish asosan ko'tariluvchi diffuziya hisobiga sodir bo'ladi.

Qoplamaning kondensatsiyalanishi vakuum kameraga reaktiv gaz uzatilishida sodir bo'ladi. Reaktiv gazning bosimi qoplash jarayonining va qoplamaning fizik xossalarini shakllantirishning asosiy parametri hisoblanadi. Reaktiv gaz bosimining ortishi bilan KIB jarayonining asosiy parametrlari va kondensatsiyalangan qoplamaning xossalari ekstremal ega bo'ladi (4.4-rasm). Reaktiv gazning qoplama stexiometriyasini ta'minlovchi bosimi optimal hisoblanadi, bunda qoplamaning mikroqattiqligi maksimumga etadi, kristall panjaraning buzilish darajasi minimum bo'ladi. Reaktiv gazning bunday ta'sir etish xarakteri qoplama turi va reaktiv gaz tarkibiga bog'liq emas.

Qoplamaning kondensatsiyasi bir tekis sodir bo'lmaydi. Nitrid va karbid qoplamalarning dastlabki kondensatsiya markazlari bo'lib, sementit to'r va martensit matritsada joylashgan karbidlar hisoblanadi. Qoplamaning keyingi o'sishi orolchalar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi, keyinchalik esa to'liq qoplama hosil bo'ladi, bunda uning qalinligi 0,5...0,8 mkm ni tashkil etadi. To'liq qatlam hosil bo'lishi bilan mikro g'ovakliklar va chuqurlik korroziyalari hududi hosil bo'lish ehtimoli ortadi, bunday nuqsonlar asosan po'lat yuzali matritsalarda hosil bo'ladi.

Qoplama va yuza osti qatlamlarda qoldiq mikro kuchlanishlarning tarqalishi faqat KIB metodiga xos bo'lgan qonuniyatga bo'ysunuvchi xarakterga ega. Bunda qoplamada siquvchi kuchlanishlar, yuza qatlamda esa cho'zuvchi kuchlanishlar hosil bo'ladi (4.6-rasm) qoplama va asos orasidagi chegarada esa qoldiq kuchlanishlarning katta gradienti mavjud bo'ladi, bu esa ular orasida o'ztish zonasining yo'qligi bilan

tushuntiriladi. Bu termomexanik ekspluatatsion kuchlanishlarda to'liq qatlam bo'lib ko'chish ehtimolligini oshiradi.



4.6-rasm. “Qoplama-yuza qatlam” kompozitsiyasida qoldiq kuchlanishlarning tarqalish xarakteri.

4.4. Elektrokimyoviy qoplama hosil qilish.

4.4.1. Metallar yuzasining korroziyalanishi haqida tushuncha

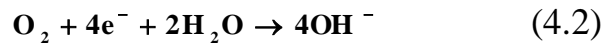
Metallar va qotishmalarning korroziyalanishi bu yuza qatlamning atrof-muhit bilan ta'sirlashuvi natijasida emirilishidir. Korroziyaning ikkita turi mavjud: kimyoviy va elektrokimyoviy.

Elektrokimyoviy korroziya metalning elektrolitlar bilan ta'sirlashuvi natijasida sodir bo'ladi, bunda metallning emirilishi uning yuzasini anod va katod maydonlari orasidan elektr toki o'tishi bilan birga sodir bo'ladi. Metall yuzasida bunday xossalari bir-biridan keskin farq qiladigan maydonlarning hosil bo'lishi yuza qatlamning fizik-kimyoviy holatining bir jinsli emasligi, muhit haroratining bir xil emasligi va boshqalar bilan belgilanadi.

Anodli yoki oksidlovchi jarayon metall ionlarining elektrolitga o'tishi bilan bog'liq.



Metallda qolgan “ortiqcha” elektronlar katodli (tiklovchi) jarayonda qatnashadi. Katodli jarayonning asl mohiyati bu elektronlarning qutbsizlantiruvchilar bilan assimilyatsiyasidan iborat bo’lib, qutbsizlantiruvchilar sifatida elektrolitlarning ionlari yoki molekulari, misol uchun



Bunday jarayon asosan neytral va ishqorli va kislorodsiz muhitlarda olib boriladi. Metall ionlari Me^+ keyinchalik OH^- yoki O_2 bilan o’zaro ta’sirlashishi mumkin, buning natijasida metall gidrooksidi hosil bo’ladi.

Bunday jarayon asosan neytral va ishqorli va kislorodsiz muhitlarda olib boriladi. Metall ionlari Me^+ keyinchalik OH^- yoki O_2 bilan o’zaro ta’sirlashishi mumkin, buning natijasida metall gidrooksidi hosil bo’ladi.

Elektrokimyoviy korroziyaning termodinamik sharti quyidagicha:

$$\Delta G_A + \Delta G_K < 0 \quad (4.3)$$

bu erda ΔG_A va ΔG_K – Anodli va katodli reaksiyalar vaqtida Gibbs erkin energiyasining o’zgarishi.

ΔG_A va ΔG_K qiymatlari anod va katodning muvozanat elektr potentsallari qiymatiga φ_A^0 va φ_K^0 proporsional.

Elektrokimyoviy korroziya tezligini anod va katod orasida hosil bo’luvchi tok kuchi kattaligi orqali baholash mumkin:

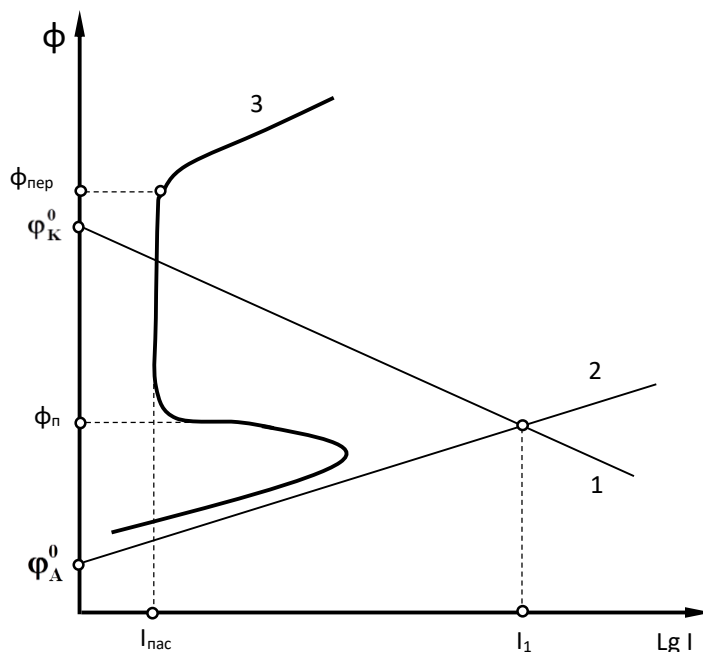
$$\varphi_A - \varphi_K = I \cdot R \quad (4.4)$$

bu erda φ_A^0 va φ_K^0 – anod va katodning potentsiallari, R – katod va anod orasidagi yuza maydonning elektr qarshiligi.

Ko’pgina holatlarda material yuzasining korrozion emirilishi kuzatiladi. Tok kuchi ortishi bilan anod potentsiali odatda ortadi, katod potentsiali esa kamayadi (4.7-rasmdagi 1 va 2 egri chiziqlar). Metallning qutblanish bog’lanishi korrozion emirilishda 6.1-rasmdagi 3-egri chiziqda tasvirlangan.

φ_{Π} va $\varphi_{\Pi\text{ep}}$ oraliqda korroziya tezligi va mos ravishda korroziyaning tok kuchi kam bo’ladi. Metallning korrozion emirilishining sababi yuza qatlamga kislorod va boshqa oksidlovchilarning singishi natijasida metall aktivligining pasayadi, yoki aktiv bo’lmagan oksid yoki tuzli pardalarning hosil bo’lishi. Va faqatgina $\varphi_A > \varphi_{\Pi\text{ep}}$

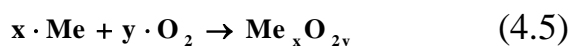
bo'lganda korroziyaning intensivligi hA ortishi bilan keskin ortadi, hA ning ortishi esa agressiv ionlar yo'q bo'lganda nuqtali korroziyaning o'sishi bilan belgilanadi.



4.7-rasm. Katodli (1) va anodli (2,3) qutblanish egri chiziqlari: 2-korrozion emirilishsiz; 3- korrozion emirilishli.

Metallarni elektrokimyoviy korroziyadan himoya qilishning hamma metodlari korroziyaning tok kuchini kamaytirishni ko'rib chiqadi, misol uchun metallning passiv holatga o'tishi sababli.

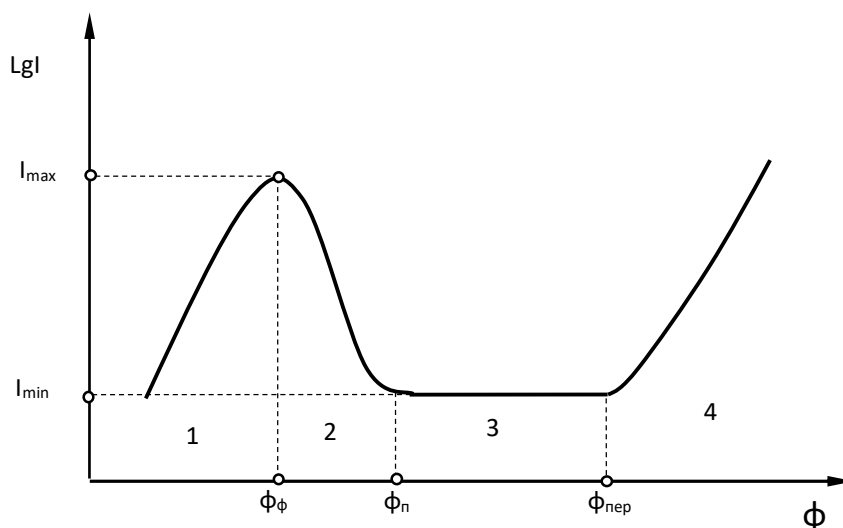
Kimyoviy korroziya namlik yo'q bo'lgan gazli muhitlarda olib boriladi, va shuningdek elektrolit bo'lmagan suyuqliklarda ham. Bunda metall toza kimyoviy reaksiya natijasida emiriladi. Kimyoviy korroziya yuqori temperaturali kislorod mavjud gazli muhitlarda muhim amaliy ahamiyatga ega. Yuqori haroratli gazlar muhitidagi korroziyagabardoshlik olovbardoshlik deb ataladi. Metallning korroziyalanishi natijasida metall oksid holatiga o'tadi.



(4.5) reaksiya oksid holatga o'tishda sistemaning Gibbs erkin energiyasini salbiy o'zgarishi bilan sodir bo'ladi. Al, Cr, Ti, Si, Y, Hf, noyob er metallari kislorod bilan ancha aktiv ta'sirlashuvchi metallar hisoblanadi.

Ko'pgina metallar osongina oksidlanishi mumkin. Ko'pgina korroziya-aktiv muhitlarda kuchsiz va kuchli oksidlanuvchi metallarning qotishmalari yuzalarida yaxshi oksidlangan yuzani olish mumkin. Bu asosida turli xil korroziyabardosh qotishmalar olish mumkin, bulardan eng tarqalganlari temir-zanglamas po'lat asosidagi qotishmalar hisoblanadi.

Metallar va qotishmalarning korroziyon holatining barqarorligini ta'minlovchi shartlardan biri bu muhitning kimyoviy tarkibi bilan bog'liq. Mavjud klassifikasiya va terminologiyaga ko'ra moddalarga ega bo'lgan muhitlar aktivatorlar va passivatorlarga bo'linadi. Passivatorlarga kislotalar (aniq bir konsentratsiyali) va oksidlovchi tipdagi NaNO_3 , K_2CrO_4 , AgNO_3 , HClO_3 , O_2 va boshqalar. O'z-o'zidan korroziyalangan metallar chidamlilik va korroziyon barqarorlikka ega bo'ladi, himoya qoplamasining har qanday zararlanishi uning qayta tiklanishiga olib keladi.



4.8-rasm. Korroziyalanuvchi metallning qutblanish egri chizig'i ko'rinishi.

Har qanday metall va qotishmalar anodli qutblanish orqali ma'lum bir muhitlarda, aralashmalarda va eritmalarda korroziyalanishi mumkin. Yana bir bor qutblanish tokening kuchlanishga bog'liqlik egri chizig'ini ko'rib chiqamiz. Aniqlik uchun kordinata nuqatalarini o'zgartiramiz (4.8-rasm).

1 maydon metallning aktiv erishiga mos keladi, potentsial ortishi bilan bu jarayon tezligi I_{max} bo'lganda maksimal qiymatga erishadi. I_{max} holatga mos keluvchi potentsial uni aniqlagan olim (F.Flade) sharafiga Flade-potentsial deb ataladi. Anod potentsialining keying ortishi metallning erish (tok) tezligini kamayishiga sabab

bo'ladi, bu yuzada korrozion qoplamalar hosil bo'lishining boshlanishi bilan bog'liq, φ_{π} ma'lum bir qiymatida qutblanish tokining zichligi doimiy va I_{MH} bo'ladi. Qutblanishning minimal toki saqlanib qoladigan potentsial korroziyalanish potentsiali deb ataladi. φ_{nep} ning ma'lum bir qiymatlarigacha bu korrozion holat saqlanib qoladi. Ko'pgina tashqi faktorlarga bog'liq holda korrozion holat saqlanib qoladigan φ_{π} va φ_{nep} orasidagi potentsiallar oralig'i turli metallar va qotishmalar uchun turlicha bo'ladi. Potentsial ortishi bilan keyinchalik qutblanish tokining ortishining sababi metall va oksidning erish tezligi uning o'sish tezligiga nisbatan ustunlikka egadir. Bu berilgan muhitdagi mazkur potentsiallarda aktivatorlarning qarshilik ko'rsatuvchi harakatlari va metall yoki qotishmalarning anodli qutblanish joylarida passivlashtiruvchi qatlamni hosil qiluvchi turli fazali strukturalar bilan ham bog'liq. Metallar va qotishmalarning tabiiy sharoitlarda passiv holatining yo'qolishiga sabab turli xil tipdagi aktivatorlar borligi bilan bog'liq, bunday aktivatorlarga Cl, Br, F va boshqalar kiradi.

Metall va qotishmalarning passivlashuvi haqidagi zamonaviy tasavvur yuzada oksid qatlam hosil bo'lishi bilan bog'liq. harorat, metall va qotishma turi bog'liq holda oksid parda qalinligining ortishi turli xil qonuniyatlar bilan yoziladi:

-Chiziqli

$$d(t) = K \cdot t \quad (4.6)$$

-Parabolasimon

$$d^2(t) = K \cdot t \quad (4.7)$$

- Kubik

$$d^3(t) = K \cdot t \quad (4.8)$$

-Logarifmik

$$d(t) = K \cdot \lg(B \cdot t + 1) \quad (4.9)$$

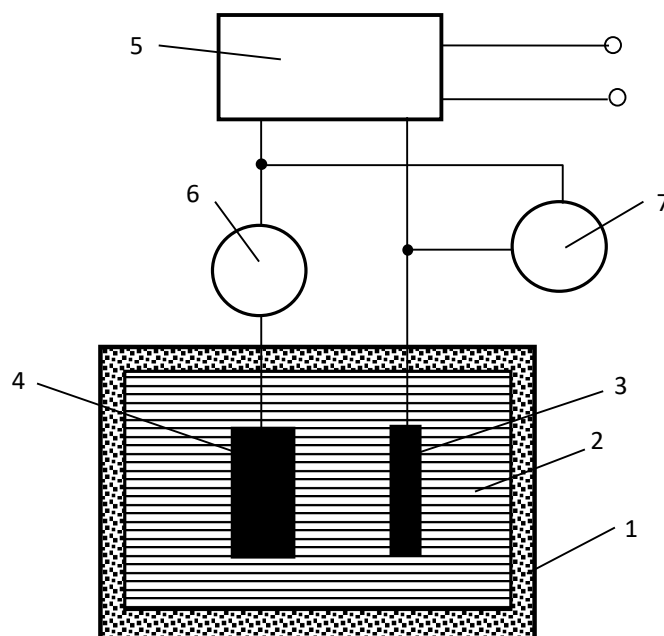
- Teskari logarifmik

$$d^{-1}(t) = K \cdot (B + \lg t) \quad (4.10)$$

bu erda $d(t)$ -oksid qalinligining o'sish tezligi; K,B-o'zgarmaslar; t- vaqt.

Oksid o'sishining chiziqli va parabolasiimon qonuniyatlari yuqori haroratli oksidlanish uchun xarakterli; parabolasiimon, kubik esa- o'rta haroratlar uchun; logarifmik va teskari logarifmik esa – past haroratlar uchun.

Tabiiy o'zi hosil bo'luvchi metall va qotishmalar yuzasining passivlashuvi har doim ham texnika va limning ko'p sohalari va tomonidan metallic strukturaning yuza holati va mashina va mexanizmlar konstruksiyasi uchun ishlab chiqilgan talablarga javob bermaydi. Shu sababli turli metall va qotishmalar guruhi uchun zarur fizik-kimyoviy va korroziyon-mexanikaviy xossalarga ega bo'lgan oksid pardalar hosil qilishning ko'p sonli texnologik usullari ishlab chiqilgan. Elektrokimyoviy oksidlantirish jarayoni mahsus qurilmalarda o'tkaziladi, bu qurilmaning asosiy sxemasi 4.9- rasmda keltirilgan.



4.9-rasm. Elektrokimyoviy oksidlantirish qurilmasining asosiy sxemasi: 1- fluoroplastli elektrolitik quti; elektrolit; 3-katod; 4- oksidlanuvchi mahsulot (anod); 5- roslanuvchi kuchlanish manbai; 6-ampermetr; 7-voltmetr.

4.4.2. Elektrokimyoviy oksidlantirish rejimlari

Metall yuzasida oksid parda hosil bo'lishi yuzaning tozalanishiga sabab bo'ladi, bu esa elektrokimyoviy potentsialning anod tomonga siljishini bildiradi. Metall va qotishma yuzasini tozalovchi anodli pardalar 3 qatlamdan iborat bo'ladi: to'siqli, ya'ni u zich tuzilishga ega bo'lishi va metallga yopishib turishi kerak, 2-qatlam, suv ta'sir

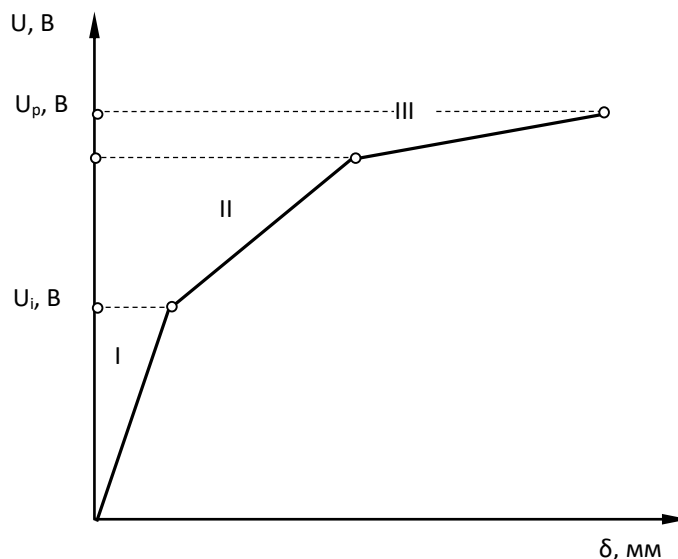
etadi va 3-tashqi qatlam g'ovak strukturaga ega. Metall va qotishmalarning yuzasida oksid pardaning o'sish tezligi vaqti-vaqti bilan sekinlashadi, oksid pardaning kritik qalinligiga etganda uning o'sishi to'xtaydi.

Metallar yuzasida oksid qatlam hosil bo'lganda har doim diffusion qo'sh elektrik qatlam hosil bo'ladi, bu elektrik qatlamning elektr maydonida ionlar siljiydi. Qo'sh elektrik qatlamning kengligi o'rtacha 10-10 m ni tashkil etadi. Metall va qotishmalarning yuzasida oksid pardaning o'sish tezligi vaqti-vaqti bilan sekinlashadi, oksid pardaning kritik qalinligiga etganda uning o'sishi to'xtaydi. Aluminiy uchun oksid pardaning kritik qalinligi hosil bo'lish potentsiali 2,0 V da $2 \cdot 10^{-9}$ m ni tashkil etadi.

Elektrokimyoviy oksidlantirish bu materiallar, metallar va qotishmalar yuzasiga elektrolitik muhitda oksid pardalar qoplash texnologik jarayoni bo'lib, bu muhit orqali doimiy elektr toki o'tkaziladi. Elektrolitik muhit sifatida tuzning suvdagi eritmasi yoki boshqa eritmalar yoki tuzlarning eritmasi qo'llaniladi. Ishlov beriladigan mahsulot doimo anod hisoblanadi. Sanoatda qo'llaniladigan elektrolitlar murakkab kimyoviy tarkibga ega va tanlash imkonining cheklanganligi va aniq bir metall yoki qotishma uchun alohida elektrolit belgilanganligi bilan xarakterlanadi. Elektrolitlar sust eriydigan oksid va metal, kuchli eriydigan oksid va metall va oraliq turlarga bo'linadi. Elektrolitlar tarkibida shuningdek uning elektr o'tkazuvchanligini o'zgartiruvchi mahsus qo'shimchalar ham bo'ladi. Olinadigan oksid pardalarning sifati (g'ovakligi, qalinligi, nuqsonlar zichligi va boshqalar) elektrolit tarkibiga va anodlash rejimiga bog'liq.

Elektrolitik jarayonlarning asosiy mahsuloti oksid parda hisoblanadi, bugungi kunda oksid pardaning o'sish jarayonini ifodalaydigan birorta nazariya mavjud emas. Ularning hammasi metall va oksid yoki gidroksil guruhlari ionlarining harakatlanishi oksid hosil bo'lgandan keyingi ta'sirlashuvini ifodalaydi. Savol shundaki, bu ta'sirlashuv qayerda sodir bo'ladi, metall-oksid yoki oksid-elektrolit chegaralari ochiq qoladi. Shunisi aniq-ki, yuzada oksid parda hosil bo'lishida metall atomlarining pastki qatlamdan yuqoriga tomon diffusion harakatlanishi va kislorod yoki gidroksil guruhlarning qarama-qarshi yo'nalishda diffusion harakatlanishi qoplamaning o'sishi kinetikasida muhim rol o'ynaydi. Oksid qoplama qalinligi ortishi bilan metall va

kislrorod atomlarining aktivligi pasayadi. Bundan tashqari anodlash jarayonida dastlab elektrod yuzasida gaz pufaklari hosil bo'ladi, keyinchalik esa bu pufaklar katta gaz qatlamlarini hosil qiladi. Bularning hammasi oksid qoplamaning o'sishini keskin sekinlashuviga sabab bo'ladi. Bunga bog'liq holda qoplama o'sish tezligini saqlab



4.10-rasm. Qoplama hosil qilish potentsialining oksid qatlam qalinligiga bog'liqligi: I- anodlash sohasi; II- uchqunlanish sohasi; III- yoy sohasi; Y_{II} - uchqunlanish kuchlanishi; Y -buzilishda kuchlanish.

qolish uchun hosil bo'lish potentsialini oshirish kerak. Elektrokimyoviy jarayon kuchlanish ortishi bilan anodlash rejimidan uchqunli keyinchalik esa yoyli rejimga o'tadi. 4.10-rasmda hosil bo'lish potentsialining oksid qoplama qalinligiga bog'liqligi keltirilgan [24].

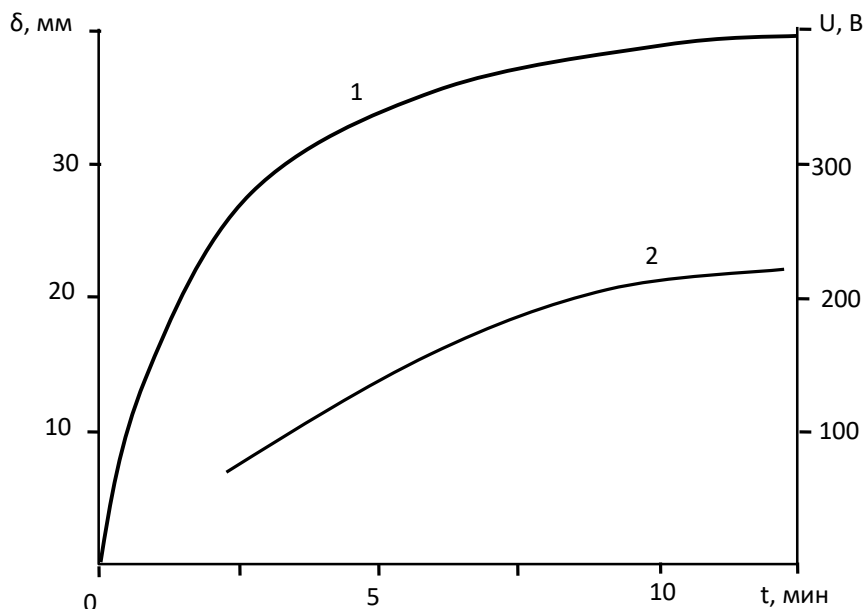
Elektr zaryadlari rejimida elektrolitlar eritmasi yoki aralashmasida oksidlantirish yuqori korrozion, mehanik va tribotexnik xossalarga ega bo'lgan qoplama hosil qilishga imkon beradi. Uchqunlantirish rejimida anodda turli xil intensivlikdagi ko'p uchqunlanishlar kuzatiladi. Uchqunli kanaldagi temperatura $7000 \dots 20000^\circ\text{C}$ ni, bosim esa 1000 MPa gacha etadi.

Bunday holda qoplama elementlari orasida kimyoviy reaksiya sodir bo'lishi, elektrolit komponentlarining va shuningdek yuqori korroziyabardoshlikka ega bo'lgan noorganik pigmentlar aralashmasining hosil bo'luvchi qoplama tarkibiga kirishi uchun anodda kerakli rejim hosil bo'ladi. Uchqunli rejimning afzalliklariga yana shuningdek jarayonning kechish vaqtini kamayishini, elektrolit haroratiga qo'yiladigan qat'iy

talablarning pastligi, zaharli bo'lmagan elektrolitlarda yuqori sifatli qoplama olishni ham qo'shish mumkin.

Uchqunli rejimda kuchlanishning yanada oshishi bu rejimni mikro yoyli rejimga o'tishiga sabab bo'ladi, bu rejimning o'zi esa mikro yoyli oksidlantirish (MYO) deb ataladi. Mikro-yoyli oksidlantirish har doim ham qoplanadigan qoplama sifatining yaxshilanishiga sabab bo'lmaydi, ko'pincha bunday rejimda hosil qilingan qoplama yomon dielektrik xossalari bilan ajralib turadi va ko'pincha bu rejimda qoplamaning buzilish hollari ham kuzatiladi. Metallarni va qotishmalarni MYO doimiy tok zichligida (galvanic rejim) yoki elektrodalarda mavjud doimiy potentsiallar farqida (potensial-statik rejim) amalga oshiriladi. Istiqbolli yo'nalish sifatida kombinatsiyalangan rejimdan foydalanish hisoblanadi, misol uchun tushuvchi quvvat rejimi.

Jo'mrak metallariga oksidi metall-oksidi-metall sistemasiga kiruvchi metallari kiradi, musbat potentsialda jo'mrak metallarida strukturalar hosil bo'ladi, bu strukturalar o'zlarining voltamper karakteristikalari jihatidan p-r o'tishga mos keladi. Bunday metallarga Al, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, W, Bi, Sb, Be, Mg, U kiradi. Jo'mrak metallari yuzasida hosil bo'ladigan oksidlar ancha yuqori korroziyabardosh xossalarga ega bo'ladi. Misol uchun, titan yuzasidagi oksid parda dengiz suvida shunday korroziyabardoshlikka ega bo'ladi-ki, bunda 4000 yilda qog'oz qalinligidagi titan qatlami emirilishi mumkin. 4.11-rasmda aluminiy qotishmasini AMtsM oksidlantirishda qoplama qalinligi va kuchlanishning vaqtga bog'liqligi keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, qoplamaning yuqori tezlikda o'sishini saqlab qolish uchun hosil bo'luvchi kuchlanishni doimiy o'sib borishini ta'minlash kerak.

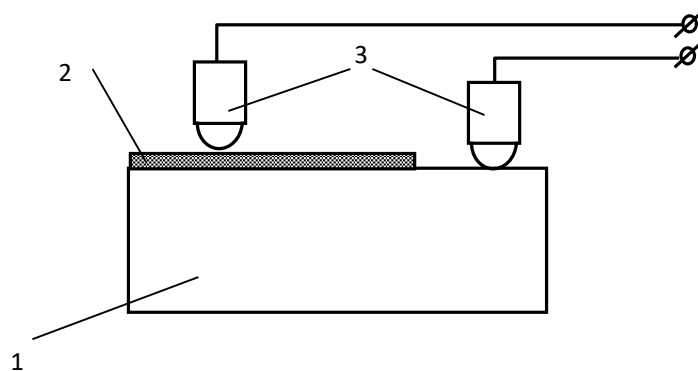


4.11-rasmda aluminiy qotishmasini AMtsM 10 % li suyuq shishaning suvdagi eritmasida mikro-yoyli oksidlantirishda qoplama qalinligi (1) va kuchlanishning (2) vaqtga bog'liqligi keltirilgan.

4.4.3. Alyuminiy va alyuminiy qotishmalari yuzasidagi oksid qoplamalarning fizik-mexanik va kimyoviy xossalari

Alyuminiyni oksidlantirishda hosil bo'ladigan oksid qoplamalarning fizik-mexanik va kimyoviy xossalari ko'rib chiqamiz. Uchqunli rejimda suyuq shisha, burava geksametafosfat natriy ning suvli eritmasida 10 daqiqa davomida qoplama qoplash olib borildi. Tok zichligi $0,03 \text{ A/sm}^3$ ni tashkil etadi, elektrolit harorati $25...30 \text{ }^\circ\text{C}$ oraliqda ushlab turildi.

Qoplamani elektrik sinov bilan mustahkamlikka tekshirish ochiq havoda GOST 9.302.79 ga muvofiq olib borildi. Elektrod og'irligi $0,7 \text{ N}$ bo'lib, tutashish nuqtasi 3 mm bo'lgan bir yog'i metall asos bilan tutashadigan, boshqasi esa qoplama joylashgan egrilik radiusiga ega. Potensialning o'sishi 20 V/s ni tashkil etdi. Kuchlanish qiymatini natijalarga ko'ra $15-20$ alohida o'lchamlarda hisoblashdi. Qoplamaning elektr sig'imini 1000 Gts chastotali o'zgaruvchan tokda o'lchashdi. O'lchash aniqligini oshirish uchun vakumdagi qoplama $0,35...0,5 \text{ sm}^2$ maydonli aluminiyli kontaktlar purkaldi (4.12-rasm).

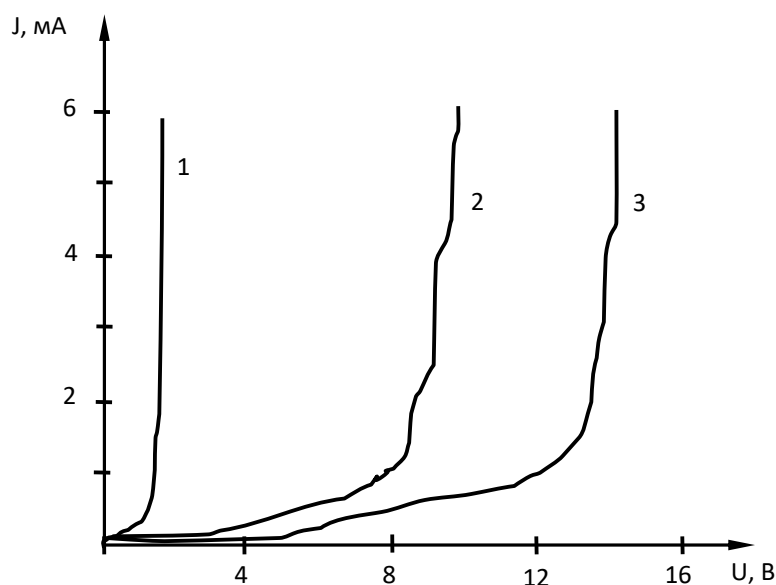


4.12-rasm. Qoplamani elektrik buzilishga sinash sxemasi: 1- namuna; 2- qoplama; 3-elektrodlar.

Korroziyabardoshlikni 3 % li $NaCl$ eritmasida namunaning anodli qutblanishi natijasida yoriqlar hosil bo'lish potentsiali qiymatiga ko'ra o'lchanadi. Yoriqlar hosil bo'lish potentsialini aniqlovchi potentsial dinamik egri chiziq potentsiyastat P-5827M da rasmga olindi. Potentsialning o'sish tezligi 40 mV/s ni tashkil etdi. Tokning keskin ortgan paytda buzilish kuzatildi.

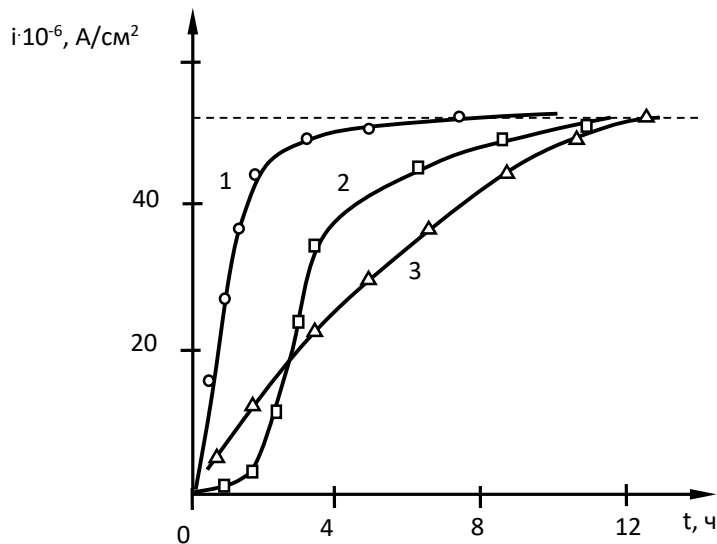
4.13-rasmda oksid qoplamaning buzilish potentsialini aniqlash mumkin bo'lgan potensiommetrik egri chizig'i keltirilgan. Shunda 10 daqiqa davomida buraning suvli eritmasida hosil qilingan qoplama 1,1 V potentsialda buziladi. Texnik suyuq shishaning suvli eritmasida hosil qilingan qoplama esa 10 V da buziladi, natriyning geksametafosfatning suvli eritmasida esa – 13,3 V da buziladi. Umumiy holatda buzilish kinetikasi va qiymati xlor ionlarining konsentratsiyasi, harorat, potentsialning o'sish tezligi, himoya qoplamasining tuzilishi, tarkibi, qalinligi va nuqsonlar mavjudligi bilan aniqlanadi. Galogenlar eritmasida buzilish birinchi navbatda nuqsonli joylarda (g'ovaklar, yoriqlar, yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega joylar va boshqalar) sodir bo'ladi.

Haqiqiy ekspluatatsiya sharoitiga yaqin bo'lgan korroziya sinovlari uchun aluminiy elektrod va boshqa konstruksion materiallardan tayyorlangan elektroddan iborat korrozion juftning tokini o'lchashdi. Korrozion muhit sifatida dengiz suvining analogini ya'ni $NaCl$ ning 3 % li eritmasini qo'llanildi. Ishchi bo'lmagan yuza elektrolit bilan kontaktlashmasligi uchun uni izolyatsiyalovchi lak bilan qoplashdi. Elektrodlar orasidagi masofa 2 sm ni tashkil etdi. F136 turidagi microvoltnanoampermetr yordamida tok o'zgartirilib turildi.

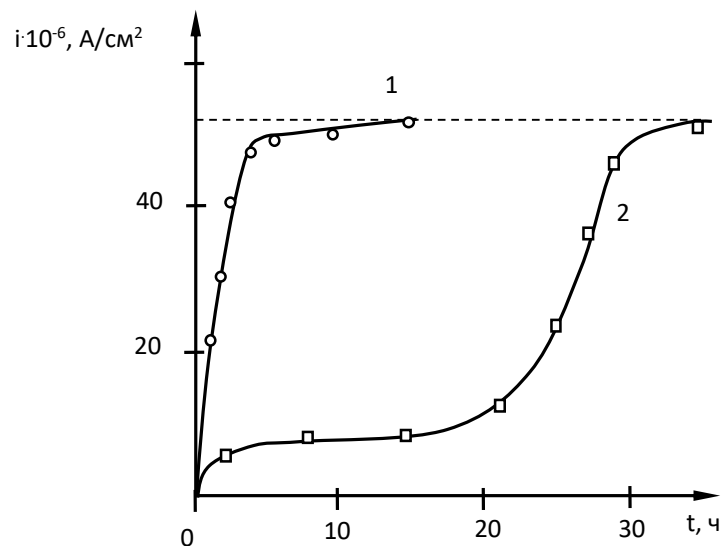


4.13-pacm. 1-buraning suvli eritmasi; 2- suyuq shisha; 3- natriy geksametafosfatlarda hosil qilingan oksid qoplamali AMtsM dan tayyorlangan namunalarni 3 % li $NaCl$ eritmasida anodli qutblanishidagi potentsiometrik egri chizig'i.

4.14 va 4.15-raslarda AMtsM qotishmasining anod-uchqunli qoplama va po'lat 3 bilan hosil qilgan juftligining galvanic-korroziya toki bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, suyuq shishaning suvdagi aralashmasida (6.8-rasm) olingan qoplama galvanokorroziya tokini bir necha soatlardan keyin pasaytiradi. Natriy geksametafosfatning suvdagi aralashmasida olingan qoplama qotishmani ancha samarali himoya qiladi. Bunday holatda galvanokorroziya toki himoyalanmagan metallar uchun tokning qiymatiga 30...40 soatlardan keyin etadi (6.9-rasm).

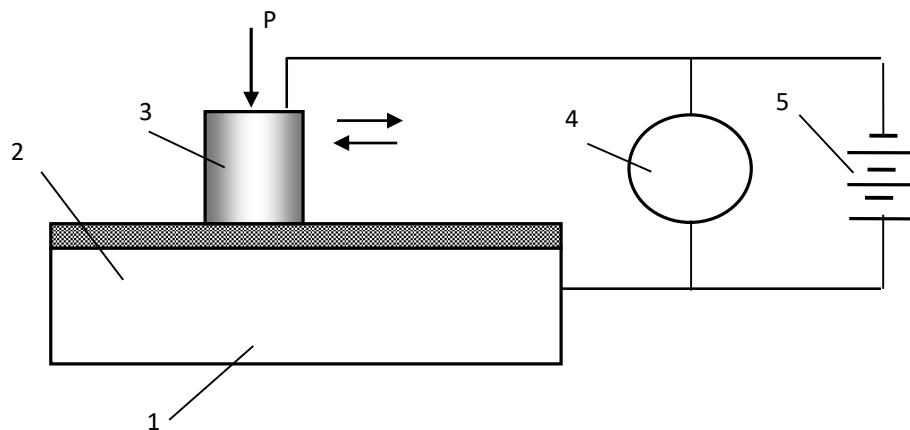


4.14-rasm. Aluminiy qotishmasining oksid qoplama va po'lat 3 juftligining galavanik toki: 1- AMtsM; 2- D16AM; 3- AD1.



4.15-rasm. Aluminiy qotishmasi AMtsM ning oksid qoplama va po'lat 3 juftligining galavanik toki: 1- buraning suvli eritmasi; 2- natriy geksametafosfatning suvli eritmasi.

Qoplamaning eyilishgabaradoshligi yon yuzani ishqalanishini ta'minlovchi uskunada aniqlanadi. Qoplamali namuna 1 sm qadamli 30,7 min⁻¹ chastota bilan ilgarilanma-qaytma harakat qildi, yon yuzadagi yuklama esa 0,23...1,0 kg oraliqda o'zgardi. Qoplama eyilish davri elektr qarshilikning keskin tushishiga ko'ra aniqlandi, bu esa qarshilik o'zgarishi rejimida ishlaydigan voltmetrning oksid qoplamali namuna va harakatlanuvchi namuna orasida ishga tushishini ta'minlaydi (4.16-rasm).



4.16-rasm. Oksid qoplamani tribotexnik sinash sxemasi: 1- namuna; 2- qoplama; 3-yon yuzali namuna; 4- voltmeter; 5- tok manbai.

Qoplamaning eyilishgabdoshligi quyidagi ko'rsatgich bilan baholanadi:

$$\alpha = \frac{4P\tau}{\pi a^2 h} \quad (4.11)$$

bu erda P-normal yuklanish; τ -sinov muddati; a-namunaning ishqalanuvchi yon yuzasi diametri; h-eyilish chuqurchasi chuqurligi.

Eyilishgabdoshlikni ko'rsatuvchi α eyilish tezligiga teskari bo'lgan qiymatni ko'rsatadi, eyilish tezligi esa solishtirma normal yuklanishga bog'liq. Suyuq shisha eritmasida hosil qilingan qoplama ancha yuqori eyilishgabdoshlikka ega bo'ladi ($\alpha = 6,5 \cdot 10^{15} \text{ Hc/M}^3$). Undan keyin esa natriy geksametafosfat eritmasida hosil qilingan qoplama keladi ($\alpha = 9,4 \cdot 10^{45} \text{ Hc/M}^3$). Buraning suvli eritmasida olingan qoplamalar unaqa katta farq qilmaydi ($\alpha = 2,2 \cdot 10^{14} \text{ Hc/M}^3$).

Ko'rib o'tilgan elektrolitlarda hosil qilingan qoplamalar moy va suv yordamida xo'llanadi. Suyuq shishali suvli eritmada olingan qoplamaning yuzasida ko'z bilan ko'rsa bo'ladigan notekisliklar bo'ladi va ayrim gigroskopikliklar bilan ajralib turadi.

Suyuq shishali eritmada hosil qilingan qoplama amorf faza mavjud bo'lib, uning hosil bo'lishi oksid qoplama CuO_2 ko'p bo'lishi bilan izohlanadi. Bu fazaning bo'lishi qoplamaning yuqori eyilishgabdosh bo'lishini ta'minlaydi.

4.4.4. Sanoatda elektrokimyoviy oksidlantirish texnologiyasini qo'llash.

So'ngi yillarda elektrokimyoviy oksidlantirish texnologiyasi iqtisodiyoti rivojlangan etakchi davlatlarda keng ko'lamda qo'llanilmoqda, misol uchun SShA,

Germaniya, Yaponiya, Frantsiya, Italiya, SNG davlatlari va Rossiya. Elektrokimyoviy oksidlantirish orqali olingan qoplamalar quyidagi funktsional xossalarga ega bo'ladi: atmosferali, ishqorli va dengiz korroziyasidan himoyalangan, lak, bo'yoq va polimerlar qoplashda oraliq qatlam sifatida adgezion aktiv. Elektrolitlarga mahsus komponentlarni qo'shish turli rangli gammalarga ega bo'lgan oksid qoplamalarni hosil qilish va ulardan xuddi dekoratitsiya sifatida foydalanish imkonini beradi. elektrokimyoviy oksidlantirish bo'yicha katta izlanish DVO RAN kimyo institutida olib borilgan, bu institute bir qancha texnologiyalarni ishlab chiqqan va mashinasozlik, samolyotsozlik va kemasozlik sohalariga joriy qilgan. 1990-yildan boshlab janubiy Saxalinskidagi SKB SAMI DVO RAN eksperimental zavodidagi sanoat zonasida qo'llash uchun kiritildi, 1993-yilda Krasnoyarski shahridagi Radiotexnika birlashmasida shunga o'xshash maydon ishga tushirildi. Komsomolsk-na-Amure shahrida OAOKnAAPoda texnologiyani takomillashtirish uchun ilg'or izlanish ishlari olib borildi.

Elektrokimyoviy oksidlantirish texnologiyasi kimyoviy oksidlantirish bilan taqqoslaganda bir qancha afzalliklarga ega bo'lib, ular quyida keltirilgan:

- Nisbatan kam texnologik operatitsiyalar;
- Ishlab chiqarish texnologiyasiga (quymakorlik, payvandlab, shtamplangan va boshqalar) bog'liq bo'lmagan ventilli metallar qotishmalaridan tayyorlangan zagotovkalarga oksid qoplama qoplash imkonini beradi;
- Tayyorlangan universal elektrolitlar bitta elektrolitli vannada turli materiallardan tayyorlangan detalga ishlov berish imkonini beradi;
- Lak va bo'yoq materiallari va polimerlarga nisbatan yuqori adgezion aktivlikka ega bo'lgan oraliq qatlamlar hosil qiladi;
- Elektrokimyoviy oksidlantirish uchun mo'ljallangan elektrolitlar yuqori barqarorligi bilan ajralib turadi;
- Bunday texnologiyadan sanoatda foydalanish texnologik jihozlarni joylashtirish uchun nisbatan kam maydon talab qiladi;
- Oksid qoplamalarni osongina qayta tiklash mumkin;

Kimyoviy oksidlantirish qaraganda ishlab chiqarishning yuqori darajada ekologik tozaligi, zaharli moddalardan foydalanishni taqozo qilmaydi va galvanik quyqumlar kam zaharliligi bilan ajralib turadi.

4.5. Ionli implantatsiya usuli bilan yuzalarni puxtalash.

Ionli implantatsiya bu nishonga ion holatidagi atomlarni kiritish jarayoni bo'lib, bu atomlarning energiyasi ularning nishon yuzasiga singishi uchun etarli bo'ladi. Ionli implantatsiyadan samarali foydalanish orqali qoplangan yuza strukturalarning elektr va mehanik xossalarini oldindan belgilash va boshqarish mumkin. Ionli implantatsiya (ionli legirlash) yuzani puxtalashning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi, bunda puxtalanish yuzani yuqori energiyali ionlar bilan bombardirovka qilish orqali modifikatsiyalangan struktura hosil qilish hisobiga sodir bo'ladi. Ionli implantatsiyadan sanoatda yarim o'tkazgich materiallarni, metallarni va qotishmalarni, keramika va plastmassalarni legirlashda keng foydalaniladi.

Implantatsiyalanuvchi ionning modda qattiq jism zarrachalari bilan ta'sirlashuvi uning kinetik energiyasini doimiy pasayishi yoki uning tormozlanishiga sabab bo'ladi. Ionning umumiy harakatlanish traektoriyasi yo'lak uzunligi R deb ataladi, ionning nishon yuzasiga perpendikulyar yo'nalishda to'xtagunga qadar o'tuvchi masofasi yo'lakning loyihalangan uzunligi R_p deb ataladi. Qattiq jismda ionlarning o'tgan masofasi ularning dastlabki energiyasi va massasiga shuningdek ishlov berilayotgan zagotovkaning fizik xossalariga bog'liq. Amorf yoki polikristall mayda donali strukturali materialdagi ionlarning o'rtacha o'tgan masofasi quyidagi formula orqali aniqlash mumkin:

$$R \approx \frac{13 \cdot E_1}{\rho} \cdot \frac{1 + \frac{M_2}{M_1}}{Z_1^{2/3}} \quad (4.12)$$

bu erda R -ionning o'tgan masofasi; E_1 -ionning dastlabki energiyasi; M_1 - ionning massa soni; Z_1 -ionning atom raqami; M_2 -nishon atomining massa soni; ρ - nishon materialining zichligi.

O'tilgan masofaning ionning dastlabki harakati yo'nalishiga proeksiyasi quyidagi tenglik bilan belgilanadi:

$$\frac{R}{R_p} = 1 + b \cdot \frac{M_2}{M_1} \quad (4.13)$$

bu erda R_p -proeksion o'tilgan masofa; b - ionning dastlabki energiyasi va o'rtacha o'tilgan masofaga bog'liq bo'lgan parametr (dastlabki yaqinlashishda $b = 1/3$ deb hisoblash mumkin).

Proeksion o'tilgan masofaning qiymati odatda uncha katta bo'lmaydi, $E \approx 1,0$ MэВ бо'лганда $R_p \approx 1,0$ mkm.

Singan ionlarning qattiq jism chuqurligi bo'ylab tarqalishini Gauss funktsiyasi orqali ifodalash mumkin.

$$N(h) = \frac{D}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_p} \cdot \exp \left\{ -\frac{(h - R_p)^2}{2 \cdot \Delta R_p^2} \right\} \quad (4.14)$$

bu erda D -nurlanish dozasi (birlik yuzaga implantatsiya qilingan ionlar soni); h - chuqurlik.

Nurlanish dozasi implantatsiyaning davom etish vaqtiga ion oqimining zichligiga bog'liq, u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

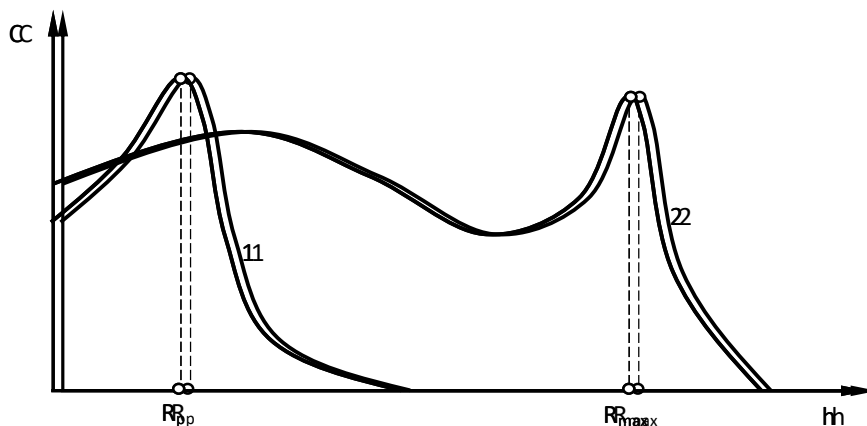
$$D = \frac{j t}{Z_{ii} e} \quad (4.15)$$

bu erda j -ion oqimining zichligi; Z_{ii} –atomning ionlashish darajasi; e -electron zaryadi; t - nurlanish vaqti.

(4.14) dan maksimum yoyiluvchanlikni aniqlaymiz:

$$N_{\max}(h) = \frac{D}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_p} \quad (4.16)$$

Implantatsiyalangan elementlarning yoyiluvchanlik konsentratsiyasi material strukturasi va kristall tuzilishdagi nuqsonlar zichligiga bog'liq. 4.17-rasmda turli xil kristall strukturalar uchun yoyilish egri chiziqlari keltirilgan. Kristall panjarada doimo atomlar mavjud bo'lmagan yo'nalishlar bo'ladi, bunday kanallar yuqori ion o'tkazuvchan bo'ladi. Bu kanallar bo'ylab ionlarning tarqalishi va tormozlanishi uncha muhim emas, shu sababli implantatsiyalangan elementlar qattiq jismga proeksion o'tilgan masofadan ko'proq chuqurlikka kirishi mumkin.



4.17- rasm. Implantatsiyalangan elementlarning yoyiluvchanlik konsentratsiyasi: 1- amorf va polikristall materiallar uchun; 2- monokristall uchun

Ionning matritsa kristall panjarasiga singishida u o'zining energiyasini matritsa atomlari bilan bo'lgan elastik to'qnashuvlar va shuningdek elektronlar bilan ta'sirlashuv hisobiga yo'qotadi. Ionlarning matritsa atomlari bilan to'qnashish jarayonida ularning dastlabki energiyasi ortadi, hatto bu atomni kristall panjaradagi o'rnidan siljitish etadi. Dastlabki urilgan atom etarli darajada yuqori energiyaga ega bir necha kiloelektron-volt ega atom butun bir urilishlar ketma-ketligini boshlashi mumkin, bu esa matritsaning katta miqdordagi atomlarning siljishi demakdir. har bir urilgan atom mustaqil to'qnashuvlar ketma-ketligiga sabab bo'ladi. har bir to'qnashuv natijasida atom siljiydi va bu siljishdagi ketma-ketlik siljigan atomning energiyasi undan keying atomni siljitish uchun etarli bo'lgunga qadar davom etadi. Kaskadning uriluvchi fazasi 10-13 s vaqt tartibida o'sib boradi, bunda matritsada vakansiya va tugunlar orasidagi atomlar kabi kristall tuzilish nuqsonlari hosil bo'ladi.

Kaskadga sarflangan atomlar energiyasi bir necha electron-voltga kamaygandan keyin ya'ni siljishning dastlabki energiyasidan ham pasaygandan keyin nuqsonlar hosil bo'lishi to'xtaydi. Yuqori zichlikdagi nuqsonlar hosil bo'lishi natijasida kaskad hududida atomlarning barqaror bo'lmagan konfiguratsiyasi hosil bo'ladi. Tugunlar orasidagi atomlarning ko'pchiligi vakansiyalar yaqinida qayta kombinatsiyalangan hajm chegarasida joylashadi. Frenkel juftining bunday joylashuvi kristall tuzilishdagi nol o'lchamli nuqsonlar zichligini biroz pasaytiradigan o'z-o'zidan qayta kombinatsiyalanishga sabab bo'ladi. O'z-o'zidan qayta kombinatsiyalanish davri 10-12 s ni tashkil etadi.

Kristall tuzilishdagi nol o'chamli nuqsonlarning zichligi hatto o'z-o'zidan qayta kristallanishdan keyin ham etarlicha darajada yuqori bo'lib qoladi, shu sababli hosil bo'ladigan struktura notekisligi bilan harakterlanadi va kimyoviy potentsialning yuqori gradientlariga ega bo'ladi. Frenkel juftining o'z-o'zidan qayta kombinatsiyalashuvi va notekis holatning elastik energiyasi taralishi natijasida yuqori gradientli haroratli issiqlik maydoni hosil bo'ladi. Kimyoviy potentsial va haroratning gradientlari matritsa va aralashmalar atomlarining diffusion oqimiga sabab bo'ladi, ularning chuqurlik bo'ylab notekis tarqalishiga sabab bo'ladi. Dastlabki urilayotgan ionlarning yuqori energiyasida ular yuza qatlamda legirlangan struktura hosil qiladi. Aralashmalar va ionlarni bombardirovka qilishdan hosil bo'lgan legirlovchi elementlar birgalikda kristall tuzilishdagi nol o'lchamli nuqsonlarning yuqori konsentratsiyasi va qoldiq mikro kuchlanishlarning yuqori gradientlari fonida ionli implantatsiya bilan hosil qilingan yuza strukturasi xossalarini belgilab beradi. Ion implantatsiya yordamida matritsa elementlari va ion oqim elementlari asosida yangi buyumlarni sintez qilish mumkin.

Ionlar metall matritsaga singishida modifikatsiyalanayotgan materialning yuza osti qatlamidan atomlar uchib chiqadi. Bu jarayon ion-induksion purkash deb ataladi va bu yuza bo'ylab implantatsiyalanayotgan atomlar sonining cheksiz o'smasligiga sabab bo'ladi, ma'lum bit holatlarda to'yinish rejimi sodir bo'ladi, bu esa legirlovchi elementlarning maksimal konsentratsiyasini belgilab beradi.

Ion implantatsiyasida ionlarning singishidan tashqari yuza qatlamning chuqurligi bo'ylab puxtalanish jarayoni va o'ta chuqurlikda implantatsiyalangan ionning paydo bo'lishi sodir bo'ladi.

Ionli implantatsiya natijasida yuza qatlamning kimyoviy tarkibi o'zgaradi, aralashma zarrachalari ishlov berilayotgan yuzaga singadi, kristall tuzilishda nuqsonlar hosil bo'ladi, bu esa yuzaning mikroqattiqdigi va g'adir-budurligini oshiradi, ichki siquvchi kuchlanish hosil bo'ladi. Sanab o'tilgan hamma faktorlar yuza bo'ylab implantatsiya qilingan elementning tarqalishi 3.1-rasmda keltirilgan konsentratsion profildan farq qilishiga olib boradi. Nurlanish miqdori oshib borishi bilan maksimum konsentratsiya zagotovka yuzasida hosil bo'ladi.

Ion bilan bombardirovka qilish materialning qizishiga sabab bo'ladi. Qizish tempertaturasi ion tokining zichligiga, ionlar energiyasiga va nishon materialining teplofizik xarakteristikalariga bog'liq bo'ladi. Implantatsiya jarayonidagi maksimal ravon haroratni quyidagi formula bo'yicha aniqlash mumkin:

$$T_{\max} = \sqrt[4]{\frac{Uj}{3\varepsilon\sigma} + T_0^4} \quad (4.17)$$

bu erda T_0 -namunaning dastlabki harorati, K; U-tezlatuvchi kuchlanish; j- ion tokining zichligi; ε -yuzaning nur taratish qobiliyati; $\sigma = 5,57032 \cdot 10^{-8} \text{ Vt} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-4}$ – Stefan-Bolsman koeffitsienti.

$U = 30 \text{ kV}$ va $j = 100 \text{ mA/sm}^2$ Ko'pgina holatlarda ionli implantatsiya vakansiyali mikrog'ovakliklar yoki gaz pufaklari hosil bo'lishi sababli materialning kengayishiga sabab bo'ladi, bu esa asosan inert gazlarning ionlarini implantatsiya qilishda kuzatiladi. Ionli legirlashning asosiy afzalligi bu metastabil faza olish va o'ta to'yingan qattiq eritmali tarkib olish imkoniyatini o'z ichiga oladi, bunday natijani boshqa yuzaga ishlov berish metodi orqali olib bo'lmaydi.

4.5.1. Implantatsiya rejimlarini implantatsiyalanuvchi aralashmalarning tarqalishiga ta'siri

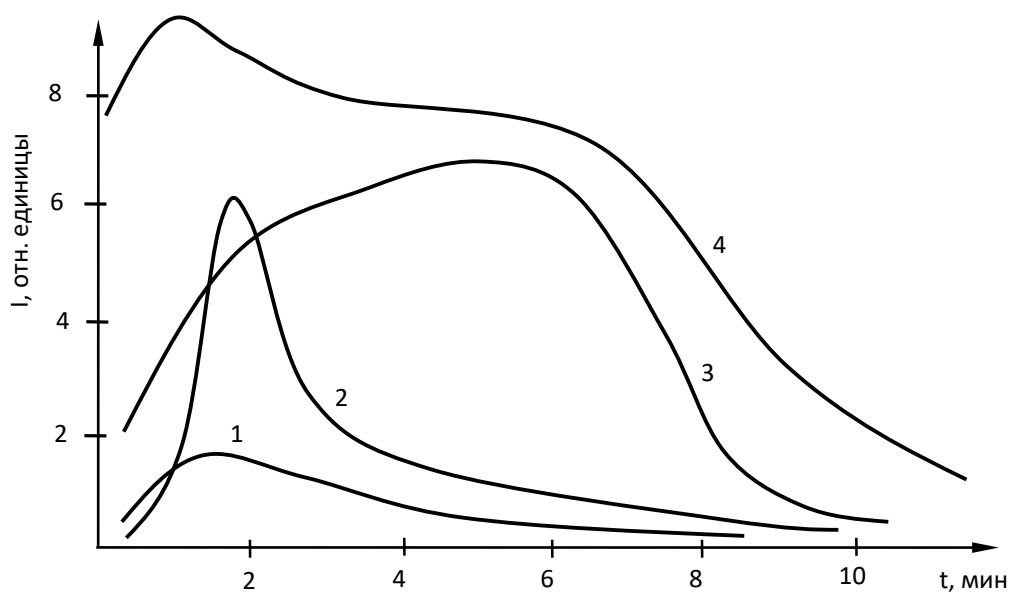
Implantatsiya rejimlari deganda ishchi kameradagi bosim, nurlanish energiyasi va dozasi, chuqurligi va implantatsiyalanuvchi aralashmalarning tarqalish xarakteri tushuniladi. Implantatsiya dozasi kimyoviy reaksiyalarning o'tishini va olinadigan mehanik xossalarini (qattqlik va davriy mustahkamlik) belgilab beradi.

Ishchi kameradagi bosim kamayishi bilan implantatsiya samaradorligi oshadi. Bu qoldiq gazning bosimi pasayishi bilan ionlarning neytrallashuvi ehtimoli va ularning qoldiq gaz molekulari bilan tezlashtiruvchi bo'shliqda to'qnashuvi bilan tushuntiriladi. Natijada ionlar asosga katta energiya bilan uriladi va katta chuqurlikka implantatsiyalanadi. Kichik energiyali ionlar va neytral atomlarning material bilan ta'sirlashuvda yuzaning qoplanishi yoki oson ko'chadigan qoplama hosil bo'ladi.

4.18-rasmda TiB_2 (nishon) va N (ishchi gaz) larning P6M5 po'latida ishchi gazning turli bosimlarida implantatsiyalanishi natijasida chuqurlik bo'ylab implantatsiyalangan Ti ionlarining tarqalish bog'liqligi keltirilgan. Ionlarning energiyasi $e = 50 \text{ keV}$ va dozasi $F = 5 \cdot 10^{17} \text{ ion/sm}^2$ butun tajriba davomida o'zgarmas qoldi. t vaqt bu

o'rganilayotgan yuzani Ar ionlari bilan bombardirovka qilish davomiyligini ko'rsatadi, bu bombardirovka material yuzasidagi ayrim qatlamlarni ko'chiradi, shu sababli t vaqt yuza qatlamning chuqurligini aks ettiradi.

Olingan bog'lanishlardan shu ma'lum bo'ladiki, kameradagi bosim kamayishi bilan aralashmalarning implantatsiyalanish chuqurligi va konsentratsiyasi ortadi. Shu sababli implantatsiya jarayonini iloji boricha past bosimlarda o'tkazish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bunda cheklanishlar esa ion manbaining barqaror ishlashi hisoblanadi, kichik bosimlarda nishonni bug'lanishini ta'minlovchi yoyli razryad hosil bo'lmaydi. Bundan tashqari kameradagi qoldiq gazning kichik bosimlarida diffuzion jarayonlari tezlashtiruvchi va implantatsiya chuqurligini oshiruvchi yuqori ion tokini olish imkoniyati mavjud emas. Asbobsozlik po'latlarini samarali puxtalash uchun qoldiq gazning zarur bo'lgan bosimi 20 MPa ni tashkil etadi.

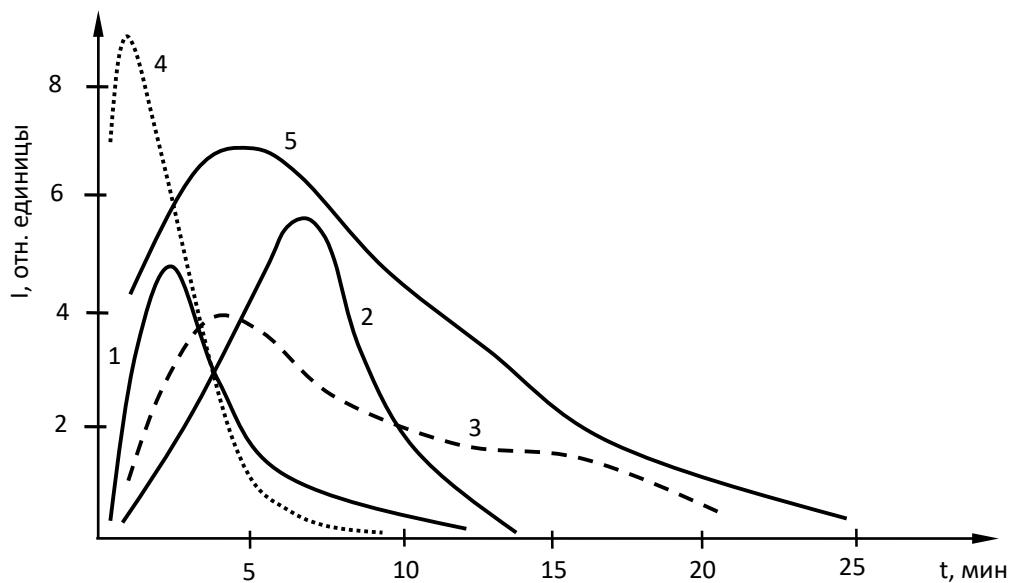


4.18-rasm. R6M5 po'latida implantatsiyalangan Ti ionlarining chuqurlik bo'yicha tarqalishiga kamera bosimining ta'siri: 1- $p=40$ MPa; 2- $p=27$ MPa; 3- $p=13$ MPa; 4- $p=10,5$ MPa.

Implantatsiyalanuvchi ionlarning energiyasi implantatsiya chuqurligini va implantatsiyalanuvchi aralashmalar konsentratsiyasining o'zgarish harakterini ham belgilab beradi. Ko'pgina materiallar uchun implantatsiya energiyasining pastki chegarasi 10 keV dan kam bo'lmaydi, bundan pastda esa namuna yuzasining to'zg'atilishi yoki ion materiallaridan iborat qoplama hosil bo'lishi sodir bo'ladi.

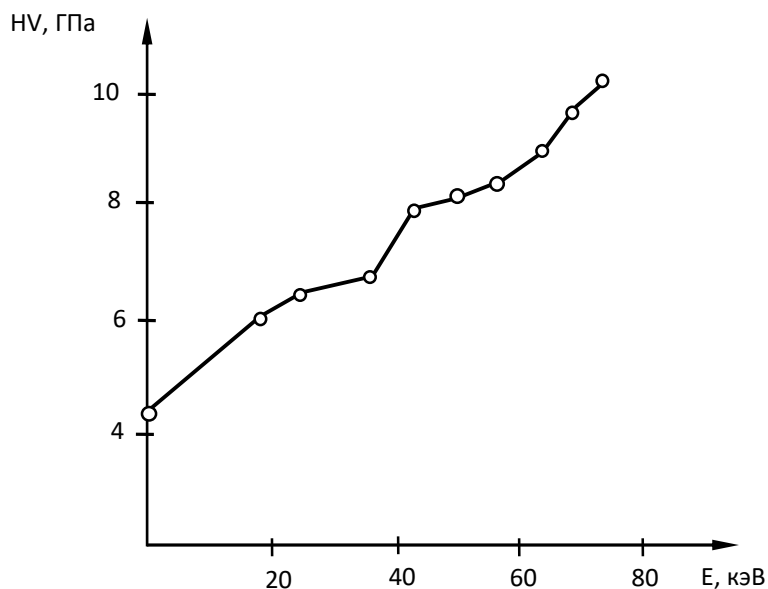
Ionlarning yuqori energiyasi texnologik faktorlar bilan chegaralangan. Bir tomondan implantatsiya chuqurligi uriluvchi ionlarning energiyasiga proporsional bo'ladi, shu sababli o'ta yuqori voltli manbaga ega bo'ladi, boshqa tomondan kuchlanish 30 kV dan yuqori bo'lganda roentgen nurlanish hosil bo'ladi, va radiatsion xavfsizlik bo'yicha qo'shimcha savollar paydo bo'ladi.

4.19-rasmda R6M5 po'latidan tayyorlangan namunalarda titanning tarqalishi keltirilgan, bunda namunalar $F=5 \cdot 10^{17}$ ion/sm² doimiy dozada ionli implantatsiya qilinadi, lekin turli xil kuchlanishlarda.



4.19-rasm. Implantatsiya energiyasining Ti ionlarining R6M5 po'latida tarqalishiga ta'siri: 1- $E= 20$ keV; 2- $E= 30$ keV; 3- $E=40$ keV; 4- $E= 50$ keV; 5- $E= 60$ keV

Keltirilgan bog'lanishlardan shu ma'lum bo'ladiki, implantatsiya energiyasi ortishi bilan yuzadagi aralashmalarning konsentratsiyasi ham ortadi, lekin ularning biroz pasayishi tajriba qurilmasining konstruksiyasi bilan tushuntiriladi. Implantatsiyalanadigan yuzaga ionlar bilan bombardirovka qilishning konsentratsion egri chiziqlari nosimmetrik bo'ladi.



4.20-rasm. Implantatsiya energiyasining titan implantatsiyasi bilan puxtalangan A11R3M3F2 po'lati yuzasining mikroqattiqligiga ta'siri, bunda implantatsiya dozasi $F= 5 \cdot 10^{17}$ ion/sm²

Implantatsiya energiyasi ortishi bilan yuzaning mikroqattiqligi ortadi. Misol sifatida 4.20-rasmda titan implantatsiyasi bilan puxtalangan A11R3M3F2 po'lati yuzasining mikroqattiqligi keltirilgan.

Implantatsiya dozasi puxtalangan yuza qatlamning tarkibi, strukturasi va xossalriga ionlar energiyasiga qaraganda kuchliroq ta'sir qiladi. Implantatsiyaning kichik dozalari yangi bo'g'lanishlar sintezini ta'minlab berolmaydi, implantatsiyalanuvchi yuza qatlamning o'ta to'yinishi yuzaning buzilishiga sabab bo'ladi, bunga radiatsion zararlar ortib ketishi sabab bo'ladi. Ko'pincha quyida ko'rsatiladigan qonuniyat kuzatiladi. Implantatsiya dozasi ortishi bilan chuqurlik bo'ylab aralashma ionlarining hosil bo'lishi ortadi, mikroqattiqlik hatto maksimumdan ham ortishi mumkin. Implantatsiyaning optimal dozasi ion turiga, puxtalanuvchi materialning tarkibiga, yangi kimyoviy bog'lanish hosil bo'lishi ehtimoliga va ionning hosil bo'ladigan optimal chuqurligiga ko'ra aniqlanadi.

4.5.2. Ionli implantatsiya qurilmasi

Ionli implantatsiya mahsus ion-nurli qurilmalarda o'tkaziladi. Qo'llanilish maqsadiga ko'ra ular laboratoriya va ishlab chiqarish turlariga bo'linadi. Bunday

qurilmalarga qo'yiladigan talablar turli xil bo'ladi. Ilmiy izlanish olib borayotganda ishchi jismning qismini almashtirish, ionlar energiyasini o'zgaritirish va alohida uzellarni zamonaviyroq bo'lganlariga almashtirish zaruriyati tug'iladi. Qurilmalardan seriyalab ishlab chiqarishda foydalanganda qat'iy belgilangan ishchi rejimlarga rioya qilinadi va qurilma yuqori unumdorlikka ega bo'lishi va ishonchli ishlashi kerak.

Qurilmalarga qo'yiladigan muhim talablar quyida keltirilgan:

- Turli xil elementlarning ionlari bilan ishlash imkoniyati;
- Ionlar to'plamining yuqori darajadagi bir jinsliligi va uning barqarorligi;
- 2 dan 500 keV energiya diapazonlarida ionlar tezlashuvini ta'minlash;
- Dozani aniq boshqarish va ishlov berish davomida uning doimiy o'zgarmas bo'lishini ta'minlash, va shuningdek bir jinsliligini va ta'sirlashuv maydonini;
- Nishon va nurning aniq orientlanishi va legirlash burchaginin o'zgartirish imkoniyati;
- Nishon haroratini boshqarish va uni kerakli darajada ushlab turish;
- Qurilma kamerasida o'ta yuqori bosimni hosil qilishni ta'minlash, bunda qoldiq gaz muhiti implantatsiya natijasiga ta'sir qilishi mumkin;
- Qurilmani konstruksiyalash va yig'ishning model prinsipiga egaligi, bu esa uncha katta bo'lmagan qiyinchilik bilan alohida uzellarni almashtirish va takomillashtirishga imkon beradi.

har qanday tipdagi qurilma quyidagi asosiy uzellardan iborat bo'ladi: ion manbai, mass-separator, tezlatuvchi bo'lim, skanerlovchi qurilma, qabul qiluvchi kamera va vacuum sistemaga ega bo'ladi. Bu uzellar shunday joylashtirilgan-ki qurilmadan gorizontaal yoki vertikal foydalanish mumkin bo'lsin. hozirgi kunda 10 tadan ortiq xorijiy ionli implantatsiya (implanterlar) qurilmalari mavjud. Bunday xorijiy qurilmalar 3 ta tipga bo'linadi: ILU, <<Vezuviy>> va <<Iolla>>.

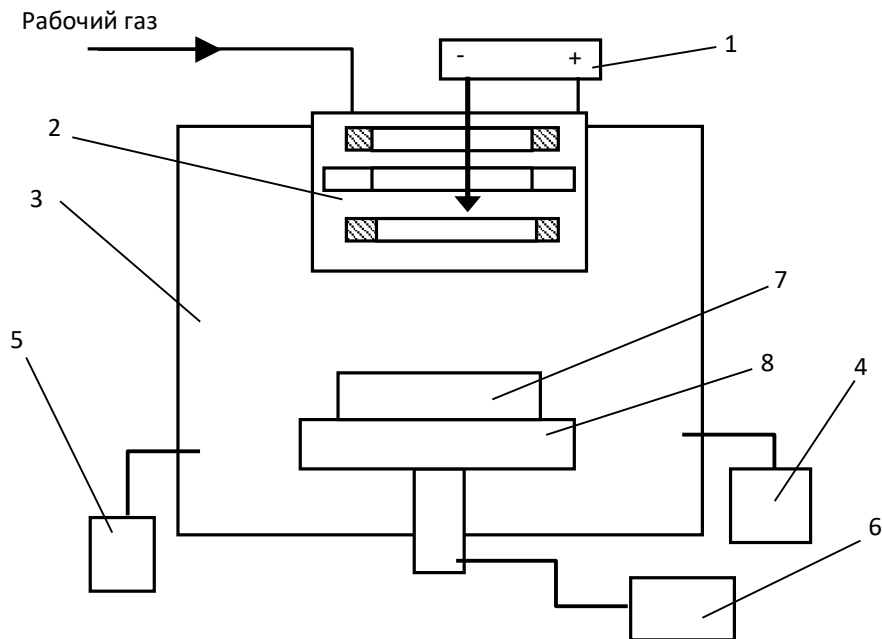
ILU tipidagi qurilma elektromagnit mass-seperatorli hisoblanadi va tezlashtirilgan ionlarni qattiq jism bilan ta'sirlashuv jarayonini eksperimental o'rganish uchun foydalaniladi. Bu qurilmalar ionlar oqimining yuqori tokga ega ekanligi bilan ajralib turadi. Ularning orasida ILU-4 eng yirigi hisoblanadi, uning og'irligi deyarli 10,0 t ni, quvvati esa 45 kVt tashkil etadi va uni joylashuvi uchun 57 m² maydon talab qilinadi.

<<Vizuviy-1>> tipidagi universal qurilma bor va fosfor bilan legirlash uchun mo'ljallangan. Bu qurilmada ionlarni tezlatuvchi trubkada 200 keV energiyagacha bir pog'onali tezlatish prinsipidan foydalaniladi. Razryadli kamerada elektronlar oqimi kamera va ajraluvchi electron orasidagi elektr maydon yordamida emissiya teshigi orqali ajralib chiqadi. Keyin esa elektron oqim fokusirovka uchun bitta elektrostatik linza vazifasini bajaradi. Qurilmada sector tipidagi elektromagnit separator mavjud bo'lib, u ionlarni massa soni bo'yicha 1 dan 120 a.e.m. gacha ajratishga imkon beradi. Fosfor ionlarining maksimal toki 200 mkA, bor uchun esa 20 mkA ni tashkil etadi. Qurilmaning og'irligi 9,5 t, quvvati esa – 55 kVt, uni joylashishi uchun zarur bo'lgan maydon 37 m² ni tashkil etadi.

Uchinchi turdagi <<Iolla>> qurilmasi kichik gabaritli ekanligi bilan ajralib turadi. Bunday qurilmalardan laboratoriya sharoitlarida va seriyalab ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. <<Iolla-2>> qurilmasida bitta zaryadli ionlarning energiyasini 20 dan 80 keV gacha o'zgartirish mumkin. Ionlarning massasi 80 a.e.m. gacha bo'lgan guruhga ajralishi doimiy magnit maydonda sodir bo'ladi, kamera ichidagi vacuum 10⁻⁴ Pa ni tashkil etadi.

Yuqorida sanab o'tilgan sanoat ion implantatsiya qurilmalaridan tashqari mahsus qurilmalardan foydalaniladi, ulardan faqat ma'lum bir detallarga ishlov berishda foydalaniladi. 4.21-rasmda Mikrokriogen texnikasida keng qo'llaniladigan metallopolimer materiallarni ionli implantatsiya qilish uchun mo'ljallangan UIN-1 mahsus qurilmasining sxemasi keltirilgan. UIN-1 qurilmasi konstruksion va ishlash prinsipi jihatidan boshqa odatiy sanoat qurilmalaridan farq qilmaydi, uni farqli tomoni uning o'lchamlari va ishlov beriladigan detalning qaysiki mikrokriogen texnikada ishlatiladigan konstruksion o'ziga xosligi bilan bog'liq. Bu qurilmaning asosiy uzellari bu ionlarning plazmali manbai 2 va ionli implantatsiya kamerasi 3 hisoblanadi.

Ionlarning plazmali manbaida almashtirsa bo'ladigan nishon joylashgan bo'lib, u detal materialiga implantatsiyalanadigan kimyoviy tarkibning ionlar manbai hisoblanadi. Ionlar manbai umumiy korpusga o'rnatilgan katod va anod orqali ta'minlanadi. Gazlar plazmasini olish uchun ionlar manbaiga gaz bo'shlig'i ulanadi.



4.21-rasm. Ionli implantatsiya uchun mo'ljallangan UIN-1 qurilmasining sxemasi: 1- ta'minot bloke; 2- fokusirovka sistemasiga ega ionlar manbai; 3- vacuum kamera; 4, 5- vakuumni ta'minlovchi sistema; 6- ta'minot bloke; 7- detal; 8- stol.

Qurilmani ishga tushirishdan oldin unda vakuum hosil qilinadi, keyin esa vacuum nasosda ishchi gaz kiritiladi va 10^{-2} Pa bosimdagi gazning dinamik barqarorligiga erishiladi. Keyin esa katod va anod potentsiallar farqini yuzaga keltiruvchi ta'minot manbai yoqiladi, bunda elektr razryad hosil bo'ladi. Razryad gazning elektronlar va ionlar hosil bo'lishi bilan ionlashuviga sabab bo'ladi. Qo'shimcha ravishda elektr maydon bilan tezlashtirilgan zarrachalar kiruvchi gazni ionlaydi, ya'ni uni plazmaga aylantiradi. Gaz plazmasi tezlashadi va nishon tomonga yo'naladi. Stol 8 va nishon o'rtasidagi yuqori kuchlanishli manbani 6 ni qo'shganda tezlatuvchi elektr maydon hosil bo'ladi. Natijada nishonda ionlar oqimi hosil bo'ladi, va keyin esa detal yuzasiga ionli implantatsiya jarayoni boshlanadi.

4.5.3. Ionli implantatsiya yordamida o'zgartirilgan yuzaning fizik-kimyoviy va mexanik xossalari

Ionli implantatsiya yuza xossalari ajoyib ravishda boshqarish usulini namoyish qiladi, shu sababli undan korroziyabardoshlikni, eyilishgabardoshlikni va qattiqlikni

o'shiruvchi metod sifatida foydalaniladi. Shuni qayd qilish kerak-ki ionli implantatsiyadan asosan tayyor detallarga ishlov berishda foydalaniladi va hech qanday qo'shimcha tugallovchi ishlov berishni talab qilmaydi.

Korroziya bu material yuzasining buzilish effekti hisoblanadi. Antikorrozion elementlarning ionlari (Ni^+ , Cd^+ , Al^+ , Hb^+ , Cu^+ , Pb , As , Sb va boshqalar) yuzadagi elektrokimyoviy jarayonlarni kamaytirishga imkon beradi. Metall ionlari bilan birgalikda noyob gazlarning (He , Ar , Ne va boshqalar) ionlari ham qo'llaniladi. Legirlovchi elementlarning ionlari sifatida esa platina guruhidagi elementlar (Pt , Pd , Ru , Re) qo'llaniladi, bu elementlar esa konstruksion po'lat va qotishmalarning passivlashuvchanligini va korroziyabardoshligini oshiradi. Palladiy bilan implantatsiya qilingan titanning korroziyabardoshligi 104 barobar oshadi. Yuzani ionli implantatsiya orqali legirlash asosan korrozion darz ketishni kamaytirish maqsadida qo'llaniladi, bunda yuzada qotishmalar va birikmalar hosil bo'ladi, ular esa o'zlarini elektrokimyoviy bog'lanishda xuddi metallurgik usulda olingan qotishmalar kabi tutadi. Shuningdek yuzani ionli implantatsiya usuli bilan legirlash qimmat turadigan metallarni tejashga imkon beradi. Ionli implantatsiya metodi Fe-Ta sistemasidagi noodatiy qotishmalarni sintez qilishga imkon beradi. Bu esa po'latlarning korroziyabardoshligini temirning amorflashishi hisobiga ortishiga imkon beradi.

Yuzada korrozion muhitda sodir bo'ladigan elektrokimyoviy jarayonlarning kinetikasiga kimyoviy aktiv elementlarning singishi va implantatsiya jarayonida ishlab chiqariladigan radiatsion nuqsonlarning hosil bo'lishi ta'sir qiladi. Ionli bombardirovka hisobiga struktura puxtaligining yo'qolishi ancha sifatli bo'lgan qoplama hosil bo'lishini engillashtiradi. Shu bilan birga korroziyabardoshlikka radiatsion ta'sirlashuv natijasida hosil bo'ladigan mayda donali fazalar kristall panjarasining buzilishi ham ta'sir qiladi. Ma'lumki, siquvchi kuchlanish korrozion buzilishga bo'lgan qarshilikni oshiradi, cho'zuvchi kuchlanishlar esa po'latlarning bunday turdagi korroziyaga ta'sirchanligini oshiradi.

Metall va qotishmalarning korroziyasi yuzadagi to'g'ridan-to'g'ri kimyoviy ta'sirlashuvlar yoki donalar chegaralari bo'ylab diffuziya orqali sodir bo'ladi. Ionli bombardirovka natijasida kristallar o'lchamining va ularning yo'nalishining o'zgarishi korroziya jarayonining kinetikasiga jiddiy ta'sir qiladi. Og'ir ionlar bilan katta dozali

nulantirishda yuza qatlamning amorflashuv jarayoni qotishmaning passivlashuviga samarali ta'sir qilishini qayd etish joiz.

Nurlanishning katta dozalarida amorf qatlamlar hosil bo'ladi. Bu jarayonni yanada aniqroq ko'rib chiqamiz. Implantatsiyalanuvchi ionlarning massasi va haroratiga bog'liq bo'lgan nurlanish dozasi ortishi bilan tartibsiz joylashgan alohida zonalar ortib ketadi va ma'lum qalinlikdagi amorf qatlam hosil bo'ladi, bu qatlamda panjaraning uzoq tartibi bo'lmaydi. Kristall tuzilishdagi nuqsonlar zichligi ionning atom raqami, harorati, energiyasi, dozasi va kanallashuv effektiga bog'liq. Past haroratlarda (125 °K gacha) amorf strukturaning hosil bo'lish xarakteri implantatsiyalanuvchi ionlarning massasiga bog'liq emas. Implantatsiya qilinayotgan ionlar tokining katta zichliklarida nishon material qizdiriladi, bu esa amorfizatsiya dozasini oshiradi.

Amorf qatlamning hosil bo'lishining xarakterli belgisi bu nishon rangining o'zgarishi hisoblanadi. Bu asosan yarim o'tkazgich yuzasida seziladi. Kremniy nur taratadi, galliy esa qorayadi. Amorf faza o'zini namoyish qilishi mumkin, qachonki sovuq namunani nam atmosferaga qo'yganda, bunda suv parlari namunaning nurlangan yuzasiga kondensatsiyalanadi. Bu amorf strukturaning ancha yuqori issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti bilan xarakterlanadi va ionli implantatsiya bilan puxtalangan yuza strukturasi bir jinslilik darajasini baholashning bilvosita usuli hisoblanadi.

Ionli implantatsiya jarayonida hosil bo'ladigan kristall tuzilishdagi murakkab radiatsion nuqsonlar mikroqattqlikka katta ta'sir qiladi. Radiatsion nuqsonlar va aralashmalarning atomlarining ta'sirlashuvi mikroqattqlikka uncha katta ta'sir qilmaydi. Inert gazlarning atomlari bilan implantatsiya qilinganda ancha yuqori mikroqattqlik kuzatiladi, po'latlarning mikroqattqligi esa to'yinish dozasi bog'liq bo'ladi.

Mikroqattqligi o'zgargan qatlam chuqurligi 3 ta tartibda bo'ladi va ionlarning o'tgan masofasini oshiradi. Bunday effekt termodiffuziya va kimyoviy potentsiallarning yuqori gradientli maydonlaridagi diffuziyasi qonuniyatiga ko'ra sodir bo'ladigan bombardirovka jarayonida implantatsiyalangan atomlarning radiatsion-kuchaytirilgan diffuziyasi bilan belgilanadi.

Azotning katta dozasi bilan nurlantirishda mikroqattqlikning ortishi metallarning nitridlari hosil bo'lishi bilan tushuntiriladi. Xuddi shunday holat po'latga bor va uglerod ionlarini implantatsiya qilinganda kuzatiladi, bunda ular kristall panjaraning tugunlari orasiga joylashadi.

Ishqalanish koeffitsientini yuqori energiyali ionlarni (In^+ , Cu^+ , Mo^+ , Pb^+ , Mo^+ , C^+) va boshqa elementlarning ionlarini yuzaga 880...900 keV energiyada implantatsiya qilish orqali kamaytirish mumkin. Buning natijasida yuza qatlamida yuqori antifriksion xossalarga ega bo'lgan kimyoviy birikma hosil bo'ladi. Ar^+ va N^+ ionlarining singishida ishqalanish koeffitsienti kamayadi, bu esa antifriksion kimyoviy birikmalar hosil bo'lishi bilan bog'liq emas. Bunda kristall tuzilishdagi radiatsion buzilishlarning ortishi yuzani oksidlanishi va oksid qoplamalar hosil bo'lishiga sabab bo'luvchi aktiv markazlar hosil qiladi.

Po'lat va qotishmalarning eyilishgabardoshligini oshirish uchun engil (B^+ , C^+ , H^+) va og'ir (Tl^+ , Ar^+ , Mo^+ , W^+ , Cd^+) ionlardan foydalaniladi. Ionli implantatsiya metodi orqali eyilishgabardoshlikni 1,5 ... 20,0 barobar oshirish mumkin.

Zanglamas po'atlarni titan ionlari bilan implantatsiya qilganda ularning eyilishgabardoshligi shu tartibda ortadi. Po'latlarga engil ionlarni singdirish eyilishgabardoshlikni aralashmalar atomlari (karbidlar, nitridlar, boridlar) bilan birikmalar hosil qilish hisobiga oshirish imkonini beradi. Yana shuningdek eyilishgabardoshlikning ortishi radiatsion nuqsonlar, struktura o'zgarishlari, metastabil amorf fazalarning hosil bo'lishi va shu kabilar natijasida hosil bo'ladigan ichki kuchlanishlarning ortishi bilan tushuntiriladi.

C^+ , N^+ va Cu^+ ionlari bilan implantatsiya qilishda ikkilamchi fazalar hosil bo'lish hisobiga toliqish mustahkamligi ortishi kuzatiladi.

Titan qotishmalarini kremniy va argon ionlari bilan implantatsiya qilishda uning mikroqattqligi va toliqish mustahkamligi ortadi. Ion tokining zichligi ortishi bilan $j=10$ mA/sm² mikroqattqlik maksimumga etadi, keyin esa bir tekis pasayadi, bunda uning mikroqattqligi ortgan miqdorining 20 % dan pastga tushmaydi. Mikroqattqlik va chidamlilikning ortishi radiatsion nuqsonlarning ortishi bilan tushuntiriladi, bunda ular dislokatsiyalarni to'suvchi energetik to'siq vazifasini bajaradi, va shuningdek bu xossalar kremniyning titan bilan hosil qiladigan birikmasi hisobiga ham ortadi.

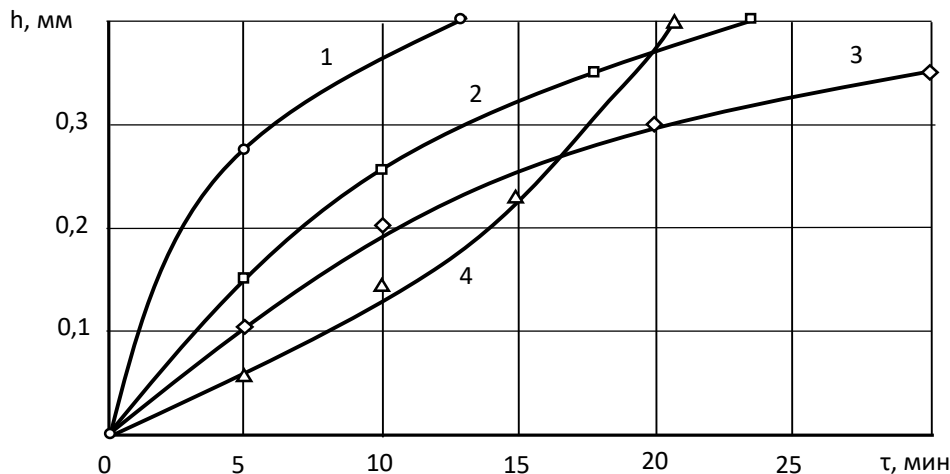
Kremniy va argon ionlari bilan qoplanish jarayoni sababli yuzga mikrorelefining silliqilanishi jarayoni materialning toliqish xossalariga ionli implantatsiyaning ijobiy ta'sirini ko'rsatadi.

4.5.4. Yuzaga ionli implantatsiya orqali ishlov berish texnologiyasi.

Ionli implantatsiya natijasida yuzada legirlangan qatlamning hosil bo'lishi yuqorida aytib o'tilganidek o'ta murakkab jarayon bo'lib, u o'z ichiga ko'p fizik-kimyoviy va strukturaviy mexanizmlarni oladi. Yuzada talab qilinadigan xossalarga bog'liq holda ionli implantatsiya texnologiyasini hosil bo'lish mexanizmini tarqalishi va yuzga strukturasi o'sishi bo'yicha quyidagi ko'rinishlarga ajratish mumkin:

- Legirlanish hisobiga yuzaning puxtalanishi va kristall tuzilishda yuqori zichlikdagi nuqsonlarning hosil bo'lishi;
- Implantatsiya qilingan kimyoviy element atomlarining singishi hisobiga yuzga gradientli strukturalarning hosil bo'lishi;
- Ion- kuchaytirilgan aralashish hisobiga modifikatsiyalangan yuzaning hosil bo'lishi;
- Oldindan qoplangan qatlamning diffuzion payvandlanishi hisobiga yupqa qatlamli qoplama hosil bo'lishi.

Ionli implantatsiya qattiqlikni oshiruvchi texnologiya sifatida yuzani plastic deformatsiyalash yoki boshqa usullar bilan yuzasini puxtalab bo'lmaydigan, uncha katta bo'lmagan ishchi yuzaga ega kesuvchi asboblarda va mashina detallarini puxtalash uchun qo'llaniladi. Kam uglerodli po'latlarni azot ionlari bilan implantatsiya qilishda puxtalangan qatlamning chuqurligi 35...70 mkm ga etishi mumkin. Puxtalangan qatlamning tuzilishi quyidagicha bo'ladi. Eng ustki qatlamning qalinligi 2...5 mkm ni tashkil etib, u γ^1 -faza (Fe_4N) va ϵ -faza (Ti_2N) dan iborat bo'ladi. Uning ostida diffuzion qatlam joylashadi. Diffuzion qatlamning strukturasi ham bir jinsli bo'lmaydi, uning ustki qatlamida azotli austenitning parchalanish qoldiqlari zonasi joylashadi, undan keyin esa nitrid ignalaridan iborat ferrit qatlami bo'ladi. Yuza qatlamning puxtalanish darajasi materialning kimyoviy tarkibiga bog'liq bo'ladi. Xrom miqdori ortishi bilan legirlangan po'latlarni qattiqligi azot bilan ionli implantatsiya qilishdan keyin ortadi.



4.22-расм. 12X18H10T po'latini yo'nishda R6M5 dan yasalgan keskichning eyilishi: 1- puxtalanishsiz; 2- Ti⁺; 3- W⁺; 4- MoC₂⁺

Bunday texnologiyadan legirlangan po'latlarni, qattiq qotishmalarni va o'ta yuqori qattqlikdagi materiallarni puxtalashda foydalaniladi. 4.22-rasmda ionli implantatsiyadan kesuvchi asboblarda foydalanishning samaradorligi keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, standard termik ishlov berishdan o'tgan R6M5 tezkesar po'lati yuqori qattqlik va eyilishgabardoshlikka ega bo'ladi.

Ionli implantatsiya orqali yuzani o'zgartirish texnologiyasi har qanday elementlarning qotishmalarini olish imkonini beradi. Yuza qatlami bo'ylab legirlovchi kimyoviy element konsentratsiyasining tarqalishi yuzada implantatsiyalangan atomlarning to'planishi orqali, keyin esa esa ularning diffuziya hisobiga yanada chuqurroqqa singishi hisobiga, kristall tuzilishdagi nuqtali nuqsonlarning hosil bo'lishi hisobiga kuchaytirilgan ionli bombardirovka qilish orqali sodir bo'ladi. Ion-kuchaytirilgan diffuziya koeffitsienti issiqlik diffuziyasi koeffitsientidan katta bo'ladi. Ionli bombardirovka natijasida hosil bo'lgan kristall tuzilishdagi radiatsion nuqsonlarning yuqori zichligi bilan implantatsiyalangan atomlarning konsentratsion profilini quyidagi diffuzion tenglik orqali nazariy hisoblash mumkin:

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} = D_a \frac{\partial C_a}{\partial X^2} + D_{ag} \frac{\partial C_g}{\partial X^2} + g_a(X) \quad (4.18)$$

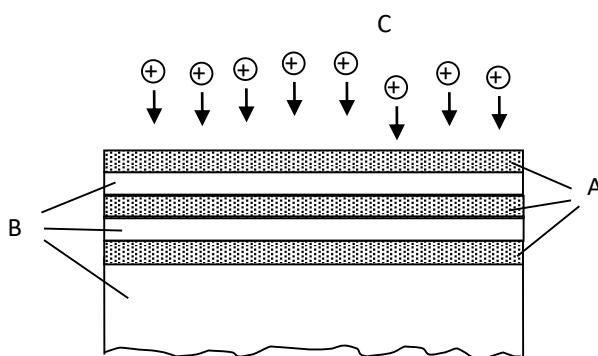
bu erda C_a-implantatsiyalanuvchi atomlarning konsentratsiyasi; C_r-radiatsion nuqsonlarning konsentratsiyasi; D_a-implantatsiyalangan atomlarning matritsaga diffuziyalanishi koeffitsienti; D_{ar}-radiatsion nuqsonlarni hisobga olgan holda singigan

atomlarning diffuziyasini belgilovchi diffuzion parameter; t -vaqt; X -masofa kordinatasi; $g_a(X)$ - matritsada legirlovchi atomlarning va kristall tuzilishdagi nuqsonlarning hosil bo'lishi tezligi.

Ionli implantatsiyada haroratning yuqori gradientlarga ko'tarilishi geterogen diffuziyaning ortishiga sabab bo'ladi. Natijada legirlovchi elementlarni matritsaning chuqur qatlamlaridan yuza qatlamiga to'planishi sodir bo'ladi. Po'latni titan bilan ionli implantatsiya qilish uning tarkibida uglerod konsentratsiyasini ortishiga sabab bo'ladi.

Legirlovchi elementlar atomlarini metall matritsaga ionli implantatsiya qilish usulida bir qancha kamchiliklar mavjud. Bunday usulda legirlovchi atomlarning belgilangan konsentratsiyasidan ortiq holda olish imkoniyatini bermaydi, bunda 30 % dan ortmaydi. Bu chegara nisbatan yuqori bo'lishi mumkin, agar ayrim texnologik vazifalar ko'riladigan bo'lsa, ko'pincha yarim o'tkazgich texnologiyalar vazifasi. Nurlantirilayotgan matritsada kimyoviy va strukturaviy holatni kuchli o'zgartirish muhim bo'lgan ionli implantatsiya metallurgiyasida legirlovchi atomlarning konsentratsiyasini keng chegaralarda o'zgartirish talab qilinadi. Bunga elementlarni ionli aralashtirish orqali erishish mumkin.

har qanday elementlarning metastabil qotishmalari va deyarli har qanday tarkibda olishga imkon beradigan metodlarning asosiy sxemasi 4.23-rasmda keltirilgan.



23-rasm. Tezlashtirilgan ionlardan foydalangan holda mestabil qotishma hosil qilish sxemasi.

Ishlov berilayotgan matritsa yuzasiga A va B materiallarning qoplamalari qatlam-qatlam qilib qoplanadi va C elementning ionlar oqimi bilan nurlantiriladi. A, B va C elementlar talab qilinadigan tarkibdagi qotishma olishga imkon beradigan holatga ko'ra va komponentlarning nisbatiga ko'ra tanlanadi. Alohida qatlamning qalinligi

10...20 nm dan oshmasligi kerak, umumiy qalinlik esa 100 nm dan oshmasligi kerak. Ionli aralashtirishning samaradorligi ionlar oqimining energiyasiga bog'liq bo'lib, uning chegaraviy qiymati 300 keV dan oshmasligi kerak.

Ionli-kuchaytirilgan aralashtirish texnologiyasi o'xshash diffuzion payvandlash orqali qoplangan yupqa qatlamli qoplama hosil bo'ladi. Bunday holatda bir nechta qatlamlar o'rniga bitta nisbatan qalin bo'lgan qalinligi 10 mkm gacha bo'lgan qatlam qoplanadi, bu qatlam esa ionli bombardirovkaga uchraydi. Qoplama va asos chegarasidagi ionli-kuchaytirilgan diffuziya nisbatan puxta oraliq qatlam hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

4.5.5. Ionli implantatsiya kesuvchi asbobning turg'unligini oshiruvchi metod sifatida

Ionli implantatsiya mashinasozlikda yuzaning eyilishgabardoshligini oshiruvchi metod sifatida keng qo'llaniladi. Ionlar tarkibi quyidagi shart-sharoitga ko'ra tanlanadi. B, C, N ionlarini implantatsiya qilish qattqlikni, eyilishgabardoshlikni, davriy mustahkamlikni oshiradi, bu esa matritsa materialining boridlari, karbidlari va nitridlari hosil bo'lishi bilan tushuntiriladi. TK gruppasidagi instrumental qattiq qotishmalarning mikroqattqligi va chidamliligining ortishi ularga Al va N ionlarini implantatsiya qilishda kuzatiladi.

Ionli implantatsiya uchun elementlar tanlashda hosil bo'lishi mumkin bo'lgan kimyoviy birikmalarni hisobga olish kerak. R6M5 po'latini titan va azot bilan ionli implantatsiya qilish tezkesar po'latning ishlash qobiliyatining yo'qolishiga sabab bo'ladi. Bu quyidagicha tushuntiriladi. Murakkab temir-voframli karbid tezkesar po'latning yuqori ekspluatatsion xossalarga ega bo'lishini ta'minlab beradi. Titan uglerodga qaraganda kuchli gabsizlantiruvchi hisoblanadi, shu sababli Ti va N ionlari bilan implantatsiya qilish natijasida tezkesar po'lat yuzasida quyidagi reaksiyalar ketadi:



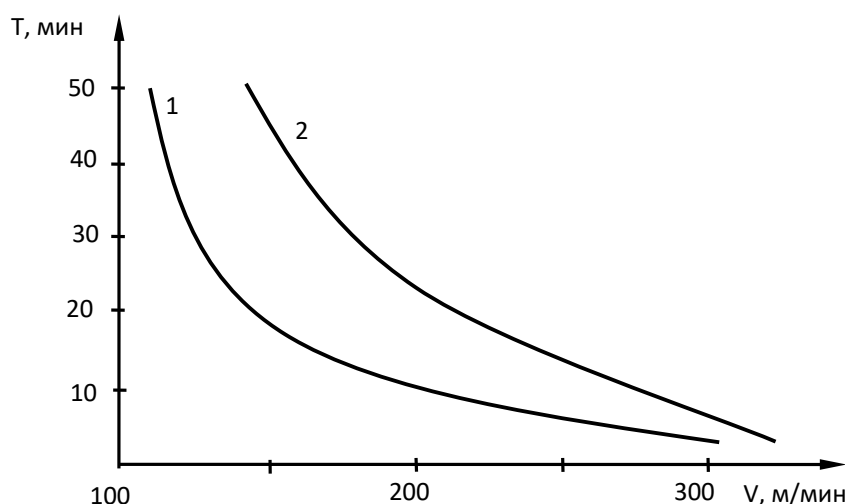
Titanning murakkab karbidlari va sianidlari hosil bo'lishi temir asosning mo'rtlashuviga va tezkesar po'latning kesish xossalarining pasayishiga sabab bo'ladi.

Puxtalashning samarali usuli bu titan diborid (TiB_2) va azot bilan implantatsiya qilish hisoblanadi. Puxtalangan yuza strukturasi o'sishi yangi kimyoviy birikmalarning sintezlashuvi bilan birga sodir bo'ladi, bor karbidi va nitridi hosil bo'lish reaksiyasi quyidagicha:



Olingan birikmalar yuqori qattqlik, eyilishgabardoshlik, issiqqa chidamlilik va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi, bu esa implantatsiyalangan asbobga yuqori kesish xossalarini beradi. Keltirilgan birikmalardan tashqari volfram va kobaltning boridlari hosil bo'lishi mumkin, ular esa yuqori issiqqabardoshlikka va bu elementlarning karbidlari va nitridlari bilan taqqoslaganda yuqori qattqlikka ega bo'ladi.

Ionli implantatsiyalangan kesuvchi asbobning yuza strukturasi ishqalanishning kichik koeffitsienti bilan farq qiladi. Bu esa kesish kuchini va haroratini pasaytiradi, va natijada buyumning ishlov berilgan yuzasi g'adir-budurligi kamayadi. Bularning hammasi kesuvchi asbobning turg'unligini ta'minlaydi. Turg'unlik deganda asbobning ruhsat etilgan eyilish qiymatigacha ishlash vaqti tushuniladi. 9.8-rasmda turli ionlar bilan implantatsiya qilingan T15K6 dan tayyorlangan tokarlik keskichlari bilan ShX15SG po'latini yo'nishdagi ularning turg'unliklari bog'liqligi keltirilgan.



4.24-rasm. ShX15SG po'latini yo'nishda T15K6 dan tayyorlangan keskichning turg'unligining kesish tezligiga bog'liqligi: 1- implantatsiya qilinmagan keskichlar; 2- Al va N ionlari bilan implantatsiya qilingan

VI. AMALIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot: Puxtalashning texnologik metodlarining umumiy xarakteristikasi va klassifikatsiyasi. Shar yoki rolik bilan puxtalash.

Ishning maqsadi: yuzani plastik deformatsiyalash yordamida (sharik yoki rolikni ishlov berilayotgan materialga ezish) tashqi qatlamini fizik –mexanik hossalarni o'zgartirish.

Qurilma, asbob-uskunalar va anjomlar: tokarlik vintqirgish dastgohi, uchki qismida sharik yoki rolik bo'lgan asbob, lupa, shtangentsirkul, po'lat yoki boshqa rangli metal, moy.

NAZARIY MA'LUMOT.

Materialning deformatsion puxtalanishga moyilligi ko'pgina faktorlarga bog'liq, asosan, kristall panjara turiga, struktura, legirlovchi elementlar va qo'shimchalar kontsentratsiyasiga, shuningdek deformatsiyalashda polimorf o'zgarishga moyilligiga ham bog'liq. Shunda GTsK kristall panjaraga ega kristallografik struktura GTsU ga qaraganda ko'p sirpanuvchi tekisliklarga ega bo'lishi mumkin, GTsU faqat bitta sirpanuvchi tekislikka ega, OTsK kristall panjaraga ega bo'lgan metallar ko'p miqdordagi sirpanuvchi sistemalarga ega bo'ladi. Sirpanish sistemalari qanchalik ko'p bo'lsa, materialning deformatsion puxtalanishga bo'lgan moyilligi shuncha yuqori bo'ladi.

Deformatsion puxtalanishning miqdoriy texnologik harakteristikalaridan biri puxtalanish darajasi (deformatsiyalashda qattqlikni nisbatan ortishi) hisoblanadi va u quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\psi = \frac{\Delta HV}{HV} \cdot 100\% \quad (1.1)$$

bu erda ΔHV - deformatsiyalashda qattqlikni ortishi; HV - dastlabki holatdagi qattqlik.

Puxtalanish darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, po'lat shunchalik yumshoq bo'ladi. Shunda toblanmagan po'latning yuzasini deformatsiyalash uning qattqligini 100 % dan ortiqqa oshirishi mumkin, toblanganda esa faqatgina 10...15 % ga ortishi mumkin. Qattqlikni oshishi po'latning deformatsiyalanadigan strukturaga egaligiga bog'liq. Eng yuqori deformatsion puxtalanishga moyillik ferrit strukturalar uchun, eng kichigi

esa perlit va sorbit strukturalar uchun xosdir. Austenit deformatsiyalanganda u qisman martensitga aylanadi, bu esa qattqlikni oshiradi. Martensitning deformatsion puxtalanishi dislokatsiya zichligining ortishi, qoldiq austenitning martensitga aylanishi va yuqori dispers karbid zarrachalarning ajralib chiqishi bilan bog'liqdir. 1- rasmda uglerodli va legirlangan po'latlarning turli xil strukturaviy holatda plastik deformatsiyalangandagi qattqligining nisbatan ortishi ko'rsatilgan.

Plastik deformatsiya natijasida strukturaning o'zgarishi va ichki yutilgan energiya strukturaga bog'liq bo'lgan mexanik va fizik xossalarni keskin o'zgartiradi. Ayniqsa puxtalik bilan bog'liqlari kuchli o'sadi va po'lat qotishmalarining plastiklik xossalari pasayadi. GTsK kristall panjaraga ega bo'lgan qotishmalar OTsK panjaraga ega bo'lganlariga nisbatan bir necha barobar intensiv puxtalanadi. Plastik deformatsiya elektr qarshilikni oshiradi, koersitiv kuchni pasaytiradi, shuningdek material zichligini kamaytiradi.

Deformatsion puxtalangan metallning holati termodinamik barqaror emas, va uni qizdirish jarayonida unda uning erkin energiyasi o'zgarishiga sabab bo'ladigan jarayonlar sodir bo'ladi. Bu jarayonlar ularning aktivlashtiruvchi energiya o'sishi bo'yicha rivojlanadi va quyidagi tartibda:

- Nuqtali nuqsonlar va ularning oqimini dislokatsiyalar va vakansiyalarni tugunlar orasidagi atomlar bilan boqlovchi chegaralar diffuziyalanishi, kristall panjarada nutali nuqsonlardan iborat guruqlarning xosil bo'lishi;
- Dislokatsiyalarning oddiy va ko'ndalang sirpanishi bilan tarqalishi, bu esa qarama-qarshi dislokatsiya qismlarining buzilishi va dislokatsion sirtmoqlarning torayishi bilan boradi;
- Dislokatsiyalarni sirqanishi orqali qayta taqsimlanishi, bu esa dislokatsiyalar siljishini dislokatsiyalar devorining buzilishi yoki sochilishi bilan birikishiga va ularning kristallografik orientrlanishiga sabab bo'ladi;
- Kichik burchakli chegaralarning xosil bo'lishi;
- Kichik burchakli va donalar orasidagi chegaralarning deformatsiyalangan matritsaga nuqsonlarni yutish bilan ko'chishi;

- Qayta kristallangan donalarni bo'luvchi va so'ngilarini yiriklashtiruvchi katta burchakli chegaralarning ko'chishi.

Materialga, deformatsiya va qizdirish bosqichlariga bog'liq holda hamma ko'rsatilgan jarayonlar navbati bilan sodir bo'lishi yoki birdaniga sodir bo'lishi mumkin. Ichki zaxira energiyasining issiqlik ko'rinishida ajralishi bilan kechadigan deformatsiyalangan metall strukturasiidagi katta o'zgarishlar kristall panjarada va dislokatsiyada nuqtali nuqsonlarning yo'qolishi va qayta taqsimlanishi bilan bog'liq.

Yuzani plastik deformatsiyalash usullaridagi farqalar va xilma-xillikka qaramasdan ularning hammasini 4 ta guruxga bo'lishimiz mumkin va bu guruxlar 1-jadvalda keltirilgan.

1. Yuzani puanson bilan statik deformatsiyalash - zarb bilan presslash, shtamlash va boshqalar. Bunday ishlov berishning xarakterli xususiyati yon yuzasi silliq yoki figurali puanson bilan yuzani deformatsiyalash hisoblanadi. Bunda yuzadagi mikro notekisliklar asosiy normal kuchlar hisobiga deformatsiyalanadi.

2. Yuzani (mikro notekisliklar) asbobni o'q (teshiklarni shliflash, kiryalash, va boshqalar) bo'ylab va ko'ndalang bo'ylab o'zgartirish orqali deformatsiyalash. Bunday operatsiyalarda shuningdek yuza qatlam deformatsiyalanayotganda normal kuchlar bilan birgalikda ishqalanish kuchlari ham xosil bo'lib, ular asbobni joyini o'zgartirish vaqtida xosil bo'ladi.

3. Yuzani rolik yoki shar (yumalab ishqalanish hisobiga deformatsiyalanish) bilan chiniqtirish. Bu guruqqa detallarni rolik, shar bilan ishlov berish, dumalatib ishlov berish kabi usullar kiradi. Rolik yoki sharik ishlov berilayotgan detalga tekanda siquvchi kuchlanish xosil bo'ladi, buning natijasida metall plasti deformatsiyalanadi, bu esa uning shaklini deformatsiyalayotgan asbob shakliga kirishiga undaydi. Bunda yuzadagi notekisliklar tekislanadi. Sharik bilan deformatsiyalayotganda zaruriy puxtalanish va yuzaning tekislanishiga normal kuchlari qiymati kichik bo'lganda erishiladi.

4. Yuzaning dinamik puxtalanishi (zarralar oqimi bilan ishlov berish, sharlar bilan puxtalash, yuzani zarb bilan ishlash, rotatsion siqish va boshqalar). Bunday holatda yuza qatlamining puxtalanish darajasi va uning qattiqligi bir-biriga teguvchi

jismlarning massasi, ularning harakatlanish tezligi va boshqa asbobning (sharik, zarrachalar, uriluvchi va boshqalar) ishlov berilayotgan yuzaga urilish energiyasini aniqlab beruvchi faktorlarga bog'liq.

Puxtalanishni o'tkazishdan asosiy maqsad bu yuza qatlamning toliqishga bo'lgan harshiligini va qattiqligini ortirish va ularda ichki yo'nalgan kuchlanishlarni xosil qilish, asosan siquvchi kuchlanishlarni, yana shuningdek yuzadagi notekisliklarning tartiblanishini ham oshirishdir. Plastik deformatsiyalash orqali yuzani samarali puxtalash asosan mashina detallariga ishlov berishning so'ngi texnologik bosqichlari bo'lgan tiq bilan kesish yoki abraziv asbob bilan ishlov berish bosqichlari o'rniga so'ngi texnologik bosqich sifatida qo'llaniladi. Uncha qattiq bo'lmagan detallarga ishlov berishda yuzani dinamik ishlov berish usuli orqali plastik deformatsiyalash samaralidir, bunda zarb bilan ta'sir qiluvchi asboblardan, ultratovushli yoki impulsli chiniqtirishdan foydalaniladi.

1-jadval.

YuPD usullarining klassifikatsiyasi	Jarayonning karakteristikalar	Ishlov berilgan yuzaning sifati		Qo'llaniladigan metodlar
		Ishlov berish aniqligi darajasi	Yuza g'adirbudurligi, Ra , mkm	
1	Yuzani statik deformatsiyalash (puanson bilan)	7...8	1,25...0,32	Zarb bilan siqish, shtamplash
2	Yuzani (mikro notekisliklar) asbobni o'q bo'ylab va ko'ndalang bo'ylab o'zgartirish orqali deformatsiyalash	6...7	0,63...0,08	Tsilindsimon va shaklli teshiklarni sayqallash, silindsimon va shaklli profilarni kiryalash va boshqalar.
3	Yuzani rolik orqali chiniqtirish (dumalab ishqalanish hisobiga deformatsiyalanish) Yuzaning dinamik puxtalanishi			Tashqi yoki ichki yuzalarni shariklar yoki roliklar orqali chiniqtirish, roliklar orasida chiniqtirish, rezbalar, tishli qildiraklar va boshqalarga dumalatib ishlov berish va kalibrash. Shariklar bilan puxtalash, yuzani zarb bilan siqish, rotatsion siqish. Zarrachalar oqimi bilan ishlov berish.

Ishlov berilayotgan material yuzasining qattiqligi va plastik deformatsiyalash chuqurligi puxtalash bosqichlari, materialning fizik-mexanik xossalari, strukturasi va kimyoviy tarkibiga bog'liq. Yuza qattiqligiga eng katta ta'sirni ishlov berilayotga material bilan kontaktda bo'lishida asbobning nisbiy bosimi ko'rsatadi. Nisbiy bosim chiniqtirish yoki tekislashni kuchayishi, deformatsiyalanayotgan element yoki detal geometriyasi, ishlov berilayotgan materialning fizik-mexanik xossalariga ko'ra aniqlanadi. Chiniqtirish va sayqallashda dastlabki nisbiy bosimni Brinell (qB) bo'yicha qattiqlikka teng deb qabul qilish mumkin.

Chiniqtirish va dumalatib ishlov berish roliklar yoki shariklar yordamida amalga oshiriladi, bunda yumalab ishqalanish va ishlov berilayotgan detal yuzasida bosim xosil bo'ladi. Chiniqtirish asosan tashqi yuzalarga ishlov berishda qo'llanilsa, dumalatib ishlov berish esa ichki yuzalarga qo'llaniladi. Deformatsiyalovchi instrument va detal o'rtasidagi kontakt zonadagi kuchlanishning biror qiymatida kuchlanishning intensivligi oquvchanlik chegarasini oshiradi, buning natijasida yuzadagi notekisliklar plastik deformatsiyalanadi, yana shuningdek yuza qatlamning strukturasi va fizik-mexanik xossalari o'zgaradi. Detallarni hajmiy deformatsiyalanishi uncha sezilarli emas.

Deformatsiyalovchi elementlar va detallarning ilgari lanma va aylanma harakatlarining kombinatsiyasi silindrik, yassi va shakllangan yuzalarni puxtalash imkonini beradi. 3.4-rasmda chiniqtirishning asosiy texnologik sxemalari keltirilgan, bular standart metall kesuvchi dastgohlarda oson amalga oshiriladi.

Roliklar legirlangan po'latlar (ShX15, XVG, 9XS, 9X), uglerodli asbobsozlik po'latlari (U10A, U12A), tezkesar po'latlar (R6M5, R9K5) va qattiq qotishmalar VK8 dan tayyorlanadi.

Chiniqtirish va dumalatib ishlov berish bosqichlari shunday tanlanadiki, yuzaning berilgan sifat parametrlariga bitta urinishda erishilsin, chunki qayta urinishlar yuza qatlamining qo'shimcha deformatsiyalanishiga va bu esa yuza qatlamning emirilishiga sabab bo'lishi mumkin.

Tezlik ishlov berish sifatiga sezilarli ta'sir qilmaydi va talab qilinadigan samaradorlikka, mavjud qurilmalar va detallarning konstruktsion xususiyatlariga ko'ra tanlanadi. Ko'pincha tezlik $V_{q30...150}$ mG`min ni tashkil etadi. Chiniqtirish kuchi

ishlov berishdan ko'zlangan asosiy maqsad va puxtalanayotgan qatlam chuqurligiga bog'liq. Puxtalanagan detalning максимал чидамлилигини таъминлаб берадиган оптималь куч қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$P_{\sigma} = 10 \cdot \left(50 + \frac{D_{\sigma}^2}{6} \right) \quad (1.2)$$

bu erda D_{σ} -detailning puxtalanayotgan yuzasi diametri.

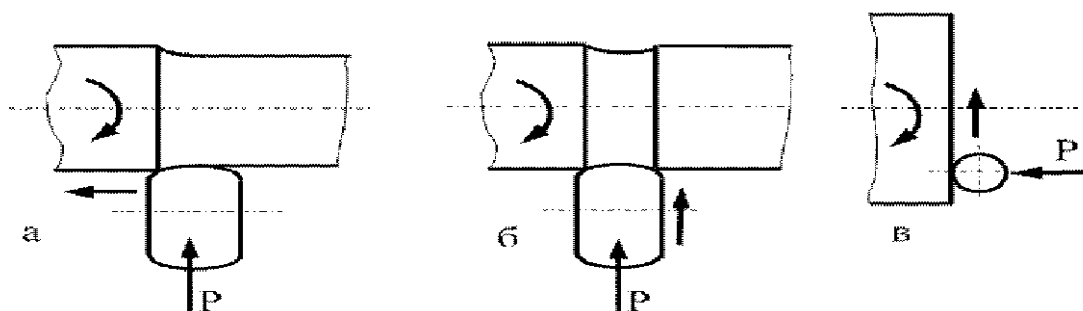
h_H chuqurlikdagi puxtalanagan qatlam xosil bo'lishini ta'minlovchi kuch quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$P_H = 2h_H^2 \sigma_m m^2 \quad (1.3)$$

bu erda σ_T - detal materialining oquvchanlik chegarasi; m- to'qirlovchi koeffitsient, bu koeffitsient kontaktlashuvchi yuzalarning notekisliklarini hisobga oladi,

$$m = 1 + 0,07 \left(\frac{1}{\frac{1}{\rho_p} + \frac{2}{D} + \frac{1}{R_{\sigma}} - \frac{1}{R}} \right) \quad (1.4)$$

bu erda ρ_p -rolik profilining radiusi; R_{σ} -o'q kesimi bo'ylab detal radiusi; P- kontakt hududida detal profilining radiusi (tsilindrik yuzalar uchun $P=\infty$); D- o'q kesim bo'ylab rolik diametri.



1.1-rasm. Chiniqtirishning asosiy texnologik sxemalari: a- bo'ylama suriluvchi rolik; b- ko'ndalang suriluvchi rolik; v- yon yuza sharlari; g- shlitslar

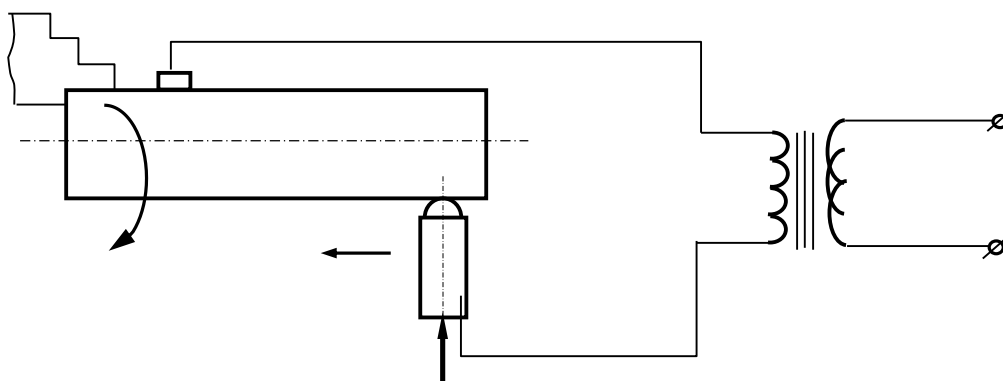
2-amaliy mashg'ulot: MAXALLIY PLASTIK DEFORMATSIYALASH USULI YORDAMIDA ISHLOV BERISH. ELEKTROMEXANIK PUXTALANISH.

Ishning maqsadi: yuzani plastik deformatsiyalash yordamida (sharik yoki rolikni ishlov berilayotgan materialga ezishda elektrokontakt qizdirish bilan) tashqi qatlamini fizik –mexanik hossalarini o'zgartirish.

Qurilma, asbob-uskunalar va anjomlar: tokarik vintqirgish dastgohi, elektrokontakt qizdirish qurilmasi, uchki qismida sharik yoki rolik bo'lgan asbob, lupa, shtangentsirkul, po'lat yoki boshqa rangli metal, moy.

Nazariy ma'lumot.

Elektromexanik puxtalash usuli usullar kombinatsiyasi bo'lib, bu yuzani plastik deformatsiyalash usulini detalning puxtalovchi asbob bilan kontakt zonasini elektrokontakt qizdirish usuli bilan birlashtiradi. Detallarga tokarlik dastgoqida elektromexanik ishlov berishning asosiy sxemasi 2.1- rasmda keltirilgan.



2.1-rasm. Elektromexanik ishlov berishning asosiy sxem

Pasayuvchi transformator orqali 220 yoki 380 V tok o'tadi va kontakt ta'sirlashuv zonasiga uzatiladi. Toki kuchi va ikkilamchi kuchlanish kontaktlashuv zonasi, dastlabki g'adir-budurlik va yuza qatlamning sifatiga qo'yiladigan talab bog'liq holda o'zgartiriladi. Puxtalovchi asbob prujinali qistirgichga ega bo'lib, unga qattiq qotishmadan tayyorlangan plastina (indentor) yoki rolikli qopqoq qistirilgan. Kontaktlashuv zonasidagi bosim supportni ko'ndalang o'zgartirish uchun o'zgartiriladi.

Kontakt natijasida ajralib chiqqan issiqlik oqimining umumiy miqdori xuddi ishqalanish va elektr qizdirish issiqlik oqimining yiqindisi sifatida belgilanadi:

$$Q = PVf + \eta UI \quad (2.1)$$

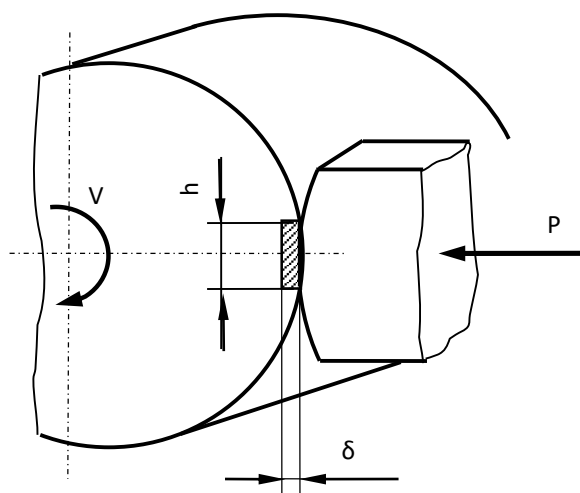
Bu erda P - normal bosim kuchi; V -sirpanish tezligi; f -ishqalanish koeffitsient; U -2-zanjir bo'ylab kuchlanishning pasayishi; I -2-zanjirdagi tok kuchi; η - 2-zanjirdagi yo'qotishlarni hisobga oluvchi koeffitsient.

Puxtalovchi asbobni detal yuzasida harakatlantirish natijasida eni b , uzunligi h va chuqurligi q bo'lgan aktiv kontaktlashuv zonasi xosil bo'ladi (2.-rasm). Indentor kengligi kontakt ta'sirlashuv kengligini belgilab beradi, uzunligi esa puxtalovchi yuzaning egriligi va indentorning ishchi yuzasi shakliga bog'liq. Birinchi kontaktlashuv kengligini Gers elastiklik masalasidan qisoblab topish mumkin. Kontakt ta'sirlashuvning aktiv zonasi chuqurligi puxtalanuvchi qatlamning chuqurligini belgilab beradi.

Kontaktlashuvning aktiv zonasida yutiladigan issiqlik oqimining zichligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$Q_m = (PVf + \eta UI) \cdot k\mu \quad (2.2)$$

bu erda μ -issiqlikning tarqalish koeffitsienti, detalga olib ketiladigan issiqlik oqimining ulushini hisobga oladigan; κ -kontaktlashuvning aktiv zonasida yutiladigan issiqlik oqimini hisobga oluvchi koeffitsient.



2.2-rasm. Kontaktning aktiv zonasining sxematik ko'rinishi

Issiqlikning kontaktlashuvchi jismlar o'rtasida tarqalishi koeffitsienti μ quyidagi bog'lanish bilan ifodalanadi:

$$\mu = \frac{\lambda_{\delta} \sqrt{a_{\delta}}}{\lambda_{\delta} \sqrt{a_{\delta}} + \lambda_{\eta} \sqrt{a_{\eta}}} \quad (3.3)$$

bu erda α_{δ} va α_{η} -harorat o'tkazuvchanlik koeffitsientlari; λ_{δ} va λ_{η} -mos ravishda detal va asbob issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari;

Elektromexanik ishlov berishning turli bosqichlari uchun k koeffitsientni eksperimental aniqlash shuni ko'rsatdiki, u quyidagi chegaralarda bo'ladi $k=0,23...0,26$.

Kontaktlashuvning aktiv zonasida yutilgan issiqlik oqimi uning temperaturasini oshiradi, shu sababli issiqlik muvozanatidan chiqishni quyidagicha yozish mumkin:

$$(PVf + \eta UI) \cdot k\mu = \frac{hb\delta\gamma \cdot cT}{t} \quad (2.4)$$

bu erda γ -detal materialining zichligi; δ -solishtirma issiqlik siqimi; T -kontaktlashuvning aktiv zonasidagi qizdirish temperaturasi; m -puxtalovchi asbobning detal bilan ta'sirlashuv vaqti; x -kontaktlashuv uzunligi.

Aktiv zona chegaralarida kontaktlashuv jarayonini davomiyligi quyidagicha aniqlanadi:

$$t = \frac{h}{V} \quad (2.5)$$

(2.3) va (2.2)larni hisobga olgan holda quyidagini olamiz:

$$\delta = \frac{\mu k (PVf + \eta UI)}{bc\gamma T} \quad (2.6)$$

δ kattalik puxtalangan qatlam qalinligiga bog'liq, qizdirish temperaturasi esa yuqori zichlikka ega bo'lgan dislokatsiyali struktura o'sishi uchun optimal harorat bosqichlarini ta'minlovchi vaziyatlardan tanlanadi. qizdirish temperaturasi qayta kristallanish temperaturasini oshirmasligi kerak. Normal bosim kuchi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$P = hb\sigma_s \quad (2.7)$$

bu erda σ_s - materialning plasti deformatsiyaga qarshilik ko'rsatishi.

Amaliy hisoblashlar uchun materialning plastik deformatsiyaga qarshilik ko'rsatishidan eksperimental ma'lumotlarni approksimatsiya qilish orqali olingan

analitik bog'lanishlarda foydalanish mumkin. Ancha keng tarqalgan bog'lanish bu Andreeva-Tyuleneva bog'lanishidir:

$$\sigma_s = k\sigma_0 \xi^a (10\varepsilon)^b \left(\frac{T}{1000}\right)^c \quad (3.8)$$

bu erda σ_0 - $\xi=1$, $\varepsilon=0,1$ va $T=1000^0$ bo'lganda asosiy deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish; ξ - plastik deformatsiya tezligi; ε - plastik deformatsiya darajasi; k, a, b, - empirik koeffitsientlar, 2. - jadvalda ayrim po'latlar uchun qiymatlari berilgan.

Puxtalovchi chiniqtirish yoki shar bilan sayqallashdagi plastik deformatsiyalanish darajasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{d}{D} \quad (2.9)$$

bu erda D-siqiluvchi sharning diametri; d-puxtalanuvchi yuzadagi chuqurcha diametri.

Murakkab shaklli puxtalovchi elementda plasti deformatsiyalanish darajasi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\varepsilon = \frac{1}{R_{pr}} \sqrt{\frac{F_0}{\pi}} \quad (2.10)$$

bu F_0 R_{mp} erda -; -puxtalovchi elementning keltirilgan egrilik radiusi. Keltirilgan radius quyidagi tenglikdan aniqlanadi:

G` (3.11)

bu erda R_d -puxtalovchi element ko'ndalang egrilik radiusi; - R_n пухталовчи элемент профилнинг эгрилик радиуси; -детал радиуси.

Plastik deformatsiya tezligi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\xi = \frac{V}{h} \varepsilon \quad (2.12)$$

2.1-jadval

Andreeva-Tyuleneva formulasi uchun hisoblash koeffitsenti

Po'lat markasi	k	σ_0 , MPa	a	b	c
1. EP487	0,839	491	0,132	0,06	-5,47
2. XH75MBTYO	0,809	386	0,116	0,153	-3,22
3. P18	0,780	237	0,136	0,1	-3,01
4. 12X18H10T	0,825	222	0,112	0,088	-3,35
5. 12X21H5T	0,90	150	0,077	0,067	-3,23
6. 20X13 (2X13)	0,90	136	0,132	0,210	-3,26
7. B2F	0,950	124	0,135	0,119	-3,69

8.	18X2H4BA	0,971	107	0,117	0,165	-2,73
9.	60C2	0,921	105	0,153	0,197	-3,49
10.	20XG2S	1,011	95,8	0,125	0,213	-3,65
11.	3 spπ	0,960	99,7	0,124	0,167	-2,54
12.	3 κρ	0,885	77,9	0,135	0,164	-2,80
13.	35GC	0,975	89,6	0,136	0,187	-2,79
14.	po'lat5	0,917	89,5	0,144	0,208	-3,35
15.	po'lat45	1,0	87,4	0,143	0,173	-3,05
16.	po'lat65G	1,007	72,7	0,166	0,222	-3,02
17.	U7A	0,948	78,3	0,159	0,197	-2,87
18.	U12A	1,057	70,0	0,173	0,180	-3,26
19.	33A	0,945	48,1	0,198	0,074	-3,85
20.	SHX15	1,01	79,6	0,137	0,22	-4,07
21.	40X	0,975	87,5	0,130	0,170	-3,62

Elektrmexanik puxtalashda ishlov berish tezligi ishlov berilayotgan materialga bog'liq holda $V=10...60$ m/min chegarada olinadi.

Bo'ylama uzatish S puxtalovchi asbob (indenter) ishchi yuzasining kengligi b ga bog'liq bo'lib, qoplanish koeffitsientni hisobga olgan holda hisoblanadi, qoplanish koeffitsient esa quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$k_p = \frac{b}{S} > 1,0 \quad (2.13)$$

Elektromexanik ishlov berishdan so'ng yuzaning puxtalanish darajasi strukturaning dastlabki holati, elektr qizdirish bosqichlariga, sirpanish tezligiga (yoki chiniqtirish) va kontaktlashuvdagi bosimga bog'liq.

Materialning dastlabki strukturasi va kimyoviy tarkibi yuza puxtalanishini ta'minlashda muxim rol o'ynaydi. Disperslik darajasi va kimyoviy tarkib elektr o'tkazuvchanlik, issiqlik siqimi, issiqlikdan kengayish koeffitsient va materialning boshqa fizik-mexanik va teplofizik xossalariga ta'sir qiladi. Bu esa o'z navbatida qizdirish va sovutish tezligi darajasini, temperature gradient, termik va qoldiq kuchlanishlar qiymatini, shuningdek diffuzion jarayonlarning aktivligini ta'minlab beradi. Juda dispers strukturaga ega bo'lgan metallarning elektr va issiqlik o'tkazuvchanligi past bo'ladi. Shu bilan birga bunday strukturali metall katta issiqlik siqimiga ega va mikrozonalaridagi termik kuchlanishlarga sabab bo'la oladi. Katta siqish kuch oqimlarida donalar chegaralarida yoki qovaklarda yuqori temperature xosil

bo'ladi. Bu holat detallarni metal bilan to'ldirish va metallash orqali qayta tiklanganda hosil bo'ladigan yuza qatlamlariga ishlov berishda muxim ahamiyat kasb etadi, bunday qatlamlar ko'p qovaklik va kristall tuzilishdagi hajmiy nuqsonlarga ega bo'ladi. Juda yuqori elektr qarshilikka ega bo'lgan mikrostruktura yuqori temperaturalarda tok zichligining o'zgarmasligini ta'minlaydi. Bunday holatda elektrmexanik ishlov berish toblangan struktura va puxtalanishni oshirish jihatidan olganda ancha samarali bo'ladi. Materialning kimyoviy tarkibi fazoviy va strukturaviy o'zgarish temperaturalariga ta'sir qiladi, bu esa toblanadigan va puxtalanuvchi strukturalarni o'sishini va ularning barqarorligini belgilab beradi. Elektrmexanik ishlov berishda sovutish tezligi issiqlik o'tkazuvchanlik jarayonlari orqali aniqlanishi va an'anaviy toblashdagi sovutish tezligidan kelib chiqadigan qiymatlarni qabul qilishi mumkin, bunda xosil bo'ladigan martensit strukturaning xarakterli tomoni shundaki, unda ignasimon struktura bo'lmaydi.

Tarkibdagi uglerod miqdorining 0,6 % gacha oshishi elektrmexanik ishlov berish puxtalangan yuza qatlamining qattiqligini oshiradi, uglerod miqdori yana oshirilsa, qattiqlik HRC 65...67 dagi barqaror holatni egallaydi. Bunda puxtalangan qatlamning qattiqligi deyarli toblangan strukturaniqidan oshadi.

Bu aktiv qarshilikning ortishi, toblash temperaturasining pasayishi, ancha bir jinsli bo'lgan austenit strukturaning mexanik maydalanish va boshqalar hisobiga o'sishi bilan bog'liq murakkab jarayonlar orqali tushuntiriladi.

Kontaktlashuv bosimi ortishi bilan austenit donalaridagi martensit ninalarining o'sishi sekinlashadi, bunda martensit markazlarining xosil bo'lish tezligi ularning o'sish tezligi nisabatan ortadi, bu esa o'ta mayda dispers strukturali mikrostruktura olish imkonini beradi.

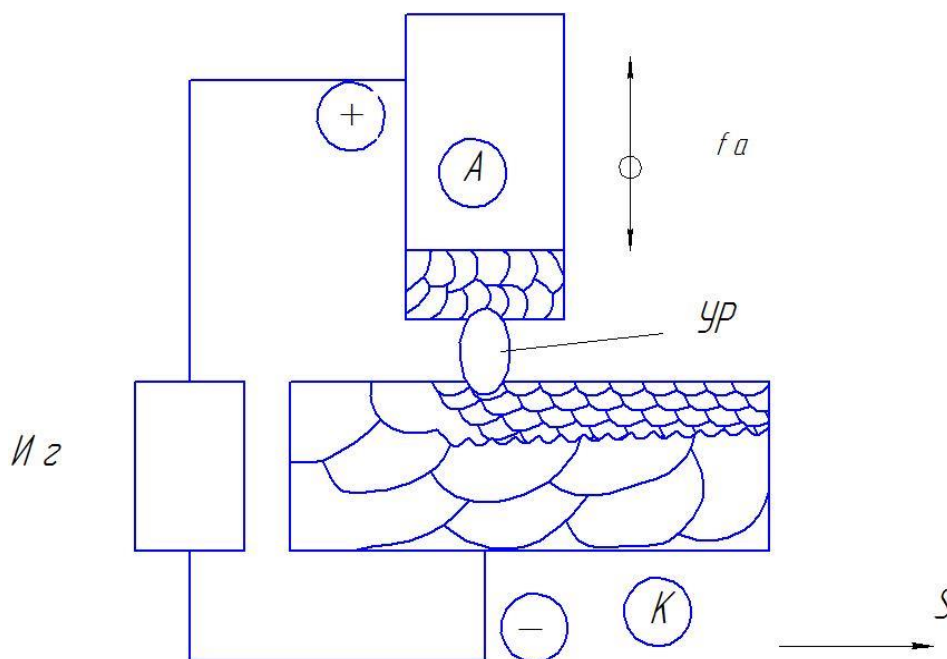
3-amaliy mashg'ulot: ELEKTRUCHQUNLI, LAZER NURI YORDAMIDA, DETANATSION USUL BILAN, PLAKERLASH BILAN PUXTALASH TEXNOLOGIYALARI.

Ishning maqsadi: eyilishga bardosh elektruchqunli qoplamalarni qoplash texnologik rejimlarini o'rganish, aniqlash va vk, tk elektrodleri materiali bilan optimal rejimlarni solishtirish.

Qurilma, asbob-uskunalar va anjomlar: eyilishga chidamli elektruchqunli qoplama qoplash qurilmasi elfa-548, vk, tk elektrod materiali bilan komplekti, analitik torozi.

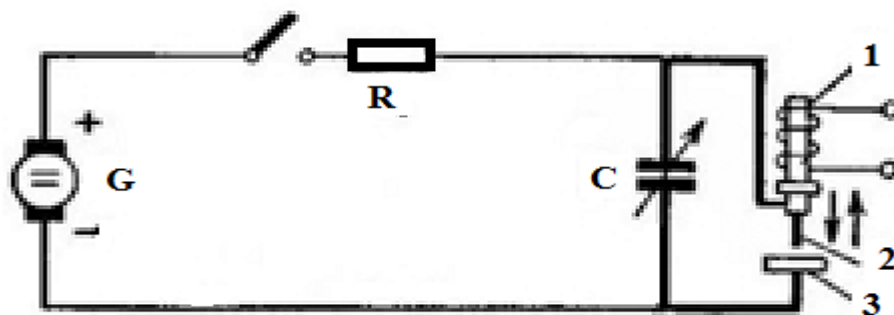
Nazariy ma'lumot.

Elektruchqunli eyilishga chidamli qoplama qoplash Elektr eroziya xodisasiga asoslangan bo'lib, gaz muxitida impulsli razryad hosil bo'lganda anod (asbob) va katod (detal) orasida materialni qutibli o'tishidir. (rasm-3.1). Elektruchqunli eyilishga bardosh qoplamaning qoplash jarayoni elektr razryadini uchqunli formada amalga oshadi.



3.1-rasm. Elektruchqunli ishlov berish jarayoni umumiy sxemasi:

IG- impuls generatori, UR- uchqun razryadi, f - elektrodni vibratsiya chastotasi, S- surish, A- anod, K- katod.



3.2- rasm. Elektruchqunli eyilishbardosh qoplama qoplashning printsiptial sxemasi: Vibrator yakori; 2- puxtalovchi elektrod; 3- puxtalanuvchi detal; G- doimiy tok manbai; R- moslanadigan qarshilik; S- kondensator.

Bir razryaddan o'tadigan anod materiali miqdori juda oz. Shuning uchun katod-detalda kerakli qalinlikdagi va yuzadagi qatlam hosil qilishda anod katod bilan doimiy kommutatsiyada bo'lishi kerak. Bu esa anodni katod yuzasidan bir necha marta yurishini talab qiladi (3.2- rasm).

Elektruchqunli eyilishbardosh qoplamalrni qoplash samaradorligi 0,5 dan 20 sm^2/min ga teng. Hosil qilinayotgan qoplama qalinligi 0,01 – 0,2 mm oraligida bo'ladi.

Turli xil materiallarning mavjudligi boisi elektr uchqunli qoplama qoplash bilan detallar yuzasi xossasini turli mexanik, termik, elektr, termoemission va boshqa xossalarga ega bo'lgan qatlam olish mumkin.

Elektr uchqunli qoplama qoplashda nafaqat anod va katod orasida materialni o'tishi, ayni paytda lokal uchastkalarda impuls razryadi hosil qilgan yuqori bosim, harorat, yuqori tezlikdagi qizish va sovush ta'sirida mikrometallurgik jarayonlar, faza va struktura o'zgarishlari ham sodir bo'ladi.

Razryadni energetik parametrlarni va uni amalga oshirish sharoitini keng ko'lamda o'zgartirish bilan eyilishbardosh qoplamalarni fizik-kimyoviy va mexanik, ekspulatsion xossalarini hosil qilish mumkin.

VK va TK elektrodlardan elektruchqunli eyilishbardosh qoplamalar qoplash ochiq havoda ELFA -548 sanoat qurilmasida amalga oshiriladi. Asos materiali sifatida po'lat 45, U8 materillari ishlatilib, ularning o'lchamlari 20x30x10 mm.

Katodga ko'chib o'tgan material massasi yoki anod eroziyasi analetik torzida (aniqligi 10-4 g) aniqlanadi. Buning uchun anod eroziyasi va katod og'irligi yig'indilari

$(tfma=\Sigma)$ va $(tfmk=\Sigma)$ aniqlanadi. U o'z navbatida anddan katodga material o'tishining intensivligi va qalinligini vaqt birligi ichida o'zgarishini ko'rsatadi. Shu asosida kesuvchi asbobni yoki mashina detalni elektuchqunli puxtalash texnologik rejimlari aniqlanadi. Bundan tashqari anodni yig'indi va solishtirma eroziyasi, hamda katodga massani o'tishi elektrod yuzasida defektlarni (kuchlanish, ikkilamchi struktura va faza tarkibini o'zgarishi) o'zgarish dinamikasini ko'rsatadi.

ISHNI BAJARISH TARTIBI.

1. O'qituvchi yoki laborator yordamida qurilmani tuzilishi va ishlash prinsipi, hamda texnika xavfsizligi bilan tanishish.
2. O'qituvchi yoki laborator yordamida elektouchqunli qoplama qoplash rejimlarini tanlash.
3. Elektrodlar yordamida aniqlangan rejimlar asosida qoplama qoplash va uni har minutda anod va katodni analetik torozida o'lchab turish.
4. $(tfma=\Sigma)$ va $(tfmk=\Sigma)$ bog'lanishini qurish.
5. O'tish koeffitsientini impuls energiyasiga va legirlash vaqtiga bog'liqlik grafigini qurish.
6. Har bir elektrod materialini elektruchqunli eyilishbardosh qoplama qoplashning optimal rejimlarini aniqlash.
7. VK va TK elektrod materiallari uchun o'tish koeffitsienti $(tfma=\Sigma)$ va $(tfmk=\Sigma)$ bog'lanishni solishtirish.
8. Qilingan ishlar bo'yicha hisobot yozish.

4- amaliy mashg'ulot: VAKUUM- PLAZMALI, ELEKTROKIMYOVIY QOPLAMALAR QOPLAMALAR VA IONLI IMPLANTATSIYALASH USULLARI BILAN YUZALARNI PUXTALASH. LAZERLI TERMOPUXTALASH.

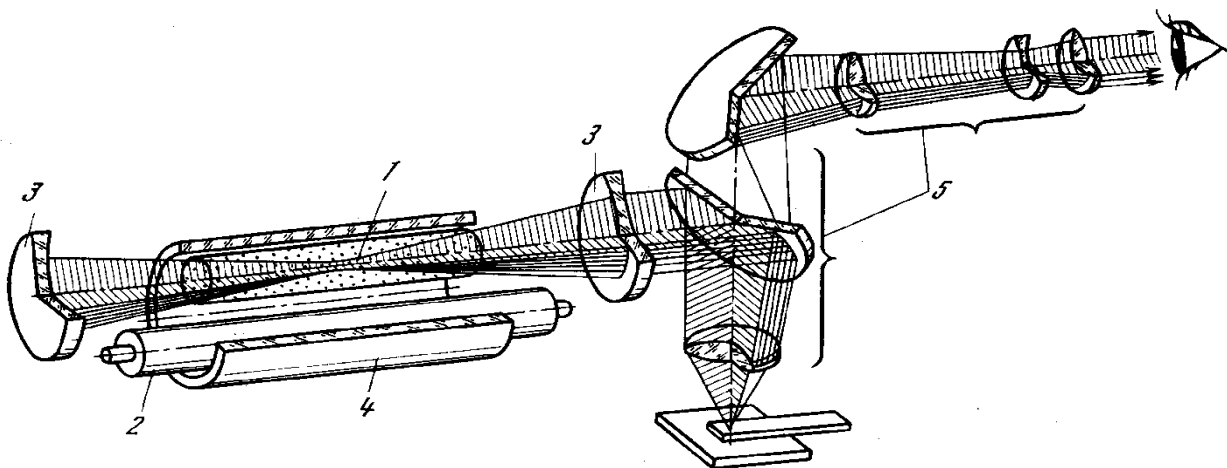
Ishning maqsadi: lazer nuri yordamida yuzalarga yupqa qatlamli qoplamalarni qoplash texnologiyasi bilan tanishish va detal yuza sifatini nazorat qilish.

Laboratoriya ishi uchun zarur asbob-uskunalar: qoplama qoplash lazer qurilmasi kvant-16, kukun material, lupa.

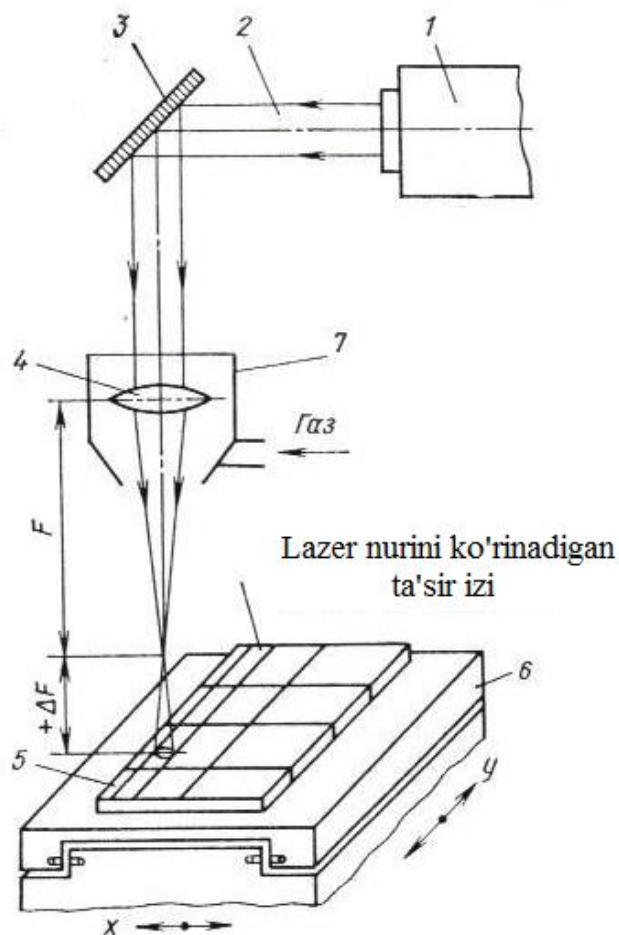
NAZARIY MA'LUMOT

Lazer yordamida qoplash – bu eritib qoplama qoplash usuli bo'lib, bunda detalni qizdirish uchun lazer nurlanish energiyasi qo'llaniladi.

Qattiq jisimli texnologik lazer – bu silindrik o'zak shaklidagi rubin kristall; yaltiratib kumushlangan yuzalari optik nur qaytargichlar bo'lib xisoblanadi. O'zakning chiqib turuvchi qismi yorug'lik nurlari uchun qisman shofof. Pushti rangli rubin Al₂O₃, xrom atomlari tashkil etadi, ularning har biri uchta energetik darajasi mavjud. Nurlanuvchi trubkaning ksenon lampa chaqnashida xrom atomlari yonib yuqori energetik darajasi bilan tavsiflanadi. Taxminan 0,05 mikro daqiqadan keyin qizil rangli fotonlarni tartibsiz nurlatib uyg'ongan atomlarning bir qismi avvalgi energetik xolatiga qaytadi.



4.1- rasm. Lazerli qoplama qoplash chizmasi: 1 – faol muxit o'zagi; 2 – damlash lampasi; 3 – rezonator ko'zgulari; 4 – yoritgichning ko'zguli silindri; 5 – payvandlanayotgan detalning fokuslash tizimi va payvandlash jarayonini nazorat qilish.



4.2- расм. Лазерли қоплама қоплаш схемаси.

Kristall bo'ylab nurlayotgan bu fotonlarning ayrim qismlari, yangi fotonlarni nurlanishini qo'zg'atadi. Boshqa yo'nalish bo'ylab tushayotgan fotonlar yon tekisliklar orqali kristallni tark etadi. Qizil fotonlar oqimi kristall o'zagi bo'ylab oshib boradi. Ular navbatma navbat shishali yon tomonlar chegarasida aks etadi, toki ularning tezligi kristallning yarim shafof yon tekisligi chegarasidan o'tib tashqariga chiqishga etarli bo'lmagancha. Natijada kristallning chiqish tomonidan kogerent monoxromatik nurlanish ko'rinishida qizil yorug'lik oqimi nurlanadi.

ISHNI BAJARISH TARTIBI

1. O'qituvchi yoki laborant yordami bilan laboratoriya qurilmasida va texnika xavsizligi qoidalari bilan tanishish.
2. O'qituvchi yoki laborant yordami bilan lazer puxtalash qurilmasining rejimlarini o'rnatish.
3. O'rnatilgan rejimlarda detal sirtiga lazer nuri yordamida ishlov berish.
4. Ishlov berilgan yuzani mikroskopda nazorat qilish.

5. Qoplangan yuzaning qattiqligini qattiqlik o'lchash asbobida o'lchash.

6. Qilingan ish bo'yicha hisobot yozish.

4- amaliy mashg'ulot: VAKUUMDA PUXTALASH TEXNOLOGIYASI

Ishdan maqsad: vakuum qurilmasi ishlash printsipi bilan tanishish va unda qoplama qoplash usuli bilan tanishish.

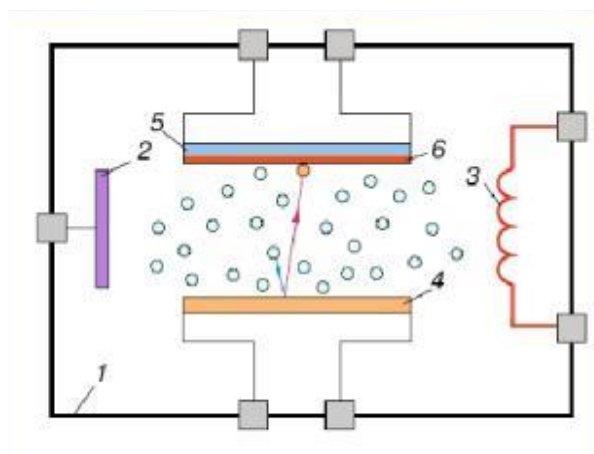
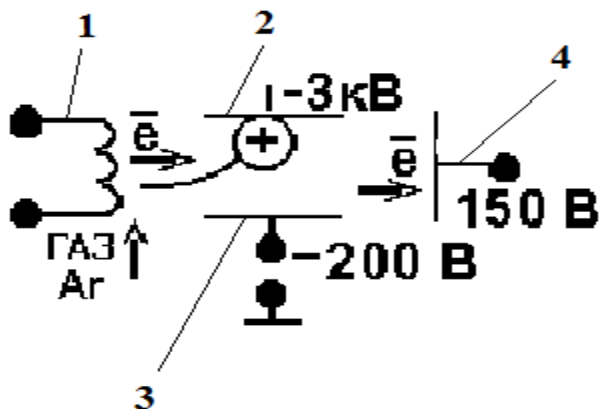
Ish bo'yicha kerakli jixozlar va priborlar: vakuum qurilmasi, argon gazi, purkash materiali.

Xavfsizlik texnikasi: ishni bajarish mobaynida umumiy texnika xavfsizligi qoidalariga amal qilish talab etiladi

Nazariy ma'lumotlar

Ion-plazma buzadigan amallar materiallari (va shunga mos ravishda buzadigan amallar) keng elektron qurilmalar ishlab chiqarishda ishlatiladi. Plazma maqsadni bombardimon qiladigan ionlar manbai sifatida ishlatiladi. Bir qator elektrofizik uskunalarda materiallarni qayta ishlash 0,5 dan 10 kVgacha bo'lgan kuchlanish va bir necha ampergacha bo'lgan oqimdagi vakuum kamerasida yonib turgan nurli oqim plazmasi yordamida amalga oshiriladi. Purkaladigan materiallar (mishen) salbiy salohiyat ostida bo'lishi muhim, bu esa sirtni ionlar bilan bombardimon qilish imkonini beradi. Inert gazlar (ko'pincha argon) ishlaydigan gazlar sifatida ishlatiladi. Ion bilan ishlov berish yaxshi sifat ko'rsatkichlariga ega, ammo barcha gaz tushirish tizimlariga xos xususiyatlarga ega.

Ko'pchilik gazni to'kish purkash tizimlari 1^{-10} Pa bosimida ishlaydi. Bunday yuqori bosimda purkash jarayoni etarli darajada samarali emas. Yuqori bosimda ionlar gazga kuchli tarqaladi. Bunga qo'shimcha ravishda, molekulalarning past diapazoni va yoqlarning polimerizatsiyasi tufayli purkash qoplama materialidan foydalanish mumkin emas. Bularning barchasi gaz bosimini pasaytirish zarurligiga olib keladi. Chiqarilish past bosimda chiqmasligi uchun gaz ionlanishining samaradorligini oshirish uchun qo'shimcha elektron manbaga ega bo'lish kerak. Shaklda 4.3- elektronni chiqarish uchun termal katod bilan ion-plazma tupurish diagrammasi.



4.3-rasm. Elektronni chiqarishi uchun termal katod bilan ion-plazma purkash sxemasi.

Sistema termokatod 1, nishondan 2, asos 3, anod 4 dan iborat. Sistemada 10^{-2} Pa bosim xosil qilishda unga inert gazi (ko'proq argon) kiritiladi. Tizimda katod va anod kuchlanishiga issiqlik kuchlanishi qo'llanilganda oqim paydo bo'ladi. (Tizim radiolamp sifatida ishlaydi). Elektronlar gazni ionlashtiradi va gaz ionlarini ishlab chiqaradi. Maqsad 2 uchun kuchlanish qo'llanilganda, ionlar maqsadni bombardimon qilib, undan materialni urishadi. Materiallar 3 substratiga puskurtulur. Substrat ustida film gaz miqdorini kamaytirish uchun kichik salohiyati (200 V) oziklanadi. 10 kv gacha bo'lgan tezlashuv kuchlanishlari bilan nm G^{-1} mindagi v tezligi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$V = (6,23 \cdot 10^{25} \cdot J \cdot K \cdot M_i) / (N \cdot \rho),$$

bunda: J - tok zichligi (A/m^2), N - Avogadro con $N = 6 \cdot 10^{23}$, ρ - material zichligi kg/m^3 .

Tizimning muhim ko'rsatkichi uning gaz tejamlorligi hisoblanadi, chunki tizim elementlaridan chiqarilgan barcha gaz va gaz vakuum nasoslari bilan pompalanishi kerak. N gaz iqtisodiyoti N^+ ionlarining n gaz atomlarining umumiy soniga nisbati.

$$h=N^+/N.$$

Oddiy sharoitlarda gaz atomlarining soni $2,6 \cdot 10^{19} \text{ 1/cm}^3$ ni tashkil qiladi. Ion-plazma bilan purkash paytida ionlanish koeffitsienti 10% ga etishi mumkin.

Tadqiqot qismi

Tajribalar odatdagi vakuumli UVM tipidagi qurilmalarda olib boriladi. Tarkibiy jihatdan tizim past katodda joylashgan bo'lib, bu elementlarning sovishini osonlashtiradi va katodning o'zgarishini soddalashtiradi. Elektrodlarning o'zaro joylashuvi tizimning joriy kuchlanish xususiyatlariga katta ta'sir qiladi, natijada o'rnatish elektrodni harakatlantirish imkoniyatini ta'minlaydi. Qurilmaning joriy kuchlanish xarakteristikalarini yuqori kuchlanishli nurlanish zaryadiga asoslangan manbaning joriy kuchlanish xususiyatlaridan sifat jihatidan farq qilmaydi.

Hisobot mazmuni

1. Vakuumni o'rnatish sxemasini bering. Qarama-qarshi bosim sezgichlari va vakuum nasoslari ularning ishlash doirasini ko'rsatadi.
2. Ion-plazma qoplamasining afzalliklari va kamchiliklarini aytib bering.
3. Ion-plazma bilan qoplash moslamasining elektr ta'minotining sxemasi bilan bitta diagrammasini keltiring.
4. Nishonning temirdan urish tezligini hisoblang.
5. Kameradagi gaz miqdorini kamaytirish uchun ion-plazma purkash sxemasini bering.
6. Anodda 150 V kuchlanishda, 3/2 darajadagi qonunga asoslanib, katod va anod orasidagi bo'shliqning oqim-kuchlanish xarakteristikasini hisoblang.
7. Ionlarni tupurish mexanizmlarining rasmlarini bering.
8. 1 A zaryadsizlanish oqimida va gaz oqimi tezligi 10^{-4} torr/s ga teng bo'lgan gaz samaradorligini (%) hisoblang.
9. Gaz bosimining 1 uchun mo'ljallangan kuchlanishiga nisbatan maqsadli tokning bir nechta yuqori sifatli tok kuchlanish xarakteristikalarini bering; 0,1; 0,01 Pa.
10. Tajribada ishlatilganlardan tashqari gaz ionlanishining mumkin bo'lgan usullarini ko'rsating.

VII. KEYSLAR BANKI

“Keys-stadi” metodi

«Keys-stadi» - inglizcha soʻz boʻlib, («case» – aniq vaziyat, hodisa, «stadi» – oʻrganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni oʻrganish, tahlil qilish asosida oʻqitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini oʻrganishda foydalanish tartibida qoʻllanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari oʻz ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), Qachon (When), Qaerda (Where), Nima uchun (Why), Qanday- Qanaqa (How), Nima-natija (What).

1-KEYS: Vaziyatli masalalar!

1-VAZIYAT

“Materialshunoslik va yangi materiallar texnologiyasi” yoʻnalishi tinglovchilari uchun metallarga ishlov beruvchi asboblarga har tomonlama optimal qattiq qotishmalar markasini tanlashda koʻp hollarda yuzaki tahlillar orqali xatoliklarga yoʻl qoʻyadilar. Lekin buni ma'lumotnoma va hozirgi ishlab chiqarishni talablari orqali qiyoslab, solishtirganda toʻgʻri chiqadi.

Muammoli vaziyat: Nima uchun tinglovchilari optimal qattiq qotishmalar markasini tanlashda koʻp xatoliklarga yoʻl qoʻyadilarh

2-VAZIYAT

hozirgi vaqtda barcha Quyma bimetall kompozitsion materiallarga yuqori talablar qoʻyilayotgan vaqtda, ayniqsa qishloq xoʻjaligida erga ishlov beruvchi asboblari uchun materiallar tanlashda ishlab chiqaruvchilar oʻzlari imkoniyatlaridan kelib chiqib, turli materiallarni tanlaydilar. Lekin fermerlar bu erga ishlov beruvchi asboblarni sotib olganlaridan keyin juda koʻp hollarda ushbu asboblari uzoq muddat ishlamaydilar. Natijada yana boshqa mablagʻ sarflaydilar. Nima sababdan fermerlar optimal material tarkiblaridan iborat erga ishlov beruvchi asbobni toʻgʻri tanlay olmaydilarh

Tinglovchilardan quyidagilar talab qilinadih

Sabab variantlarni keltirish.

Vaziyatni echmlarini keltirish.

Nima sababdan shunday holatlar boʻlishini izohlash.

VIII. GLOSSARIY

(ma'ruza matnida uchraydigan asosiy tushunchalarning o'zbek va ingliz tillaridagi sharhi)

Termin	O'zbek tilidagi sharhi	Ingliz tilidagi sharhi
Likvidus	Likvidus chizig'idan yuqorida qotishma butkul suyuq holatda bo'ladi.	On a binary phase diagram, the line or boundary separating liquid- and liquid solid-phase regions. For an alloy, the liquidus temperature is the temperature at which a solid phase first forms under conditions of equilibrium cooling.
Ferrit	Uglerodning α -temirga singdirilgan qattiq eritmasi	Ceramic oxide materials composed of both divalent and trivalent cations (e.g., Fe_2O_3 and Fe_3O_4), some of which are ferrimagnetic.
Austenit	Uglerodning γ - temirga singdirilgan qattiq eritmasi	Face-centered cubic iron; also iron and steel alloys that have the FCC crystal structure.
Perlit	Tarkibida 0,8 % uglerod mavjud bo'lgan ferrit va sementitning mexanik aralashmasi	A two-phase microstructure found in some steels and cast irons; it results from the transformation of austenite of eutectoid composition and consists of alternating layers (or lamellae) of α -ferrite and cementite.
Martensit	Uglerodning α' -temirdagi o'ta to'yingan singdirilgan qattiq eritmasi	A metastable iron phase supersaturated in carbon that is the product of a diffusionless (athermal) transformation from austenite.
Ammorf struktura	Aniq elementga to'g'ri keladigan atomlarning fazoda noto'g'ri tartibsiz joylashuvi	Having a noncrystalline structure.
Antifriktsion grafit	Juda kichikishqalanish koeffitsientiga ega bo'lgan grafit	A phenomenon observed in some materials (e.g., MnO): complete magnetic moment cancellation occurs as a result of antiparallel coupling of adjacent atoms or ions. The macroscopic solid possesses no net magnetic moment.

Allotropiya, poliformizm	Metallarda temperatura ta'sirida kristall panjarasining o'zgarishi	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
Izotropiya	Xossalarning har xil yunalishda bir xilligi	Having identical values of a property in all crystallographic directions.
Anizotropiya	Xossalarning turli yo'nalishlarda bir xil emasligi	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
Adgeziya	Yuzalari tegib turgan turli jismlarning o'zaro birikib qolishi	substance that bonds together the surfaces of two other materials (termed adherends).
Vakansiya	Odatda kristall panjaradan atom yoki ion chiqib ketgan joy.	A normally occupied lattice site from which an atom or ion is missing.
Dislokatsiya	Metallning atomlar siljigan (sirpangan) soxasi bilansiljimagan soxasi orasidagi chegara	A linear crystalline defect around which there is atomic misalignment. Plastic deformation corresponds to the motion of dislocations in response to an applied shear stress. Edge, screw, and mixed dislocations are possible.
Vintsimon dislokatsiya	Parallel tekisliklar bir biriga nisbatan spiral xosil qilib siljishi natijasidagi kristallarning chiziqli nuqsoni	The ratio of the magnitude of an applied shear stress to the velocity gradient that it produces—that is, a measure of a noncrystalline material's resistance to permanent deformation.
Diffuziya	To'yintiruvchi elementlarni detal sirtidan ichkariga kirishi	Mass transport by atomic motion.
“Nanomaterial”	Elementlarni shu o'lchamli zarrachalari asosida olingan material	A composite composed of nanosize particles (i.e., nanoparticles) embedded in matrix material. Nanoparticle types include nanocarbons, nanoclays, and nanocrystals. The most common matrix materials are polymers.
Bronza	Tarkibini asosan mis va qalay tashkil etgan qotishma; bronzalar tarkibida alyuminiy	A copper-rich copper–tin alloy; aluminum, silicon, and nickel bronzes are also possible.

	kremniy, nikel va h.k. bo'lishi mumkin.	
Dielektrik	Elektrizolyatsiyalovchi materiallar guruhiga tegishli har qanday modda.	Any material that is electrically insulating.
Valentli elektronlar	Atomlar aro bog'lanishlarni xosil qilishda ishtirok etadigan yuqori energiyali elektronlar	The electrons in the outermost occupied electron shell, which participate in interatomic bonding
Deformatsion puxtalanish	Rekristallanish haroratidan past haroratda plastik deformatsiyalash natijasida yumshoq materiallarni mustaxkamligi va bikrligini oshirish	The quantity of mass diffusing through and perpendicular to a unit cross-sectional area of material per unit time.
Difraktsiya (rentgen nurlari)	Kristall atomlarini rentgen nurlarioqimini interferentsiyasi	Constructive interference of x-ray beams scattered by atoms of a crystal.
Antikorrozion qoplama	buyumlarni tashqi muhitning zararli ta'siridan himoyalash va ko'rkamalashtirish maqsadida sirtiga qoplanadigan yupqa qatlam	A thin layer of coating on the surface to protect and decorate products from the harmful effects of the environment
Vakuum	bosimi atmosfera bosimidan anchagina past bo'lgan, idishga qamalغان gaz xolati, qamalغان gaz xolati	The pressure is much lower than atmospheric, the state of the captured gas, the state of the captured gas
Galvanik qoplama	metall buyumlar yuzasiga elektrolitik usulda bir necha mkm dan mm ning o'ndan bir necha qismigacha qalinlikda qoplangan qatlam	A layer of electrolytic coating on the surface of metal parts with a thickness of several microns to several tens of millimeters
himoya qoplamasi	detallarni xavo kislorodi yoki boshqa emiruvchi muhitlar ta'siridan saqlash maqsadida sirtga berilgan himoya qoplama	Protective coating applied to the surface to protect parts from exposure to atmospheric oxygen or other aggressive media

Alyuminlash	po'lat mahsulotlarning sirtini korroziya va tashqi muxit ta'siridan himoya qilish uchun alyumin bilan diffuzion to'yintirish	Diffusion saturation of aluminum to protect the surface of steel products from corrosion and environmental impact
Nikellash	po'lat mahsulotlarning sirtini nikel bilan diffuzion to'yintirish	Diffusion saturation of the surface of steel products with Nickel
Xromlash	po'lat mahsulotlarning sirtini eyilishbardoshligini oshirish uchun xrom bilan diffuzion to'yintirish	Diffusion saturation with chromium to increase the surface viscosity of steel products
Metall qoplash	maxsus apparatda suyuqlantirilgan metallni siqilgan havo yordamida purkab buyum sirtini turli metallar bilan yupqa qilib qoplash	Spraying of liquefied metal in a special apparatus using compressed air to thinly cover the surface of the product with various metals
Purkab qoplash	buyumlarni tashqi muhitidan himoyalash yo'li bilan puxtalash, ishdan chiqqanlarini tiklash maqsadida ularning sirtiga suyuq yoki kukun holidagi metallar, plastmassalarva boshqa metallarni siqilgan havo oqimida purkab qoplash	Curing products by protecting them from the environment, spraying liquid or powdery metals, plastics and other metals On the surface of compressed air in order to restore their functionality
Puxtalanish	plastik deformatsiya natijasida metall mustaxkamligi va qattiqligi ortishi	Increasing the strength and hardness of the metal as a result of plastic deformation

ADABIYOTLAR RO'YXATI

Maxsus adabiyotlar

1. Sh.A.Karimov, U.A.Ziyamuxamedova, V.A.Kim. Yuzalarga ishlov berish texnologiyalari. –T: “Fan va texnologiya”. 2019.240 b.
2. Modern Surface Technology, Edited by F.W. Bach, K. Mohwald, A. Laarmann, T. Wenz, Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2006
3. Saydaxmedov R. X. Nanostrukturniye pokritiya i sovremenniye metodi obrabotki materialov: monografiya / R. X. Saydaxmedov, K. K. Kadirbekova, A. I. Kamardin; red. E. O.Umarov; MVi SSO RUz, TGTU, AndMI. - Tashkent: Fan, 2012. - 200 s.
4. Saydaxmedov R. X. Nanostrukturniye pokritiya i sovremenniye metodi obrabotki materialov: monografiya / R. X. Saydaxmedov, K. K. Kadirbekova, A. I. Kamardin; red. E. O.Umarov; MV i SSO RUz, TGTU, AndMI. - Tashkent: Fan, 2012. - 200 s.
5. Sulima A.M., Shulov V.A., Yagodka Y.D. Poverxnostniy sloy i ekspluatatsionniye svoystva detaley mashin. – M.: Mashinostroyeniye, 2001. 240s.
6. Poverxnostniy sloy i vnutrenniye granitsi razdela v geterogennix materialax /Pod red. V.YE. Panina. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2006. 520 s.
7. Poluxin P.I., Gorelik S.S., Voronov V.K. Fizicheskiye osnovi plasticheskoy deformatsii. – M.: Metallurgiya, 2002. 584 s.
8. Bernshteyn M.L., Zaymovskiy V.A. Mexanicheskiye svoystva metallov, - M.: Metallurgiya, 2013. 495 s.
9. Gryaznov B.G., Zinkin A.N., Prudnikov V.V., Stasenkov V.P. Texnologicheskiye metodi povisheniya dolgovechnosti mashin mikrokrigennoy texniki. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 272 s.
10. Kagayev V.P., Drozdov Y.N. Prochnost i iznosotoykost detaley mashin: Uchebnoye posobiye dlya vuzov. – M.: Visshaya shkola, 2001. 319 s.
11. Rikalin N.N., Uglov A.A., Kokora A.N. Lazernaya obrabotka materialov. – M.: Mashinostroyeniye, 2014. 296 s.
12. Polevoy S.N., Yevdokimov V.D. Uprochneniye metallov: Spravochnik. – M.: Mashinostroyeniye, 2011. 320 s.

Internet saytlari

1. <http://www.Ziyonet.uz>
2. <http://www.Ref.uz>
3. <http://www.TDTU.uz>
4. www.gov.uz – O'zbekiston Respublikasi xukumat portali.
5. www.lex.uz O'zbekiston Respublikasi Qonun hujjatlari ma'lumotlari milliy bazasi.
6. www.satbask.ru– nauchniye stati i uchebniye material;
7. www.bilim.uz