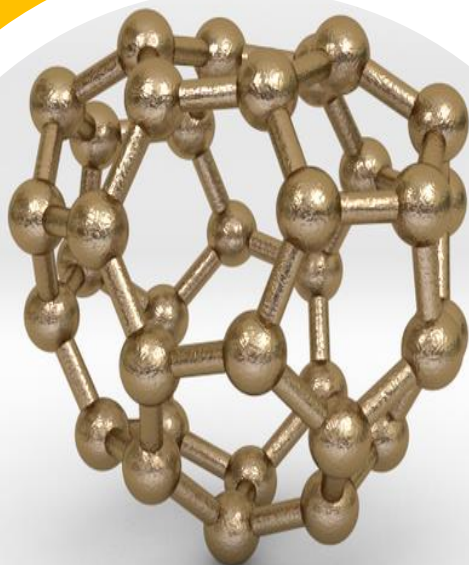


**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ПЕДАГОГ
КАДРЛАРНИ ҚАЙТА ТАЙЁРЛАШ ВА
УЛАРНИНГ МАЛАКАСИНИ ОШИРИШ
ТАРМОҚ МАРКАЗИ**



**МАТЕРИАЛШУНОСЛИК
ВА ЯНГИ МАТЕРИАЛЛАР
ТЕХНОЛОГИЯСИ**

МАТЕРИАЛЛАРНИ ПУХТАЛАШНИНГ ИЛҒОР УСУЛЛАРИ

Тошкент¹ – 2021

Мазкур ўқув-услугий мажмуа Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил 7 декабрдаги № 648-сонли буйруғи билан тасдиқланган ўқув дастур асосида тайёрланди.

Тузувчилар: “Материалшунослик” кафедраси профессори, техника фанлари номзоди Ш.А.Каримов, ф-м.ф.доктори (PhD), Ё.С. Эргашов

Тақризчи: Россия, Комсомольск – Амур техника университети, т.ф.д., профессор Ким В.А.

PhD инженеринг А.И. Абидов - “ОТМК” АЖ қошидаги нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқариш бўйича илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси директорининг илмий ишлар бўйича ўринбосари

Ўқув-услугий мажмуа Тошкент давлат техника университети Кенгашининг 2020 йил 18 декабрдаги 4-сонли қарори билан нашрга тавсия қилинган.

МУНДАРИЖА

I.	Ишчи дастури.....	4
II.	Назарий машғулотлар мазмуни.....	7
III.	Амалий машғулотлар мазмуни.....	8
IV.	Модулни ўқитишда фойдаланиладиган интерфаол таълим методлари.....	10
V.	Назарий материаллар.....	11
VI.	Амалий машғулотларнинг материаллари.....	100
VII.	Кейс банки.....	119
VIII.	Глоссарий.....	120
IX.	Адабиётлар рўйхати.....	125

ИШЧИ ДАСТУРИ

Кириш

Дастур Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чоратadbирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сон Фармонидаги устувор йўналишлар мазмунидан келиб чиққан ҳолда тузилган бўлиб, у замонавий талаблар асосида қайта тайёрлаш ва малака ошириш жараёнларининг мазмунини такомиллаштириш ҳамда олий таълим муассасалари педагог кадрларининг касбий компетентлигини мунтазам ошириб боришни мақсад қилади. Дастур мазмуни олий таълимнинг норматив-ҳуқуқий асослари вақонунчилик нормалари, илғор таълим технологиялари ва педагогик маҳорат, таълим жараёнларида ахборот-коммуникация технологияларини қўллаш, амалий хорижий тил, тизимли таҳлил ва қарор қабул қилиш асослари, махсус фанлар негизида илмий ва амалий тадқиқотлар, технологик тараққиёт ва ўқув жараёнини ташкил этишнинг замонавий услублари бўйича сўнгги ютуқлар, педагогнинг касбий компетентлиги ва креативлиги, глобал Интернет тармоғи, мультимедиа тизимлари ва масофадан ўқитиш усулларини ўзлаштириш бўйича янги билим, кўникма ва малакаларини шакллантиришни назарда тутади.

«**Материалларни пухталашнинг илғор усуллари**» модулидан ишчи ўқув дастури металл ва нометалл материалларнинг юза қатламини пухталашнинг илғор усулларини турлари ва ишлатилиши, улар таъсирида юза қатлами хоссаларини, структурасини ва эксплуатацион хусусиятларини ҳамда уларнинг турли таъсирлар натижасида ўзгариш қонуниятлари билан боғлиқ бўлган билимларни қамраб олган.

Модулнинг мақсади ва вазифалари

Модулнинг мақсади – тингловчиларга турли соҳаларда қўлланиладиган ва қўлланилиши режалаштирилган металл ва нометалл материалларнинг юза қатламини пухталашнинг илғор усулларини турлари ва ишлатилиши, улар таъсирида юза қатлами хоссаларини, структурасини ва эксплуатацион хусусиятларини ишлов бериш усуллари бўйича йўналиш профилига мос билим, кўникма ва малакани шакллантиришдир.

Модулнинг вазифаси - тингловчиларда металл ва нометалл материалларнинг юза қатламини пухталашнинг илғор усулларини турлари ва ишлатилиши, улар таъсирида юза қатлами хоссаларини, структурасини ва эксплуатацион хусусиятларини ўзгариш қонуниятлари билан боғлиқ бўлган билимларни ҳосил қилиш ҳамда янги материаллар ва технологиялар ҳақида маълумотлар беришдир.

Модул бўйича тингловчиларнинг билими, кўникмаси, малакаси ва компетенцияларига қўйиладиган талаблари

«**Материалларни пухталашнинг илғор усуллар**» модулини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида:

Тингловчи:

- фаннинг долзарб муаммолари;
- материалларни пухталашнинг илғор усуллари фанининг ривожланиш тенденцияси;
- материалларни пухталашнинг назарий ва амалий манбалари;
- материалларни пухталашнинг усуллари;
- материалларни пухталашнинг усуллари қўлланилиши;
- материалларни пухталашг усуллари ҳақида **билимларга эга бўлиши лозим.**

Тингловчи:

- материалларни пухталашнинг усулларида фойдалана олиш;
- материалларни пухталашнинг усуллари физик, кимёвий, механик, технологик ва эксплуатацион хосаларини таҳлил қилиш;
- материалларни пухталашни тадқиқот қилиш усулларида фойдаланиш;
- материалларни пухталашнинг усуллари натижаларини таҳлил қилиш **кўникма ва малакаларига эга бўлиши зарур.**

Тингловчи:

- материалларни пухталашнинг усуллари жараёни асосларини билиши ва улардан фойдалана олиши;
- машинасозлик соҳаларида ишлатиладиган детал ва буюмлар ва бошқалар учун пухталашнинг усуллари танлай олиш **компетенцияларига эга бўлиши лозим.**

Модулни ташкил этиш ва ўтказиш бўйича тавсиялар

“**Материалларни пухталашнинг илғор усуллар**” модули маъруза ва амалий машғулотлар шаклида олиб борилади.

Модулни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий методлари, педагогик технологиялар ва ахборот-коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган:

- маъруза дарсларида замонавий компьютер технологиялари ёрдамида презентацион ва электрон-дидактик технологиялардан;

- ўтказиладиган амалий машғулотларда блиц-сўровлар, тест сўровлари, “Ақлий хужум”, “ФСМУ”, “Кичик гуруҳларда ишлаш”, “Кейс-стади” ва бошқа интерактив таълим усуллари қўллаш назарда тутилади.

Модулнинг ўқув режадаги бошқа фанлар билан боғлиқлиги ва узвийлиги.

«Материалларни пухталашнинг илғор усуллар» модули ўқув режадаги қуйидаги фанлар билан боғлиқ: “Материалларни илғор тадқиқот усуллари”, “Илғор функционал материаллар”.

Модулнинг олий таълимдаги ўрни

Модулни ўзлаштириш орқали тингловчилар материалшунослик соҳаларида қўлланиладиган ва қўлланилиши режалаштирилган материалларни пухталашнинг илғор усуллари турлари, тузилиши, структураси, хоссаси ва бошқа ишлов бериш усуллари ўрганиш, амалда қўллаш ва баҳолашга доир касбий компетентликка эга бўладилар.

“Материалларни пухталашнинг илғор усуллари” модули бўйича соатлар тақсимооти

№	Модул мавзулари	Тингловчининг ўқув юклараси, соат			
		Жами	Назарий	Амалий машғулот	Қўчма машғулот
1.	Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси.	6	2	4	
2.	Махаллий пластик деформациялаш усули ёрдамида ишлов бериш.	4	2	2	
3.	Электручқунли, лазер нури ёрдамида, детанацион усул билан, плакерлаш билан пухталаш технологиялари.	4	2	2	
4.	Вакуум- плазмали, электрокимёвий қопламалар қопламалар ва ионли имплантациялаш усуллари билан юзаларни пухталаш.	6	2	4	
	Жами:	20	8	12	

II. НАЗАРИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-мавзу: Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси.

Кристалл сруктурасидаги материалларнинг пухталаниш механизмидаги нуқсонларнинг роли. Векторли мустаҳкамлаш диаграммаси. Эффе́ктларни кучайтириш таснифи. Пухталаниш жараёнининг термодинамикаси. Пухталаниш технологияларини таснифлаш. Пухталаниш вектор диаграммаси. Пухталаниш жараёнларининг термодинамикаси. Пухталовчи энергетик таъсир кўрсатишнинг таснифи. Пухталаниш технологиялари таснифи.

2-мавзу: Махаллий пластик деформациялаш усули ёрдамида ишлов бериш.

Пухталанишнинг назарий асослари. Деформацияни камайтириш жараёнининг термик шароитлари. Пухталаш усулларини оптималлаштириш. Деформацион пухталаниш жараёнининг иссиқлик шарт-шароитлари. Булғалаш. Силлиқлаш. Калибрлаш. Олмосли силлиқлаш. Дорналаш. Чиканкалаш. Пластик деформациялаш усулида қайта тиклаш. Механик ва иссиқлайин пухталашнинг комбинациялашган тамойили. Электромеханик ишлов бериш. Қўшимча материалларсиз электромеханик тиклаш. Қўшимча материал билан электромеханик тиклаш.

3-мавзу: Электручқунли, лазер нури ёрдамида, детанацион усул билан, плакерлаш билан пухталаш технологиялари

Электручқунли қошлаш учун электрод материаллари. Электручқунли пухталашнинг қўлланиш области. Электручқунли қошлама қошлаш амалиёти. Электручқунли қошлама қошлаш учун ускуналар ва жиҳозлар. Электручқун билан қошланган қатламининг технологик хусусиятлари. Электручқунли қошлама қошлаш амалиёти. Электручқунли қошлама қошлаш учун ускуналар ва жиҳозлар. Электручқунли қошлама қошлашнинг махсус усуллари.

Лазерли термик ишлов бериш. Лазерли локал легирлаш. Лазер ёрдамида пайвандлаш. Лазер ёрдамида кесиш.

4-мавзу: Вакуум- плазмали, электрокимёвий қошламалар ва ионли имплантациялаш усуллари билан юзаларни пухталаш.

Вакуумда қошлама қошлаш усулларини синфланиши. КИБ усули. Қўлланиш области. Ускуна ва жиҳозлари. Кўп қатламли қошламалар. Ион-вакуумли нанотехнологиялар.

Ион имплантациялашнинг физик асослари. Ион имплантацияси учун ускуналар. Ион имплантациясининг технологиялари. Ион имплантациясининг қўлланиш областлари. Ион имплантацияси пайтида металл материалларни аморфланиши. Наносруктуралар.

III. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-амалий машғулот: Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси

Юзани пластик деформациялаш ёрдамида (шарик ёки роликни ишлов берилаётган материалга эзиш) ташқи қатламини физик –механик ҳоссаларини ўзгартириш.

2- амалий машғулот: Маҳаллий пластик деформациялаш усули ёрдамида ишлов бериш

Юзани пластик деформациялаш ёрдамида (шарик ёки роликни ишлов берилаётган материалга эзишда электроконтакт қиздириш билан) ташқи қатламини физик –механик ҳоссаларини ўзгартириш.

3- амалий машғулот: Электрочқунли, лазер нури ёрдамида, детанацион усул билан, плакерлаш билан пухталаш технологиялари

Ёйилишга бардош электроочқунли қопламаларни қоплаш технологик режимларини ўрганиш, аниқлаш ва ВК, ТК электродлари материали билан оптимал режимларни солиштириш.

4- амалий машғулот: Вакуум- плазмали, электрокимёвий қопламалар қопламалар ва ионли имплантациялаш усуллари билан юзаларни пухталаш

Лазер нури ёрдамида юзаларга юпқа қатламли қопламаларни қоплаш технологияси билан танишиш ва детал юза сифатини назорат қилиш.

Таълимни ташкил этиш шакллари

Таълимни ташкил этиш шакллари аниқ ўқув материали мазмуни устида ишлаётганда ўқитувчини тингловчилар билан ўзаро ҳаракатини тартиблаштиришни, йўлга қўйишни, тизимга келтиришни назарда тутати.

Модулни ўқитиш жараёнида қуйидаги таълимнинг ташкил этиш шаклларидан фойдаланилади:

- маъруза;
- амалий машғулот;
- мустақил таълим.

Ўқув ишини ташкил этиш усулига кўра:

- жамоавий;
- гуруҳли (кичик гуруҳларда, жуфтликда);
- яқка тартибда.

Жамоавий ишлаш – Бунда ўқитувчи гуруҳларнинг билиш фаолиятига раҳбарлик қилиб, ўқув мақсадига эришиш учун ўзи белгилайдиган дидактик ва тарбиявий вазифаларга эришиш учун хилма-хил методлардан фойдаланади.

Гуруҳларда ишлаш – бу ўқув топшириғини ҳамкорликда бажариш учун ташкил этилган, ўқув жараёнида кичик гуруҳларда ишлашда (2 тадан – 8 тагача иштирокчи) фаол роль ўйнайдиган иштирокчиларга қаратилган таълимни ташкил этиш шаклидир. Ўқитиш методига кўра гуруҳни кичик гуруҳларга, жуфтликларга ва гуруҳларора шаклга бўлиш мумкин. *Бир турдаги гуруҳли иш* ўқув гуруҳлари учун бир турдаги топшириқ бажаришни назарда тутди. *Табақалашган гуруҳли иш* гуруҳларда турли топшириқларни бажаришни назарда тутди.

Якка тартибдаги шаклда- ҳар бир таълим олувчига алоҳида- алоҳида мустақил вазифалар берилади, вазифанинг бажарилиши назорат қилинади.

IV. МОДУЛНИ ЎҚИТИШДА ФОЙДАЛАНИЛАДИГАН ИНТЕРФАОЛ ТАЪЛИМ МЕТОДЛАРИ.

Маъруза машғулоти ташкил этишнинг шакл ва хусусиятлари

“АҚЛИЙ ҲУЖУМ” МЕТОДИ

Методнинг ўқув жараёнига татбиқ этилиши “Ақлий ҳужум” методи учун саволлар

- Пўлат листни коррозиядан сақлаш учун қандай технологияларни таклиф этасиз?
- Metall сиртини металл бўлмаган қайси моддалар билан қоплашда қандай инновациялардан фойдаланиш мумкин?
- Солиштирма ҳажм детанда нимани тушунасиз ва буни изоҳлаб беринг.
- Конвертрлаш нима?
- Metallургик шлак таркибидаги асосий элементларни қайси йўл билан аниқлаш мумкин?

Методнинг ўқув жараёнига татбиқ этилиши. “ФСМУ” методи учун келтирилган фикр

Фикр: Мартесит ўзгаришлар содир бўлиш жараёни ҳароратини қайтиши қанчалик юқори бўлса, материалнинг шаклини сақлаш эффекти даражаси шунчалик паст бўлади.

Ф – фикрингизни баён этинг.

С – фикрингиз баёнига бирор сабаб кўрсатинг.

М – Кўрсатилган сабабни исботловчи мисол келтиринг.

У – фикрингизни умумлаштиринг.

Методнинг ўқув жараёнига татбиқ этилиши. Мавзу юзасидан гуруҳларга бериладиган топшириқлар

1-ГУРУҲ. Қоплама қопланган юза ҳолатда фаза ўзгаришларининг умумий қонуниятларини изоҳланг.

2-ГУРУҲ. Пухталанган юзанинг структура ўзгаришларини механизмини аниқланг..

3-ГУРУҲ. Юза ўзгаришлар термодинамикасини таҳлил қилинг ва изоҳланг.

Гуруҳлар фаолиятини баҳолаш меъёрлари.

Мезонлари	баллар			
	2	3	4	5
Мазмуни				
Гуруҳнинг фаол иштироки				
Белгиланган вақтга риюя этилганлиги				
Тақдимооти				

Баҳолаш меъёрлари: Юқори балл-20 балл

18-20 баллгача -“АЪЛО” ;

15-17 баллгача -“ЯХШИ” ;

12 - 14 баллгача -“ҚОНИҚАРЛИ”;

12 дан паст балл - “ҚОНИҚАРСИЗ”

V. НАЗАРИЙ МАТЕРИАЛЛАР

1-мавзу: Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси.

Режа:

1. Материални мустаҳкамлашнинг асосий структуравий механизмлари.
2. Пухталашнинг умумлаштирилган термодинамик модели.
3. Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси

Таянч чўз ва иборалар: Пухталаш, термодинамик, модели, оқувчанлик чегараси, легирловчи элементлар, дислокация, дисперс зарралар.

1.1 Материални мустаҳкамлашнинг асосий структуравий механизмлари

Мустаҳкамлик бу материалнинг ташқи механик, иссиқлик, кимёвий-оксидловчи, электрик ва бошқа таъсирлар остида ўз шаклини ўзгартиришга ва синишга қаршилик кўрсатиши бўлиб, бу жуда мураккаб тушунча ҳисобланади ва алоҳида система ва ўзаро боғлиқ кўрсаткичлар орқали акс эттирилади[11]. Унга асосан қуйидагилар киради: оқувчанлик чегараси, чўзилиш ва сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси, чидамлилиқ чегараси, силжувчанлик чегараси, давомий мустаҳкамлик чегараси, зарбий қовушқоқлик, қовушқоқ ҳолатга ўтиш температураси, узилишдаги нисбий узайиш, қаттиқлик, иссиққабардошлик, оловбардошлик, ейилишгабардошлик ва бошқалар. Санаб ўтилган хоссалар мустаҳкамлик талабларининг турли-туманлигини кўрсатиб қолмай, балки материалнинг механик ёки ҳарорат юкламалар таъсирида ўзини тутишини акс эттиради. Улар ҳар доим ҳам материални иш шароитидаги керакли хоссаларини таъминлаб беролмайди, лекин шунга қарамай бу хоссаларга кўра материал

танланади. Деярли ҳамма солиштирма мустаҳкамлик механик хоссалар бирор-бир юклама таъсири остида ишлаётган материалнинг ишдан чиқиш ишини кўрсатади. Шунга кўра, материални чўзилишга синашда материалнинг бузилиш иши қуйидагича аниқланади.

$$A = \int_0^{\Delta L_{кр}} \sigma S \cdot dL \approx \sigma_{вр} S \cdot \Delta L_{кр}$$

бу ерда $\sigma_{вр}$ - чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси; S -намуна кўндаланг кесими юзаси; $\Delta L_{кр}$ -намунанинг абсолют узайиши, олдинги узилиш.

Емирилишнинг солиштирма ишини қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

$$a_{уд} = \frac{A}{S \cdot \Delta L_{кр}} \approx \sigma_{вр}$$

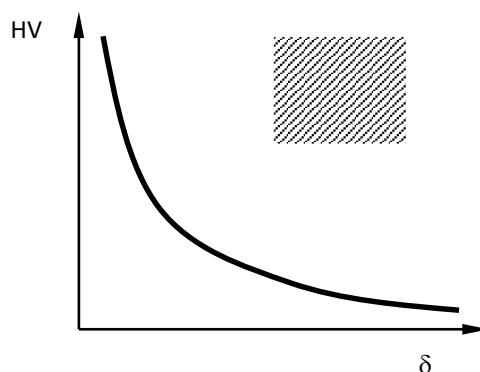
Солиштириш шуни кўрсатадики, сиқилишдаги емирилиш солиштирма иши сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасига деярли тенг ($a_{уд} \approx \sigma_{вс}$), қирқилишда эса, қирқилишдаги мустаҳкамлик чегарасига тенг ($a_{уд} \approx \tau_{ср}$). Ўхшаш боғлиқликларни ҳамма кўринишдаги бузилишлар учун олишимиз мумкин. Мустаҳкамлик хоссаларининг бирининг ошиши бошқаларининг ошишига сабаб бўлади, бу эса улар орасида яқин боғлиқлик борлигини кўрсатади. Механик мустаҳкамлик хоссалар биргаликда қаттиқ жисм ички энергетик ҳолатини акс эттиради, лекин $\sigma_{вр}$, $\sigma_{вс}$, $\tau_{ср}$ ва бошқалар орқали ифодаланадиганларнинг қийматлари орасидаги номувофиқликни пластик деформация ишини ҳажм бўйлаб нотекис тақсимланиши тушунтириши мумкин. Албатта, чўзилишда намунанинг бир хил кўндаланг кесимлари юзаларида пластис деформациянинг ҳажмий тақсимланиши бўйинчада ёки бир жинсли ва барқарор бўлмаган зонасида содир бўлади, сиқилишда эса намунанинг бутун узунлиги бўйлаб, қирқилишда эса қирқиш текислиги билан туташган тор бир неча микрометр қалинликдаги зонада содир бўлади.

2. Пухталашнинг умумлаштирилган термодинамик модели.

Материалнинг турли хил ташқи кучларга қаршилик кўрсата олиши унинг структуравий хоссаларига боғлиқ бўлиб, уларни ўзгартириш орқали мустаҳкамликни керакли йўналишда бошқариш мумкин. Мустаҳкамланиш структура ўзгаришига боғлиқ. Лекин алоҳида мустаҳкамлик хоссаларининг ошиши ихтиёрий юкламаларда ишлашга имкон берадиган юқори эксплуатацион хоссаларни таъминламайди. Металл материалларнинг қаттиқлиги кўтарилиши уларнинг чўзилиш ва сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараларининг кўтарилишини таъминлайди, лекин толиқиш хоссалари ёмонлашади. Чидамлилик чегараси пластикликнинг кўтарилиши ва қаттиқликнинг камайиши билан ортади. Ейилишга бардошлиликни таъминлаш учун материалнинг эластик-пластик хоссаларига эътибор қаратиш керак. Абразив ва адгезион ейилишга бардошлилиги материалнинг қаттиқлиги ва мустаҳкамлик чегараси

билан ҳарактерланади [9]. Водородли, оксидловчи, кавитацион ва диффузион ейилишда материалнинг эксплуатацион хоссалари мустаҳкамлик хоссаларига унча боғлиқ бўлмайди.

1.1-расмда материалнинг эластик ва пластик хоссалари орасидаги умумий боғланиш кўрсатилган. Мустаҳкамликнинг ортиши билан ҳар доим пластиклик ва ишланувчанлик ёмонлашади. Идеал конструкцион материал ҳар доим юқори мустаҳкамликка эга ва яхши ишланувчан бўлиши керак. Бундай материал учун 1.1-расмдаги умумий боғлиқликка нисбатан олинган ўнг юқори штрихланган юза мос келади.



1.1-расм. Материалнинг эластик ва пластик хоссаларининг умумий боғлиқлиги

Кўпчилик биз кундалик ҳаётда ва ишлаб чиқаришда ишлатадиган металл материаллар сингиш ва ўрин олиш қаттиқ эритмалари асосли поликристалл, гетероген структураларга эга бўлади. Поликристалларда фазалар, доналар ва заррачалар ўртасидаги чегара ўсиб боради. Поликристалларни ташкил этувчи фазаларда ҳар доим кристалл тузилишдаги нуқсонлар бўлади ва уларнинг тарқалганлиги ва концентрацияси легировчи элементлар ва аралашмаларнинг борлиги билан боғлиқ. Ҳамма санаб ўтилган ташкил этувчилар материал структурасини ташкил этади ва бу ташкил этувчиларни турли комбинацияси қотишманинг турли структурага эга бўлишини таъминлайди ва структурага боғлиқ бўлган хоссаларини белгилаб беради.

Мустаҳкамланишда турли структуравий факторларнинг улуши мисол учун оқувчанлик чегарасини ошиши учун қуйидаги боғлиқ мавжуд:

$$\sigma_T = \sigma_{\text{то}} + \Delta\sigma_{\text{тв.р}} + \Delta\sigma_{\text{дч}} + \Delta\sigma_{\text{дисл}} + \Delta\sigma_{\text{гр.з}} + \Delta\sigma_{\text{суб.з}}$$

Бу ерда $\sigma_{\text{то}}$ -Пайерлса-Набарро кучланиши; $\Delta\sigma_{\text{тв.р}}$ - бегона кўшимча атомларининг сингиш ва ўрин олиш механизми билан мустаҳкамланиши; $\Delta\sigma_{\text{дч}}$ - дисперс заррачалар билан мустаҳкамланиши; $\Delta\sigma_{\text{дисл}}$ -дислокация ва дисклинация ҳисобига мустаҳкамланиш; $\Delta\sigma_{\text{гр.з}}$ - доналар орасидаги мустаҳкамланиш; $\Delta\sigma_{\text{суб.з}}$ - доналарнинг мустаҳкамланиши.

Юқорида кўрсатилган тенглик (1.3) кристалл тузилишда турли нуқсонларнинг мавжудлигини ахамиятини кўрсатади. Шунда, $\Delta\sigma_{\text{тв.р}}$ -нуқтали нуқсонларнинг зичлиги, $\Delta\sigma_{\text{дисл}}$ -чизикли нуқсонларнинг зичлиги, $\Delta\sigma_{\text{гр.з}}$ ва $\Delta\sigma_{\text{суб.з}}$ сиртки юзадаги нуқсонларнинг таъсирини кўрсатади, $\Delta\sigma_{\text{дч}}$ -кристалл тузилишдаги ҳажмий нуқсонлар.

Пайерлса-Набарро кучланиши кристалда дислокацияни силжишида зарур бўлган уринма кучланиш бўлиб, бунда бошқа нуқсонлар бўлмайди. Пайерлса-Набарро кучланишининг формуласи куйидагича:

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

Бу ерда G - силжишдаги эластиклик модули; μ -Пуассон коэффициент; d - кўшни атом текисликлари орасидаги масофа; b - Бюргерс вектори сирпаниш йўналиши бўйича атомлар орасидаги масофа.

3. Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси

Кўшни атомар текисликлар орасидаги масофанинг ортиши ва сирпаниш йўналиши бўйлаб атомлар орасидаги масофанинг қисқариши билан Пайерлса-Набарро кучланиши пасаяди. Атомлари зич жойлашган текисликлар ва йўналишлар учун d/b нисбат одатда юқори бўлади ва бу йўналишлар бўйлаб кўпинча силжиш содир бўлади.

Бегона кўшимчаларнинг ўрин олиш ёки сингиш қаттиқ эритмалари ҳосил қилиш орқали мустаҳкамликни оширилиши дислокацияларни кристалл тузилишдаги нуқтали нуқсонлар билан тормозланишини таъминлайди. Бу ҳолат дислокацияларни ҳосил қиладиган кучланиш майдонида бегона кўшимча атомларининг диффузияси йўналишига таъсир этади ва бу бегона кўшимча атомларининг асосий метал структураси бўйлаб нотекис тарқалишига сабаб бўлади.

Дислокацияларнинг бегона кўшимча атомлари билан таъсирлашуви 4 хил бўлади:

- 1-тур эластик таъсирлашув (ўлчамли таъсирлашув);
- 2-тур эластик таъсирлашув (эластиклик модули бўйича таъсирлашув);
- кимёвий таъсирлашув;
- электрик (кулонли) таъсирлашув.

Ҳар бир турдаги таъсирлашув кристаллдаги атомлар орасидаги боғланиш табиатига, кўшимчалар хусусиятига ва бошқа факторларга боғлиқ, санаб ўтилган бу таъсирлашувларнинг бири ёки ҳаммаси ҳам мавжуд бўлиши мумкин.

1-тур эластик таъсирлашув дислокация ва кўшимча атом атрофидаги эластик кучаланиш майдони мавжудлиги билан боғлиқ. Кўшимча атоми атрофидаги

кучланишнинг ишораси асосий (r_0) ва қўшимча (r) элемент атоми радиусларига боғлиқ. Эритмаларда ўрин олувчи атомлар асосий элемент атомларининг эгаллаши учун $r < r_0$ бўлиши керак, ва улар дислокациянинг зич ҳудудлари томон интилади. Агар $r > r_0$ бўлса, қўшимча элемент атомлари асосий элемент атомлари орасига сингади. Қўшимча элементлар атомлари булути дислокацияларнинг силжишини тўхтатади ва бу булут Коттрелл атмосфераси дейилади. Коттрелл атмосферасининг аҳамияти таркибида углерод ва азот каби элементларга эга бўлган металллар жуда катта.

2-тур эластик таъсирлашувда эса қўшимча атомлар ёки вакансиялар матрицага қараганда кичик ҳудудли эластик доимийларини намоён қилади. Шу сабабли дислокация силжишига сарфланган иш одатий эластик таъсирлашув учун сарф бўлган ишдан фарқ қилади. Қўшимча элемент атомининг радиуси кичрайиши билан эластик модули бўйича энергетик таъсирлашув ошади ва вакансия билан таъсирлашганда у максимал қийматга етади. 2-тур эластик таъсирлашув дислокация атрофида вакансиялар концентрацияси ошишига сабаб бўлади ва жуда кичик масофаларда ҳосил бўлади

Кимёвий таъсирлашув парчаланган дислокациялар яқинида ҳосил бўлади. Бундай ҳолатда қўшимча элемент атомининг нуқсон тўпланган жойга тушиши метал электрон структурасидаги боғланишни ва натижада атомлар орасидаги боғланиш ҳарактерини ҳам ўзгартиради. Бу ўзгаришлар тўпланиш энергиясини камайиши ва парчланишни ошишига сабаб бўлади ва бу қўшимча элемент атомларининг нуқсонлар тўпланган жойга диффузияланиши учун энергия жиҳатидан енгил шароит яратади. Нуқсонлар тўпланган қатламда қўшимча элементлар миқдори ортиши Судзуки атмосфераси дейилади. Судзуки атмосфераси ҳосил бўлганда дислокация энергияси камаяди ва уни тормозлашни ҳам таъминлайди.

Электрик таъсирлашув фақат айрим кристалл структураларда ҳосил бўлади ва кейинчалик кўриб чиқилади. Иккита оддий дислокацияни бирлаштириш орқали мураккаб дислокациялар комбинациясини олиш мумкин ва уларнинг ўзига хослиги шуки экстра текислик четидаги боғланиш бузилган бўлади. Бундай турдаги дислокациялар ярим ўтказгичлар ва ион кристаллар учун хосдир. Бунда дислокациялардаги бузилган боғланишлар худди қабул қилувчи вазифасини бажаради, яъни электрон ўтказувчанликни ёмонлаштиради ва шу билан бирга дислокация ва мусбат зарядли ионлар орасида кулон кучларини ҳосил қилади.

Дислокацияларнинг нуқтали нуқсонлар билан таъсирлашув энергиясининг миқдорий қийматлари 1.1 жадвалда келтирилган.

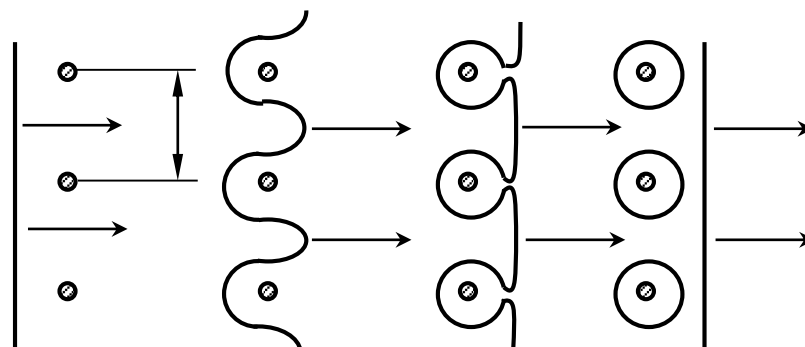
Жадвал 1.1. Дислокацияларни қўшимча элемент атомлари билан таъсирлашув энергияси [27].

Таъсирлашув тури	Ҳисоблаш формуласи	Ўртача қийматлар, эВ	Нуқсон кўриниши
1.1-тур эластик таъсирлашув	$E_1 = \alpha G b r_0^3 \left(\frac{\Delta r}{r_0} \right) \cdot \sin \left(\frac{\theta}{r} \right)$	0,1 0,1	Тугунлар орасидаги атомлар
2. 2-тур эластик таъсирлашув	$E_2 = \Delta G \left(\frac{b^2}{r^2} \right)$	0,05...0,2	Ўрин олиш
3. Кимёвий таъсирлашув	$E_4 = D b^2 \left(5 + \ln \frac{r\gamma}{D b^2} \right)$	0,05...0, 0,2...0,5	атомлари
4. Электрик таъсирлашув	$E_4 = f \frac{e^2}{a}$	0,05...1 0,02	Вакансиялар

Айниқса дисперс-пухталанган қотишмаларда мустақамликни ошириш учун дисперс зарралар билан пухталаш муҳим рол ўйнайди. Бу дисперс зарралар кўплаб шаклларда дислокацияларни тормозлайди. Агар иккинчи фаза зарралари орасидаги масофа катта бўлса, таъсир этувчи юклама таъсирида вужудга келадиган уринма кучланиш таъсири остида дислокация бу зарралар орасида эгилади ва тўлқинсимон шаклга келади, кейин эса зарраларни енгиб ўтади, бу жараёнда Франк-Рида модели каби дислокациялар сони ортади (1.2-расм). Дисперс зарралар орқали ўтган дислокациялар ўз атрофида дислокацион ҳалқа изларини қолдиради, шу сабабли дислокацияларнинг умумий узунлиги ўсиб боради ва шунга монан дислокация энергияси ҳам ўсиб боради. Дислокацияларнинг иккинчи фаза дисперс заррачалари билан таъсирлашуви ҳисобига оқувчанлик чегарасини ошириши Орована тенглиги орқали ифодаланади.

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

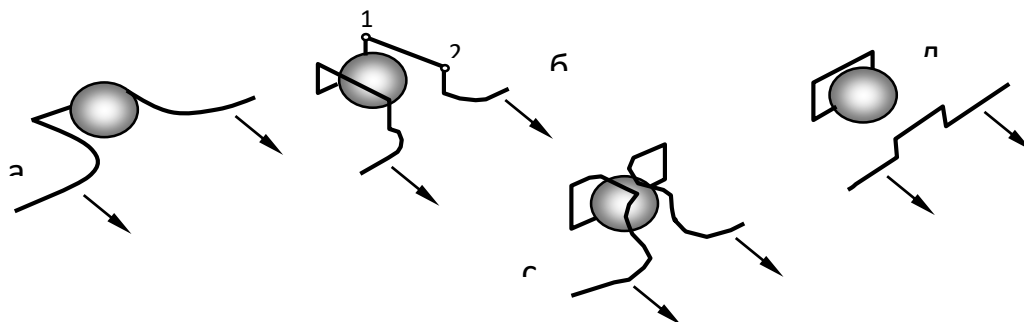
бу ерда L - дисперс заррачалар орасидаги ўртача масофа.



L

1.2-расм. Заррачаларнинг Орована усули билан сирпаниш текислиги бўйлаб дислокациялардан ўтиш схемаси

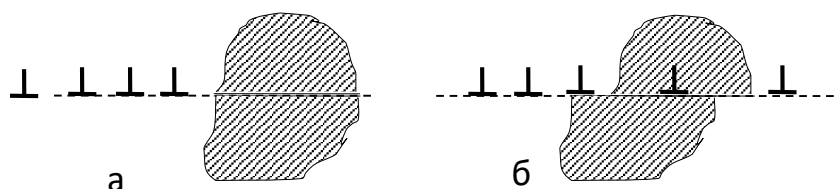
Йирик дисперс қўшимчаларнинг бўлиши иккинчи фазанинг когерент бўлмаган заррачаларини айланиб ўтиш механизмини амалга оширади, қайсики кўндаланг силжишда, юқори температураларда содир бўлади (расм. 1.3).



2.3-расм. Иккинчи фаза заррачаларининг дислокация орқали ўтишидаги маҳаллий кўндаланг силжиш босқичлари

Маҳаллий кўндаланг силжиш қачонки иккинчи фаза заррачалари орасида эгилишдан ҳосил бўладиган сирпанувчи дислокация винтли сегментлар ҳосил қилганда содир бўлади. Бу сегментлар икки баробар кўп кўндаланг силжишга сабаб бўлиши мумкин, қайсики заррачаларни айланиб ўтиш учун бошқа текисликка ўтадиган ва дастлабкисига қайтиб келади (1.3-расмда б.даги 1-2 тур зона). Винтли сегментлар ҳар хил ишорали бўлиб, бир-бирига қарама-қарши йўналишда эгилади (1.3-расм, в) ва бир-бирини компенсациялайди, шунингдек ўз кетидан призматик сиртмоқ шаклини қолдиради ва дислокация сирпаниши учун иккита зина қолдиради(1.3-расм,г).

1.5 формулага кўра зарралар ўртасидаги масофанинг камайиши билан кучланиш ортади ва бу кучланиш улар орасида дислокациянинг сиқилиши учун зарурдир ва яна шунингдек зарралар бўйлаб дислокацияни ўтказиш худди уни қайта кесганга ўхшаган вазиятда, момент ҳосил бўлиши мумкин (1.4-расм). Шу сабабли заррачалар кристалл панжараси матрицаникидан фарқ қилади, матрицадаги сирпанувчи дислокациянинг заррача панжарасига кириши сирпаниш текислиги бўйлаб атомларнинг тартибли жойлашувини бузади. Заррача Бюргерс вектори орқали матрица дислокациясига сурилади ва бу вектор заррача кристалл панжараси силжиш векторидан фарқ қилади. Натижада заррача ички қисмларида юқори энергетик юзага эга бўлган қисмлар ҳосил бўлади ва бу дислокациянинг тормозланишига сабабчи бўлувчи омиллардан биридир.



2.4-расм. Сирпанувчи дислокация дисперс заррачаларининг қирқилиш схемаси

Дислокацияларнинг тормозланишининг яна бошқа сабаби қирқилган заррачалар ва матрицалар орасидаги юза қисмларнинг катталашishi билан боғлиқ ва бу юзалар устида зиначалар ҳосил бўлади (1.4-расм). Ярим-когерент заррача ва Гине-Престон туридаги майдон ҳисобига мустаҳкамланиш катталиги қуйидаги тенглик орқали баҳоланади:

$$\Delta\sigma_{д.ч.} = \frac{\Delta G}{4\pi} \cdot \frac{d}{L}$$

Дислокацияларнинг тормозланишига яна бир сабаб бу заррача атрофида узок таъсир этувчи эластик кучланиш майдонларининг мавжудлиги. Бундай кучланишлар заррача ва матрица солиштирма ҳажмлари орасидаги тафовут сабабли ҳосил бўлади ва бунинг натижасида заррача ажралиб чиқади. Агар матрица бир текис ажратиб олинса, эластик деформация турли параметрли кристалл панжарани равон боғланишини таъминлайди.

Қиздириб ёки совуқлайин пухталаш натижасида эркин (панжарали) дислокацияларнинг зичлиги ошиши билан матрицанинг мустаҳкамлиги дислокацияларнинг тўпланиши жойи атрофида ориентирланмаган кучланиш майдонлари пайдо бўлиши, сирпанувчи текисликларнинг ҳаракати тўсилиши ва бирлашиши, дислокацияларнинг икки чегара билан кесишиши, тузилишдаги нуқсон, уларнинг иккинчи фазада мустақкам ўрнашиши ва ҳосил қилинган пластик деформация ҳисобига ошади. Иккита дислокациянинг перпендикуляр бўлган Бюргерс вектори билан ўзаро таъсирлашуви натижасида “ўтирувчи” деб аталадиган дислокация ҳосил бўлади, бу дислокация юқори чидамлик ва паст ҳаракатланишга эга. Бундай дислокациялар биргаликда “дислокациялар ўрмони”ни ҳосил қилади, бу эса оқувчанлик чегарасининг сезиларли равишда ошишини таъминлайди. Ҳаттоки дислокацияларнинг зичлиги кичик бўлганда ($\rho = 10^8 \dots 10^9 \text{ см}^{-2}$) ҳам, “дислокациялар ўрмони”нинг мустаҳкамланишдаги ҳиссаси 40-50 мкм доначалар таъминлайдиган мустаҳкамлик билан деярли бир хил бўлади. Дислокациялар зичлиги ортиб бориши билан, “дислокациялар ўрмони”нинг мустаҳкамлашдаги роли кучайиб боради. Эркин дислокациялар

ҳисобига бўладиган мустаҳкамланишни қуйидаги тенглик орқали баҳолаш мумкин:

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

бунда $\alpha \approx 0,5$

Донанинг катта бурчакли чегаралари структуравий икки-ўлчовли нуқсон ҳисобланади ва улар бир вақтнинг ўзида дислокацияларнинг ҳосил қилувчи манъба ҳисобланади ва дислокацияларнинг силжишини тормозлайди. Узоқ таъсир доирали кучланиш майдонига эга панжара дислокацияси ўзига яқинлашаётган бошқа панжара дилокациясини эластик итаради. Ҳар кейинги дислокация тўсилган дислокациядан олдин кучланиш майдони таъсирида тормозланади ва шу сабабли дона чегарасидан узоқ масофада ўзи тўхтайтиди. Катта бурчакли чегараларнинг мустаҳкамланишдаги улуши Холла-Петч боғланиши орқали ифодаланади:

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

бу ерда D – донанинг ўртача ўлчами.

Доначалар чегараларининг субструктурасининг мавжуд бўлиши ўхшаш доналар орасидаги чегараларни тўсувчи таъсирга эга. Бу механизмнинг мустаҳкамланишдаги улуши Ленгфорд-Коен боғланиш орқали аниқланади:

$$\Delta\sigma_{\text{суб.з}} = \frac{K_2}{D_*^n}$$

Бу ерда D_* - доначаларнинг ўртача ўлчами; n - даража кўрсаткичи, қайсики материал тури ва унинг ички структурасига боғлиқ.

Бир қанча ҳолатларда катта бурчакли доначаларнинг чегараларига қараганда бироз нотўғри йўналтирилган полигонал доначалар чегаралари мустаҳкамлашда аҳамиятлироқ бўлиши мумкин. Бундай чегараларнинг ҳосил бўлиши панжарали дислокациялар зичлигининг камайиши билан боғлиқ бўлиб, бу дислокациялар панжара деворларида жойлашади ва бу калавасимон дислокациянинг уясимон ва полигонал турга ўтишини таъминлайди. Нотўғри йўналганликнинг ортиши доначаларнинг мустаҳкамликка бўлган таъсирини оширади. Шунда металлларнинг мустаҳкамланиши уларнинг кристалл тузилишидаги турли хил нуқсонларнинг ҳосил бўлиши ва ўзаро таъсирлашув жараёни билан боғлиқ. 1.5-расмда академик А.А. Бочварнинг металлларнинг мустаҳкамлигини унинг кристалл тузилишидаги нуқсонларга боғлиқлигини кўрсатувчи тенглиги берилган. Кристалл тузилишда нуқсон бўлмаганда металлнинг мустаҳкамлиги назарий жиҳатдан кесиш жараёни учун қуйидагича бўлади:

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

Кристалл панжарада нуқсоннинг пайдо бўлиши унинг мустаҳкамлигини кескин минимумгача пасайтиради, кейинчалик эса яна кўтарилади. Кристалл тузилишдаги нуқсонлар зичлигининг ортиши ҳисобига мустаҳкамликнинг ортиши нуқсонлар ўртасида ўзаро таъсирлашувнинг мавжуд бўлиши биланок бошланади. Ҳамма мустаҳкамлашнинг амалий технологиялари умумий графикнинг ўсиш ҳудудида жойлашган бўлади.

Металл материалнинг ҳолатини баҳолашда структура-энергия усулидан фойдаланиш уларнинг кристалл тузилишининг энергия сифими ва мустаҳкамлиги орасида боғланиш мавжудлигини тасдиқлайди. Кристалл тузилишдаги ҳар қандай нуқсон ички энергиянинг эластик аккумулятори ҳисобланади, шу сабабли кристалл тузилишдаги нуқсонлар зичлигининг ошиши материал ички энергиясини ошишига сабаб бўлади.

Деформация технологиясида мустаҳкамланиш кристалл тузилишдаги чизикли нуқсонлар(дислокация) ҳисобига амалга ошади, легирлаш ва модификациялаш технологиясида эса мустаҳкамланиш дислокациянинг нуқтали нуқсонлар ва дисперс заррачалар билан ўзаро таъсирлашуви натижасида эришилади. Кристалл тузилишдаги нуқсонларнинг зичлиги фақатгина эксплуатацион мустаҳкамлик хоссаларини белгилаб бериб қолмай, унинг ташқи кучларга ва ҳароратга бардошлилигини ҳам белгилаб беради. Кристалл тузилишда юқори энергияли чизикли нуқсонлар ҳосил қилиш орқали барқарор термик ва термомеханик хоссаларга эришиш мумкин, бунда нол-ўлчамли нуқсонлар билан таъсирлашадиган бундай чизикли нуқсонлар махсус дислокацион шаклларда ўзаро тўсиш орқали мустаҳкамланади. Дислокацион шаклнинг барқарорлиги микроструктурада кўринадиган узок давом этадиган эластик кучланиш майдонининг барқарорлиги билан аниқланади. Максимум мустаҳкамлик дислокация билан ҳарактерланади, қайсики доналар чегараларида ва тўсилган атомлар ва сегрегацияларда ҳосил бўлади. Ўртача мустаҳкамликка эса нуқтали нуқсонлар ва дисперс фазаларнинг зарралари билан тормозланган дислокациялар орқали эришилади. Минимал мустаҳкамликни доналар ичидаги алоҳида ва бир текис тўпланган дислокациялар таъминлайди.

Дислокацияларнинг ўзаро ва нуқтали нуқсонлар билан таъсирлашув қонунияти термодинамиканинг фундаментал асосларига бўйсунди, бунда система минимал эркин энергияга интилади. Дислокациянинг кристалл тузилишдаги нуқтали нуқсонлар билан таъсирлашув натижасида ҳосил бўлган энергия кўпинча кристалл панжаранинг бузилиши натижасида ҳосил бўладиган энергияни компенсация қилиш учун сарфли бўлади, бу эса микроструктурали системаларнинг эркин энергиясини пасайтиради. Эркин энергиянинг камайиши қуйидаги термодинамик боғланишга бўйсунди:

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

бу ерда ΔF - эркин энергиянинг ўзгариши; ΔU - дислокация ҳосил бўлиши натижасида эластик энергиянинг ўзгариши; E_f – дислокациянинг кристалл тузилишдаги нуқсонлар билан таъсирлашув энергияси.

(1.11) дан кўриниб турибдики, таъсирлашув энергияси қанча ката бўлса, эркин энергия шунча кичик ва дислокацион структура шунчалик барқарор бўлади. Дислокацияларнинг кристалл тузилишдаги нуқсонлар билан таъсирлашуви мустақамликни оширади. Дислокацияларнинг силжиш тезлиги умумий ҳолатда қуйидагича аниқланади:

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

Бу ерда v_0 - доимий тезлик, тахминан товуш тезлигининг ўндан бирига тенг; U_0 - дислокациянинг ҳаракатга келтириш энергияси; E_f - дислокациянинг кристаллдаги бошқа нуқсонлар билан таъсирлашув энергияси; γ - кристалл панжара турига боғлиқ бўлган доимий; τ - тангенциал кучланиш.

E_f таъсирлашув энергиясининг ошиши билан келтирилган активланиш энергияси ҳам ошади, бу эса силжиш тезлигининг камайишига сабаб бўлади.

2-МАВЗУ: МАХАЛЛИЙ ПЛАСТИК ДЕФОРМАЦИЯЛАШ УСУЛИ ЁРДАМИДА ИШЛОВ БЕРИШ.

Режа:

1. Деформацион пухталанишнинг назарий асослари.
2. Деформацион пухталаниш дислокацияларга боғлиқлиги.
3. Пластик деформацияда дислокация ҳосил бўлишининг асосий механизмлари.
3. Деформацион пухталанган металлнинг структура ўзгариши.
4. Деформацион пухталаш усуллари.

Таянч сўзлар: Структура, деформация, дислокация, пухталаниш, пластик ва эластик хосса, поликристалл, фаза, гетроген, диффузия, дисперслик

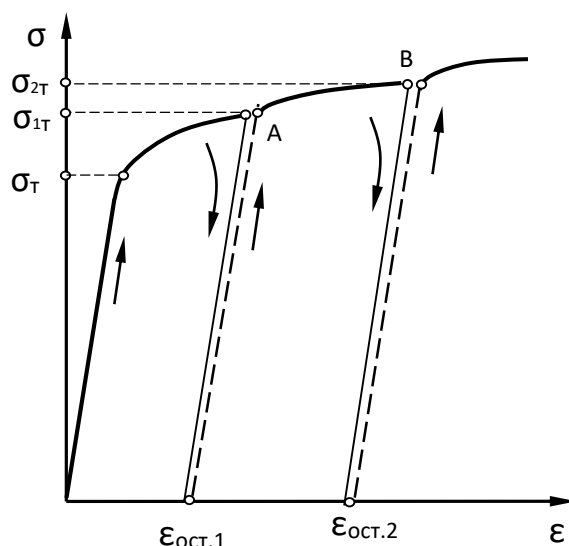
2.1. Деформацион пухталанишнинг назарий асослари.

2.1.1 Деформация орқали пухталанишнинг физик асослари

Пластик деформация атомларнинг қатъмас силжиши натижасидир. Кристалл тузилишларда бундай атомларнинг силжиши асосан дислокацияларнинг ҳаракат йўналиши бўйлаб содир бўлади, ва бу пластик деформациянинг асосий атом механизми ҳисобланади. Паст температурали пластик деформациянинг дастлабки даврида ва бузилиш содир бўлгунга қадар материалнинг пластик деформацияга қаршилик кўрсатиши унинг деформацияланиш даражаси ортиб бориши билан ортиб боради. Бошқача қилиб айтганда деформация давом этиши

учун доимий ўсиб борадиган кучланиш талаб қилинади. Бу ҳодис деформацион пухталаниш деб аталади.

Кўпчилик металл ва қотишмаларнинг пластик деформацияси уларнинг пухталаниши билан бирга кечади, бу пухталаниш уларнинг қаттиқлигини, оқувчанлик чегараси ва бошқа механик хоссаларнинг ошиши билан амалга ошади. Бошқача қилиб айтганда, пластик деформация давом этиши учун эластик зонадан чиқишда олдинги сарфланган кучга қараганда кўпроқ куч билан таъсир қилиш керак. Пухталаниш катталиги пластик деформация даражаси билан аниқланади, бу эса 2.1-расмда яққол кўрсатилган.



2.1-расм. Материал чўзилаётганда пластик деформация даражасининг унинг оқувчанлик чегарасига таъсири даражаси.

2.1-расмда материалнинг эластик гомоген-пластик ҳолатдаги кучланиш-деформация чўзилиш эгри чизиги кўрсатилган. Дастлабки чўзилишда пластик деформациянинг бошланиши σ_T яъни оқувчанлик чегараси билан характерланади. Агар намуна А нуқтагача юкланса, кейинчалик бу юклама олинганда, қолдиқ деформация $\epsilon_{\text{ост.1}}$ ҳосил бўлади. Қайта юкланиш жараёнида эластиклик майдони кенгаяди, ва $\sigma_{1T} > \sigma_T$ да пластис оқиш бошланади. Шунга ўхшаш равишда намуна ҳеч қандай юклама таъсирисиз В нуқтага етади, бунда $\sigma_{2T} > \sigma_{1T} > \sigma_T$, пластик деформация даражаси ошиб бориши билан материалнинг оқувчанлик чегараси ҳам ортиб боради, бу эса материалнинг гомоген-пластиклик зонасида ўзини тутиш қонуниятини билан боғлиқдир, пластик деформация даражасининг оқувчанлик чегарасига таъсирини ифодаловчи тенглик пластик зонадаги кучланиш-деформация тенглиги билан бир хил бўлади.

Материалнинг деформацион пухталаниш коэффиценти бу σ кучланишнинг дифференциалини ϵ деформацион эгри чизикдаги пластиклик зонасида деформация дифференциалига нисбатини англатади.

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

Эластиклик модули турли хил бўлганда пластик деформацияга қаршилик ва деформатцион пухталаниш коэффициент деформация даражасига боғлиқ бўлади. Деформацияга қаршилик кўрсатиш ошиши билан, пухталаниш коэффициенти камаяди.

Деформация жараёнида кристалларни “кучланиш-деформация” эгри чизиғи шаклида муҳокама қилса бўлади. Экспериментал ташкил қилишда бу эгри чизиқлар металлнинг кристалл панжараси турига, тозалигига, олдин ўтказилган термик ишлов бериш ва бошқа шу каби факторларга боғлиқ бўлади. Гексагонал кристалл панжарага эга бўлган металлни пухталашда материалнинг пухталаниши куб системадаги металлларга қараганда кам бўлади. Бу кўришиб турганидек гексагонал панжарада кам миқдордаги осон сурилувчи системаларнинг мавжудлиги билан боғлиқ. Куб кристалл панжарага эга бўлган металлларда силжиш кесишувчи текисликлар ва йўналишларда осон содир бўлади, натижада пластик деформациянинг дастлабки босқичларида пластик силжиш ягонадан кўп сонлига айланади. Бундай жараён мураккаб дислокацион конфигурацияларнинг ўсиши билан характерланади, бу конфигурациялар дислокацияларнинг ҳаракатланиши учун тўсиқлар ҳосил қилади.

Турли симметрияли кристалларни мустаҳкамлашнинг турли даражаларини акс эттирадиган тенглама қуйида берилган бўлиб, бу тенглама кучланишнинг деформацияга боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқни ифодалайди.

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

Бу ерда ε - деформация; τ - кучланиш; h - пухталаниш коэффициент; m - ўзгармас, гексагонал кристалллар учун 1 га ва куб кристалллар учун эса 2 га тенг.

2.2. Деформатцион пухталаниш дислокацияларга боғлиқлиги.

Деформатцион пухталаниш дислокацияларнинг тормозланиши билан боғлиқ. Материалдаги дислокацияларни ҳаракатлантириш қанчалик қийин бўлса, деформатцион пухталаниш коэффициентини шунчалик юқори бўлади. Пластик деформация жараёнида дислокациялар ҳаракатини бир қанча факторлар тўхтатади, улардан муҳимлари қуйидагилар:

- Бошқа дислокациялар томонидан ҳосил қилинган кучланиш майдони;
- Доналар ва дона ичидаги заррачалар чегараси;
- Аралаштирилган моддаларнинг атомлари;
- Бошқа фазаларнинг зарралари;
- Юзадаги қопламалар.

Деформатцион пухталаниш ҳисобига юқорида санаб ўтилган факторларнинг аддитив таъсири материалнинг оқувчанлик чегарасини оширади, буни қуйидаги боғланиш орқали ифодалашимиз мумкин:

$$\Delta \sigma_{\tau} = \Delta \sigma_{\text{д}} + \Delta \sigma_{\text{пр}} + \Delta \sigma_{\text{д.ч.}}$$

Бу ерда $\Delta\sigma_d$ - бошқа дислокацияларнинг бошқа бир дислокация ҳаракатланишига қаршилиги, кўпинча бу дислокациялар ўрмони деб аталади; $\Delta\sigma_{пр}$ - Дислокацияларнинг аралашмалар атомлари билан таъсирлашувига қаршилиги; $\Delta\sigma_{д.ч.}$ - дислокацияларнинг иккинчи фаза заррачалари билан таъсирлашувига қаршилиги.

Кристаллда дислокацияларнинг ҳаракатланишга кўрсатадиган қаршилиги, яъни дислокациялар ўрмони қайсики текисликларда ётадиган, сирпанувчи дислокациялар билан кесишади, шунингдек дислокациялар билан эластик таъсирлашуви, қайсики сирпанувчи параллел текисликларда жойлашган. Назарий ва амалий изланишларга кўра дислокацияларнинг ҳаракатланишининг тормозланиши бошқа бир дислокация ҳисобига амалга ошиши қуйидаги боғланиш билан ифодаланади:

$$\Delta\sigma_d = \mu G b \eta_n \sqrt{\rho}$$

Бу ерда ρ - дислокацияларнинг умумий зичлиги; η_n - дислокацияларнинг бир текис тарқалганлигини ҳарактерлайди; μ - экспериментал аниқланадиган ва панжара ва материал турига боғлиқ бўлган коэффицент; G - силжиш модули; b - Бюргерс вектори.

Аралашмалар атомларининг дислокациялар ҳаракатланишига қаршилик кўрсатиши шартли равишда тўрт хил кўринишда бўлади:

- 1-тур эластик таъсирлашув (ўлчамли таъсирлашув);
- 2-тур эластик таъсирлашув (эластиклик модули бўйича таъсирлашув);
- Кимёвий таъсирлашув;
- Электрик (кулон кучлари) таъсирлашув.

Ҳар бир таъсирлашув кристалл панжарадаги атомларнинг боғланиш табиатига боғлиқ бўлиб, яна шунингдек аралашмаларнинг хусусиятига ва бошқа факторларга ҳам боғлиқ, юқори санаб ўтилган таъсир турларидан бирортаси ёки ҳаммаси ҳам мавжуд бўлиши мумкин.

1-тур эластик таъсирлашув дислокация ва аралашмалар атомлари атрофида эластик кучланиш майдонинг мавжудлиги билан боғлиқ бўлади. Аралашмалар атоми атрофидаги майдоннинг ишораси асосий элемент r_0 ва аралашмалар атомларининг r_n радиуслари нисбатига боғлиқ бўлади. Ўрин олиш қаттиқ эритмаларида $r_n < r_0$ бўлганда асосий панжарадаги атомлар ўрнинин олаётган атомлар дислокациялар атрофидаги сиқилган зоналар томон ҳаракатланади. аралашмалар атоми $r_n > r_0$ бўлганда сингувчи атомлар қаттиқ эритмада асосий элемент атомлари ўрнини эгаллайдиган атомлар дислокация майдони билан тортишади. Ўхшаш турдаги таъсирлашув эгри чизиқли дислокациялар билан боғлиқ, бу турдаги таъсирлашувлар сабабли дислокациялар атрофида аралашмалар атомларининг булути ҳосил бўлади, бу эса дислокацияларни тўсиб қўяди. Бу атмосфера Котрелл атмосфераси деб аталади. Котрелл атмосфераси ўз

таркибида углерод ва азот каби сингиш аралашмаларига эга бўлган металллар учун жуда муҳим аҳамият касб этади.

Иккинчи тур эластик таъсирлашув шуниси билан белгиланадики, аралашмалар атоми ва вакансиялар кам жойни эгаллайди ва матрицага қараганда бошқача эластиклик доимийларини намоиш қилади. Шу сабабли дислокацияларни ҳаракатланиши учун сарфланган иш белгиланган эластик таъсирлашув натижасида ҳосил бўлган ишдан фарқ қилади. Эластиклик модули орқали таъсирлашув дислокация атрофидаги вакансияларнинг концентрациясини оширади.

Кимёвий таъсирлашув парчаланган дислокациялар мавжуд бўлганда ҳосил бўлади. Бундай ҳолатда аралашмалар атомининг нуқсонлар тўпланган жойга тушиши металлларнинг электрон структураси билан контактлашувини ўзгартиради, яна шунингдек атомлар орасидаги боғланиш характерини ҳам ўзгартиради. Бундай ўзгариш нисбий тўпланиш энергиясини камайишига ва парчаланишнинг ортишига сабаб бўлади, бу эса аралашмалар атомларининг нуқсонлар тўпланган жойга диффузияланиши учун қулай энергетик шароитлар яратади. Нуқсонлар жойлашган қатламда аралашмалар микдорининг ортиши Судзуки атмосфераси деб аталади. Бу атмосферанинг ҳосил бўлиши дислокациялар энергиясининг камайтиради, бу эса дислокацияларни тўсиб қўяди. Электрик (кулон кучларига асосланган) таъсирлашув айрим кристалл структураларда ҳосил бўлади кейинчалик кўриб чиқилади. Иккита оддий дислокацияларни бирлаштириш битта анча мураккаброқ бўлган бошқа йўналишдаги дислокацияни ҳосил қилади. Бундай дислокацияларнинг ўзига хослиги шундаги уларнинг экстра текисликлари четларида узилган боғланишлар мавжуд. Дислокациядаги бундай узилган боғланишлар акцепторлар сифатида функция бажаради, яъни электронларни қабул қилади ва мусбат ионлар ва дислокациялар ўртасида кулон кучларига асосланган таъсирлашувни ҳосил қилади. Электр таъсирлашувдан металлларда фойдаланиш унча ҳам муҳим аҳамиятга эга эмас.

Иккинчи фазанинг дисперс заррачалари ҳисобига пухталаниш тўғри ва қия бўлиши мумкин. Тўғри пухталаниш дислокацияларнинг дисперс заррачалар билан тўғридан-тўғри таъсирлашуви орқали таъминланади, бу эса пластик деформация жараёнида сирпанувчи дислокациялар учун тўсиқлар бўлиб хизмат қилади. Қия таъсирлашув структуранинг бир жинсли бўлмаган ҳолатининг стабиллигини ортиши ва иккинчи фазанинг дисперс заррачалари мавжуд бир ҳолда рекристаллизация температурасининг ошиш эҳтимолининг мавжудлиги билан боғлиқ. Тўғри таъсирлашув Орована моделида кўриб чиқилади, бунга кўра қўшимча кучланиш дислокациянинг иккинчи фазанинг қўшни заррачалари орасида мажбуран эгилиши кўра, кейинчалик бу заррачаларни енгиб ўтишига

кўра аниқланади, бу Франк-Рид кўпайтириш механизмига ўхшашдир. Бунда пухталаниш қийматини қуйидаги формула билан аниқлаш мумкин:

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

Бу ерда ν - Пуассон коэффиценти; L - заррачалар марказлари орасидаги масофа; d - иккинч фаза заррачаларининг ўртача ўлчами.

Пухталаниш фақатгина фазаларни мунтазам ҳолатга келтирмасдан, балки метастабил ярим-когерент боғланиш ёки Гине-Престон зонасини ҳам ҳосил қилади, бу зона Анселла-Линнеля механизми бўйича ҳаракатланаётган дислокацияларда ортиқча қирқилади. Бу қўшимча кучланиш қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\Delta\sigma_{д.ч.}^* = \frac{\Delta Gd}{4\pi L}$$

Бу ерда ΔG - заррача ва матритса ларнинг силжиш модуллари орасидаги тафовут.

Шундай қилиб, деформацион пухталаниш дислокациялар зичлигининг ўсиши, уларнинг ҳаракатини ва куч ёки иссиқлик таъсири орқали дислокацион структуранинг барқарорлигини блокловчи факторларнинг мавжудлиги билан аниқланади. Силжишга қаршилиқнинг ортиши бир вақтнинг ўзида осон ҳаракатланадиган дислокацияларнинг йўқолиши билан тормозланган дислокациялар зичлигини ортишини англатади, бу эса мустаҳкамликнинг ортиши демакдир. Бу вазифани бажаришнинг анча самарали ва техник жиҳатидан мақсадга мувофиқ усулларида бири бу деформацион эскиртириш механизми орқали дислокациялар ҳосил қиладиган оралиқ термик блоклаш билан металлни унча катта бўлмаган даражадаги деформацияда кўп мартаба деформациялаш усулидир.

2.3. Пластик деформацияда дислокация ҳосил бўлишининг асосий механизмлари.

Дислокация назарияси пластик деформацияда дислокация ҳосил бўлишининг бир қанча механизмларини (Франк-Рид ва Бардин-Херринга манбалари) кўриб чиқади, бундай механизмларда дислокацияларнинг манбаи бўлиб охири тўсилган дислокациялар хизмат қилади. Пластик деформация вақтида ҳосил бўладиган кучланишлар дислокация чизикларини ёйсимон шаклда эгади (2.2-расм), чизикли чўзиш эса уни тўғрилашга интилади. Қачонки қўйилган куч ўз ҳолига қайтарувчи кучга тенглашганда, ёй радиуси қуйидаги боғланиш орқали аниқланади:

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

Уринма кучланиш қиймати ортиши билан ёй янада кўпроқ эгилади, унинг радиуси эса кичраяди. Қачонки ёй ярим айлана бўлиб қолганда, унинг радиуси қуйидаги қийматни қабул қилади:

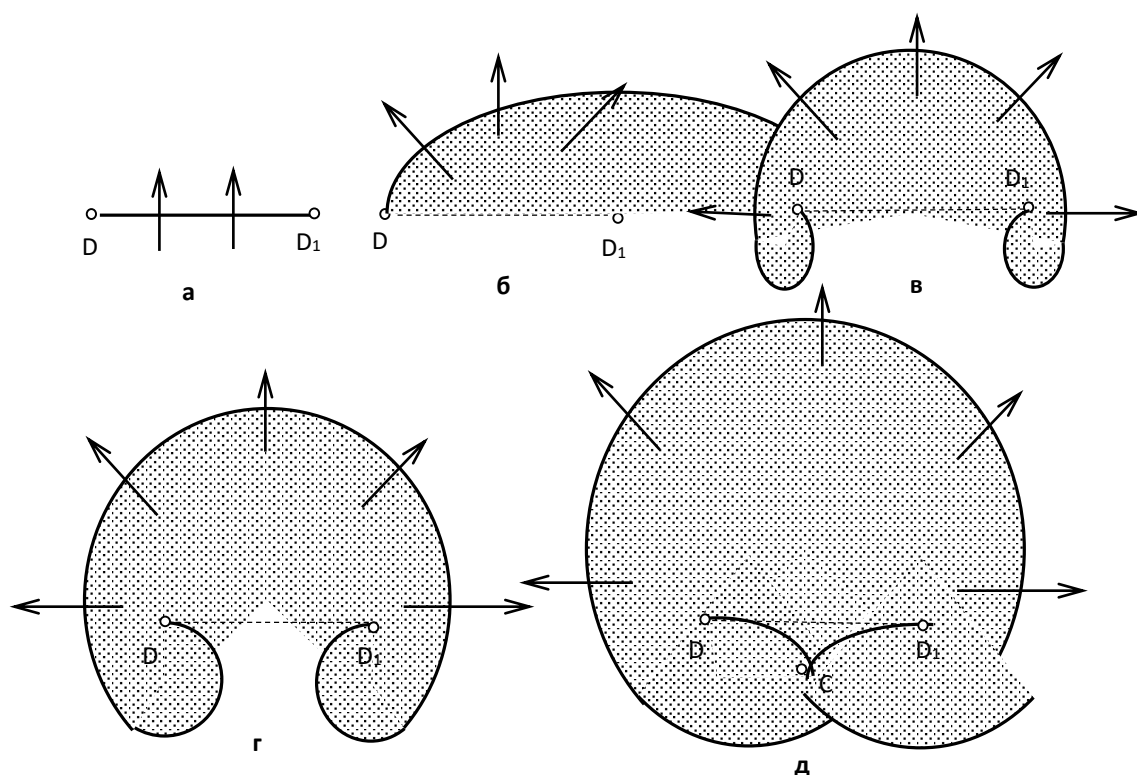
$$r = \frac{L}{2}$$

бу ерда L - дислокация узунлиги.

Бу минимал радиусга мос келадиган уринма кучланишнинг максимал қиймати қуйидагича аниқланади:

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

$\tau < \tau_{кр}$ нинг ихтиёрий қийматларида ёй барқарор бўлади, кучланишнинг бу аниқланган қийматида радиуснинг ўз қийматига мос келади. Агар ёй ҳали ярим айлана шаклига келмаган бўлса, унда уринма кучланиш камайиши билан тортиш кучи ёйни эластик равишда тўғрилайди.



2.2-расм. Фран-Рид текис манбаида дислокация бўғинларини ҳосил бўлиш босқичлари.

2.1-расмда кўрсатилган дислокация чизиғи ҳаракатланадиган зона силжиш содир бўлиб бўлган ҳудуд ҳисобланади. Уринма кучланишнинг йўналиши ўзгармасдан қолади, кучнинг ўзи $f = \tau t$, дислокацияга таъсир қилиб, ҳар бир нуктада дислокация чизиғига перпендикуляр бўлиб, ёй радиуси бўйлаб йўналган.

Ёйнинг $\rho = \infty$ дан (DD_1 тўғри чизик 3.2-расм а) $\rho = \rho_{кр}$ (3.2-расмдаги ярим айлана) гача эгилиши уринма кучланишнинг узлуксиз равишда нолдан $\tau_{кр}$ гача ўсишини талаб қилади. Уринма кучланишнинг критик қийматига етганида сиртмоқнинг кейинчалик кенгайиши ёй радиусининг ошишига сабаб бўлади, ва дислокацияларнинг чизиғи нобарқарор ҳолатда бўлади. Бундай ҳолатда ҳаттоки доимий кучланишда яъни қайсики $\tau_{кр}$ дан кичик бўлганда ҳам дислокацион сиртмоқ ўз ҳолича кенгайди, бу билан кенг ҳудудни эгаллайди. (2-расм. в ва г).

Кенгаювчи сиртмоқ D ва D_1 нуқталарда тўсилган ҳолатда қолади ва шу сабабли бу сиртмоқ $\phi = b\tau$ куч таъсирида бу нуқталар атрофида иккита симметрик спирал кўринишида ўралади, бу сиртмоқнинг ҳамма ҳудудида бу куч дислокация чизиғига перпендикуляр бўлади. Бундай ҳолатда албатта шундай вазият бўладики унда иккита спиралсимон кўринишдаги дислокация қисмлари бир-бирига тегади. Тегиш нуқтасида дислокациянинг қарама-қарши майдонлари бир-бирига тегади. Улар бир-бирини йўқ қилади, яъни битта дислокация иккита ёпилган сиртмоқ ва DCD_1 дислокация қисмга ажралади, бунда DCD_1 2 та ёйдан иборат бўлади (2-расм, д).

Ёпиқ дислокацион сиртмоқ D ва D_1 нуқталар билан боғланмаган. Уринма кучланиш ҳаркатланиши орқали ҳамма томонга чекловларсиз тарқалиши мумкин, ва бошқа тўсиқлар бўлмаса кристалл юзасига чиқиши мумкин.

Қўйилган куч таъсирида ва чизикли чўзиш билан тўғриланган DCD_1 дислокация ўз узунлигини DD_1 гача камайтиради ва охирида дислокациянинг дастлабки узунлиги кўринишига келади. Бундай йўл билан Франк-Рид механизми битта сирпануш текислигида чекланмаган миқдордаги дислокация сиртмоқларини ва бу текисликда сезиларли силжиш ҳосил қилиши мумкин.

Дислокацияларнинг бошқа манбаларини назарий кўрсатиш Франк-Рид моделига асосланади ва манбаининг фазода жойлашмаганлиги ва унинг ўсиши давомида дислокацион сиртмоқнинг ҳаракатланиш шакли билан фарқланади.

Дислокация зичлигининг пластик деформация даражасига боғлиқлиги Ван-Гюрера тенглиги билан ифодаланади:

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

бу ерда ρ_0 - дислокациянинг дастлабки зичлиги; ε - пластик деформация даражаси.

Материалнинг деформатцион пухталанишга мойиллиги кўпгина факторларга боғлиқ, асосан, кристалл панжара турига, структура, легирловчи элементлар ва қўшимчалар концентратциясига, шунингдек деформациялашда полиморф ўзгаришга мойиллигига ҳам боғлиқ. Шунда ГЦК кристалл панжарага эга кристаллографик структура ГПУ га қараганда кўп сирпанувчи текисликларга эга бўлиши мумкин, ГПУ фақат битта сирпанувчи текисликка эга, ОЦК кристалл панжарага эга бўлган металллар кўп миқдордаги сирпанувчи системаларга эга

бўлади. Сирпаниш системалари қанчалик кўп бўлса, материалнинг деформацион пухталанишга бўлган мойиллиги шунча юқори бўлади.

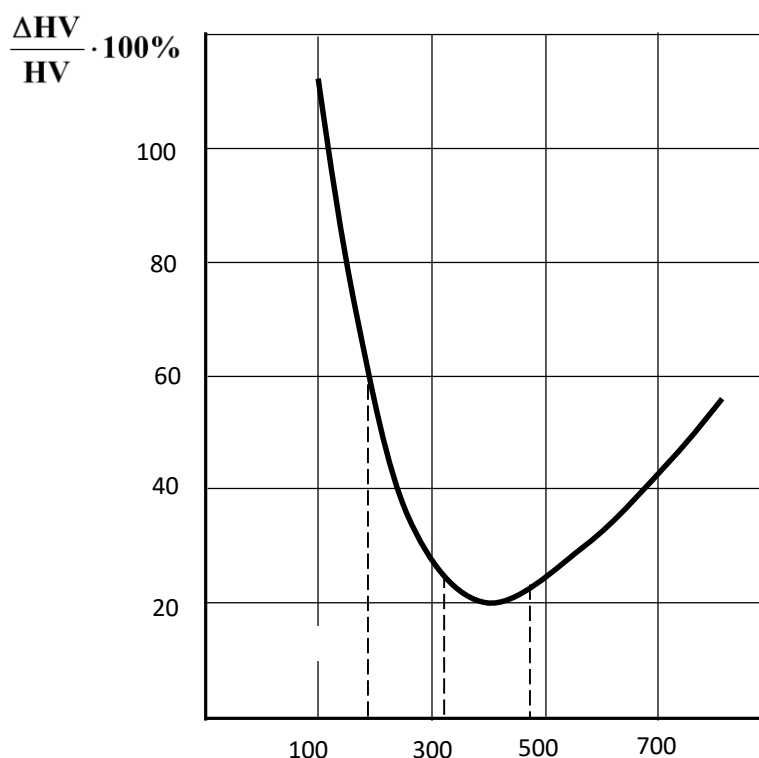
Деформатцион пухталанишнинг миқдорий технологик характеристикаларидан бири пухталаниш даражаси (деформациялашда қаттиқликни нисбатан ортиши) ҳисобланади ва у қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

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

бу ерда ΔHV - деформациялашда қаттиқликни ортиши; HV - дастлабки ҳолатдаги қаттиқлик.

Пухталаниш даражаси қанчалик юқори бўлса, пўлат шунчалик юмшоқ бўлади. Шунда тобланмаган пўлатнинг юзасини деформациялаш унинг қаттиқлигини 100 % дан ортиққа ошириши мумкин, тобланганда эса фақатгина 10...15 % га ортиши мумкин. Қаттиқликни ошириши пўлатнинг деформацияланадиган структурага эгаллигига боғлиқ. Энг юқори деформацион пухталанишга мойиллик феррит структуралар учун, энг кичиги эса перлит ва сорбит структуралар учун хосдир. Аустенит деформацияланганда у қисман мартенситга айланади, бу эса қаттиқликни оширади.

Мартенситнинг деформацион пухталаниши дислокация зичлигининг ортиши, қолдиқ аустенитнинг мартенситга айланиши ва юқори дисперс карбид заррачаларнинг ажралиб чиқиши билан боғлиқдир. 3.3- расмда углеродли ва легирланган пўлатларнинг турли хил структуравий ҳолатда пластик деформациялангандаги қаттиқлигининг нисбатан ортиши кўрсатилган.



2.3- расм. Углеродли ва легирланган пўлатларни пластик деформациялашда каттиқлигининг нисбатан ортиши. I- феррит ва перлит; II- перлит; III- сорбит; IV- тростит ва мартенсит.

2.3. Деформатсион пухталанган металлнинг структура ўзгариши

Пластик деформация металл ва қотишмаларнинг термодинамик потенциални (кимёвий потенциал) кристалл панжаранинг бузилиши ва ундаги нуқсонлар билан боғлиқ бўлган пухталаниш энергияси ҳисобига ўзгартиради. Пластик деформациядаги кимёвий потенциал интенсив равишда деформация даражасининг ортиши билан ўсиб боради, кейин эса бу интенсивлик йўқолиб тўйинишга интилади. Унинг абсолют чегаравий қиймати пластик деформация натижасида ҳосил бўлган структура нуқсонларининг миқдори ва энергиясига боғлиқ. Алюминийни пластик деформациялашдаги ички ютилган энергия 2 % дан ортиқ эмас, пўлатларни деформациялашда эса 10...12 % га тенг. Углеродли пўлатларни деформациялашда 90 % га тенг ички ютилган энергия 42 кДж/кг га тенг бўлади. Ички энергиянинг ортиши кристалл тузилишдаги нуқсонларнинг ҳаракатланишини камайтиради. Структуравий нуқсонларнинг ҳосил бўлиш энергияси кристалл панжара ва легирлаш турига боғлиқ. ОЦК ва ГЦК панжарага эга тоза металллар учун вакансиялар ҳосил бўлишининг энергиясининг экспериментал қиймати (E_0), бу вакансияларнинг кўчишининг активлашуви (E_M) ва ўздиффузиянинг активлашуви (E_{CD}) 2.1-жадвалда келтирилган.

Металлдаги вакансияларнинг термодинамик мувозанат концентрацияси температурага боғлиқ:

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

бу ерда S_0 - битта вакансия ҳосил бўлишидаги энтропия; k - Больцман коэффиценти.

2.1-жадвал. Айрим металлларнинг вакансияларининг(эВ) кўчиши ва энергия ҳосил бўлиши.

Металл	Панжара тури	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

Металларни вакансиялар билан ўта тўйинишига юқори температурадаги ҳолатини (тоблаш)ни, юқори концентратсияланган энергия манбалари, пластик деформация ва бошқаларни қайд қилиш ҳисобига эришиш мумкин.

Пластик деформация вақтида ички ютилган энергиянинг асосий қисми дислокациянинг ўсиши билан боғлиқ. Бу энергиянинг қиймати қуйидаги формула билан аниқланиши мумкин:

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

бу ерда ρ - дислокация зичлиги; ν - Пуассон коэффициенти; G - силжиш модули; b - Бюргерс вектори; V_M - 1мол фазанинг ҳажми; Z - Дислокация ядросининг эластик энергиясидаги улушни ифодаловчи коэффициент ($Z= 1...3$).

Агар дислокация билан сингиш атомлари булуту боғланган бўлса, унинг энергияси камаяди, ёки дислокациянинг ўрин олиш атомлари ёки вакансиялар билан таъсирлашувида ҳам. 2.2- жадвалда дислокацияларнинг нуқтали нуқсонлар билан таъсирлашув энергиялари келтирилган.

2.2-жадвал. Дислокацияларнинг нуқтали нуқсонлар билан боғлансиз энергияси (эВ)

Нуқтали нуқсон	Боғланишнинг эластик энергияси, $E_{\text{упр}}$	Боғланишнинг электр энергияси, $E_{\text{эл}}$
Тугунлар орасидаги атом (аралашмалар ёки ўзининг)	0,20...0,50	0,02
Ўрин олиш атомлари	0,05...0,10	0,02
Вакансия	0,2	0,02

Карбид ҳосил қилмайдиган элементлар (Ni, Si, Al, Co) ва шунингдек Ti ва V аралашмаларнинг дислокацияга тортилишини секинлаштиради. Cr, Mo ва W каби элементлар эса буни тезлаштиради. Пластик деформация вақтида ҳосил бўладиган нуқтали нуқсонлар ва дислокациялардан ташқари энергия жойлашувдаги нуқсонлар, иккита доналар чегаралари, ячейкалар деворлари ва дислокацион структуранинг майда заррачалари билан боғланган.

Пластик деформацияда дислокация, қўшалокларнинг ва вакансияларнинг зичлиги ортиши билан деформациянинг алоҳида бир ўқи бўйлаб чўзилган қисмида заррачалар майдаланиши содир бўлади, ячейканинг ички структурасидаги дислокацияларнинг тартибланиши кузатилади, эластик мувозанат ҳолатда катта миқдордаги микро ва ундан ҳам кичик бўлган ёриқлар ҳосил бўлади, бу ҳолат эса макро кучланишни ҳосил қилади. Карбид фазалар бу ўзгаришларга бардош бериши мумкин. Цементитнинг тенг ўқли глобуллари ўзгармайди, пластинкасимон цементит эса матритса билан биргаликда

цементитланади ва бўлақларга парчаланеди, бунинг оқибатида у узаяди ва ингичкалашади, яъни деформация ҳаракати йўналиши бўйлаб ориентирланади. Деформация вақтида перлитли структураларда пластиналар орасидаги масофа ўзгаради. Карбидларнинг бир қисми парчаланеди, ва дислокацияларда сегрегация ҳосил қилиш ёки жуда майда графит кўринишида ажралиши орқали углерод қаттиқ қотишмага ўтади. Шунга ўхшаш ҳодиса мартенсит ва рангли металлларнинг қотишмаларининг ўта тўйинган аралашмаларини деформациялашда кузатилади.

Пластик деформация натижасида структуранинг ўзгариши ва ички ютилган энергия структурага боғлиқ бўлган механик ва физик хоссаларни кескин ўзгартиради. Айниқса пухталиқ билан боғлиқлари кучли ўсади ва пўлат қотишмаларнинг пластиклик хоссалари пасаяди. ГЦК кристалл панжарага эга бўлган қотишмалар ОЦК панжарага эга бўлганларига нисбатан бир неча баробар интенсив пухталанеди. Пластик деформация электр қаршилиқни оширади, коерситив кучни пасайтиради, шунингдек материал зичлигини камайтиради.

Деформатцион пухталанган металлнинг ҳолати термодинамик барқарор эмас, ва уни қиздириш жараёнида унда унинг эркин энергияси ўзгаришига сабаб бўладиган жараёнлар содир бўлади. Бу жараёнлар уларнинг активлаштирувчи энергия ўсиши бўйича ривожланади ва қуйидаги тартибда:

- Нуктали нуқсонлар ва уларнинг оқимини дислокациялар ва вакансийларни тугунлар орасидаги атомлар билан боғловчи чегаралар диффузияланиши, кристалл панжарада нутали нуқсонлардан иборат гуруҳларнинг ҳосил бўлиши;
- Дислокацияларнинг оддий ва кўндаланг сирпаниши билан тарқалиши, бу эса қарама-қарши дислокация қисмларининг бузилиши ва дислокатцион сиртмоқларнинг торайиши билан боради;
- Дислокацияларни сирғаниши орқали қайта тақсимланиши, бу эса дислокациялар силжишини дислокациялар деворининг бузилиши ёки сочилиши билан бирикишига ва уларнинг кристаллографик ориентрланишига сабаб бўлади;
- Кичик бурчакли чегараларнинг ҳосил бўлиши;
- Кичик бурчакли ва доналар орасидаги чегараларнинг деформатцияланган матрицага нуқсонларни ютиш билан кўчиши;
- Қайта кристалланган доналарни бўлувчи ва сўнгиларини йириклаштирувчи катта бурчакли чегараларнинг кўчиши.

Материалга, деформация ва қиздириш босқичларига боғлиқ ҳолда ҳамма кўрсатилган жараёнлар навбати билан содир бўлиши ёки бирданига содир бўлиши мумкин. Ички захира энергиясининг иссиқлик кўринишида ажралиши билан кечадиган деформатцияланган металл структурасидаги катта ўзгаришлар кристалл панжарада ва дислокацияда нуктали нуқсонларнинг йўқолиши ва қайта тақсимланиши билан боғлиқ.

2.4. Деформацион пухталаш усуллари

Юзани пластик деформациялаш усулларидаги фарқалар ва хилма-хилликка қарамасдан уларнинг ҳаммасини 4 та гуруҳга бўлишимиз мумкин ва бу гуруҳлар 2.3-жадвалда келтирилган.

1. Юзани пуансон билан статик деформациялаш - зарб билан пресшлаш, штамплаш ва бошқалар. Бундай ишлов беришнинг характерли хусусияти ён юзаси силлиқ ёки фигурали пуансон билан юзани деформациялаш ҳисобланади. Бунда юзадаги микро нотекиликлар асосий нормал кучлар ҳисобига деформацияланади.

2. Юзани (микро нотекиликлар) асбобни ўқ (тешикларни шлифлаш, кирялаш, ва бошқалар) бўйлаб ва кўндаланг бўйлаб ўзгартириш орқали деформациялаш. Бундай оператцияларда шунингдек юза қатлам деформацияланаётганда нормал кучлар билан биргаликда ишқаланиш кучлари ҳам ҳосил бўлиб, улар асбобни жойини ўзгартириш вақтида ҳосил бўлади.

3. Юзани ролик ёки шар (юмалаб ишқаланиш ҳисобига деформацияланиш) билан чиниқтириш. Бу гуруҳга деталларни ролик, шар билан ишлов бериш, думалатиб ишлов бериш каби усуллар киради. Ролик ёки шарик ишлов берилаётган деталга текканда сиқувчи кучланиш ҳосил бўлади, бунинг натижасида металл пластис деформацияланади, бу эса унинг шаклини деформациялаётган асбоб шаклига киришига ундайди. Бунда юзадаги нотекиликлар текисланади. Шарик билан деформациялаётганда зарурий пухталаниш ва юзанинг текисланишига нормал кучлари қиймати кичик бўлганда эришилади.

4. Юзанинг динамик пухталаниши (зарралар оқими билан ишлов бериш, шарлар билан пухталаш, юзани зарб билан ишлаш, ротацион сиқиш ва бошқалар). Бундай ҳолатда юза қатламининг пухталаниш даражаси ва унинг қаттиқлиги бир-бирига тегувчи жисмларнинг массаси, уларнинг ҳаракатланиш тезлиги ва бошқа асбобнинг (шарик, заррачалар, урилувчи ва бошқалар) ишлов берилаётган юзага урилиш энергиясини аниқлаб берувчи факторларга боғлиқ.

2.3-жадвал. ЙПД методларининг классификацияси

№	Жараённинг характеристикалари	Ишлов берилган юзанинг сифати		Қўлланиладиган методлар
		Ишлов бериш аниқлиги даражаси	Юза ғадир-будурлиги, Ра, мкм	
1	Юзани статис деформациялаш (пуансон билан)	7...8	1,25...0,32	Зарб билан сиқиш, штамплаш
2	Юзани (микро нотекиликлар) асбобни ўқ	6...7	0,63...0,08	Цилиндрсимон ва шакли тешикларни сайқаллаш,

	бўйлаб ва кўндаланг бўйлаб ўзгартириш орқали деформациялаш		цилиндрсимон ва шаклли профилларни кирялаш ва бошқалар.
3	Юзани ролик орқали чиниктириш (думалаб ишқаланиш ҳисобига деформацияланиш) Юзанинг динамик пухталаниши		Ташқи ёки ички юзаларни шариклар ёки роликлар орқали чиниктириш, роликлар орасида чиниктириш, резбалар, тишли филдираклар ва бошқаларга думалатиб ишлов бериш ва калибрлаш. Шариклар билан пухталаш, юзани зарб билан сиқиш, ротацион сиқиш. Заррачалар оқими билан ишлов бериш.

Пухталанишни ўтказишдан асосий мақсад бу юза қатламнинг толиқишга бўлган қаршилигини ва қаттиқлигини ортириш ва уларда ички йўналган кучланишларни ҳосил қилиш, асосан сиқувчи кучланишларни, яна шунингдек юзадаги нотекикликларнинг тартибланишини ҳам оширишдир. Пластик деформациялаш орқали юзани самарали пухталаш асосан машина деталларига ишлов беришнинг сўнги технологик босқичлари бўлган тиғ билан кесиш ёки абразив асбоб билан ишлов бериш босқичлари ўрнига сўнги технологик босқич сифатида қўлланилади. Унча қаттиқ бўлмаган деталларга ишлов беришда юзани динамик ишлов бериш усули орқали пластик деформациялаш самаралидир, бунда зарб билан таъсир қилувчи асбоблар, ултратовушли ёки импульсли чиниктиришдан фойдаланилади.

Ишлов берилаётган материал юзасининг қаттиқлиги ва пластик деформациялаш чуқурлиги пухталаш босқичлари, материалнинг физик-механик хоссалари, структураси ва кимёвий таркибига боғлиқ. Юза қаттиқлигига энг катта таъсирни ишлов берилаётга материал билан контактда бўлишида асбобнинг нисбий босими кўрсатади. Нисбий босим чиниктириш ёки текислашни кучайиши, деформацияланаётган элемент ёки детал геометрияси, ишлов берилаётган материалнинг физик-механик хоссаларига кўра аниқланади. Чиниктириш ва сайқаллашда дастлабки нисбий босимни Бринелл (ХБ) бўйича қаттиқликка тенг деб қабул қилиш мумкин.

Юклама таъсири нисбатининг ва зўриқишнинг ортиши билан пухталанган юзанинг қаттиқлиги маълум бир даражагача тўғри пропорционал ортади ва кейин эса мувозанатлашади. Мувозанатлашни дастлаби нуқтаси босимнинг руҳсат этилган чегарасини ёки юклашнинг цикллари сонини аниқлаб беради. Пухталаш жараёнининг давом эттирилиши қаттиқликни пасайиши ва чидамлилик чегарасининг кескин пасайишига, яна шунингдек катта ички

кучланишлар ҳисобига юза қатламнинг бузилишига ҳам сабаб бўлиши мумкин. Бу жараён эса ўта пухталаниш деб аталади. Юкланишларнинг умумий циклари сони пухталанган структуранинг толиқишга мустаҳкамлиги билан чекланади ва бу қуйидаги ифодада акс эттирилади:

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

бу ерда N - юкланиш циклар сони; σ_B -материал мустаҳкамлик чегараси; t -материалнинг толиқиш мустаҳкамлигини кўрсатувчи; k - материалнинг зўриқиш ҳолатини кўрсатадиган ва материал табиатига боғлиқ бўлган коэффициент; f - ишқаланиш коэффициент; HB - Бринелл бўйича қаттиқлик.

3-маву: Электручқунли, лазер нури ёрдамида, детанацион усул билан, плакерлаш билан пухталаш технологиялари

Режа:

1. Электр учқунли пухталашнинг физик асослари (легирлаш).
 2. Электручқунли қоплама қоплашнинг махсус усуллари. Электр-учқунли легирлашнинг махсус методлари.
 3. Кукун материалдан электр-учқун усули ёрдамида қоплама қоплаш.
 4. Биметалл электродлар билан электр-учқунли легирлаш.
 5. Лазер ёрдамида ишлов беришнинг физик асослари ва технологик жараёнлари.
- Таянч сўзлар:** легирлаш, импульсли, лазерли, теплофизик жараёнлари, детонацион пуркаш, биметалл электродлар.

3.1 Электр учқунли пухталашнинг физик асослари (легирлаш).

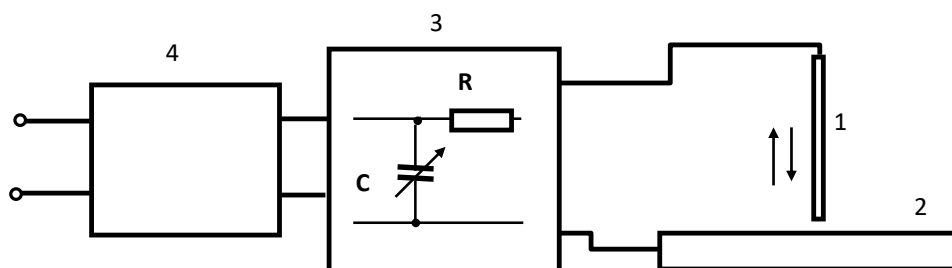
Материалларга ишлов беришда электро учқунли усуллар деб, асосида материал ва юқори концентрацияли оқимдаги энергия ҳамда модданинг ўзаро таъсир жараёнлари бўлган, электроэрозион ва электро учқунли услублар назарда тутилади. Барча электроучқунли жараёнлар қуйидагида акс этган ягона асосга эгалар. Электродлар яқинлашганда улар орасидаги электр майдони кучланиши ортади ва маълум тирқишда учқунли электр разряд хосил бўлиши учу етарли катталиқга етади. Хосил бўлган очик ўтказувчанлик каналидан электронлар тутами фокусланган ҳолда аноднинг металл сиртига бориб урилади. Тормозланган электронлар кинетик энергияси аноднинг сирт қисмида ажралади. Аноднинг сиртидаги харорат жиддий равишда катод хароратидан балан бўлади ва бу учқунланиш жараёнининг қутиблилик эффектини негизини ифодалайди [16].

Тизим бирданига йиғилган электр энергияни озод қилиши сабабли, ток зичлиги кескин қийматлардан анча баландроқ бўлади. Натижада аноддан эриган метал томчиси ажраб чиқиб, аноддан илгарилаб кетган ҳолда катод томонга ҳаракатланади. Электраро сатҳда учиб бораётган томчи ҳаракатда юқори

хароратгача қизишга улгуриб, шунинг хисобига қайнайди ва портлашсимон диспергияланади. Ток занжири узилади, электр майдонининг сиқиш кучлари юқолади ва заррачалар кенг фронтли сочилиб кетади. Электродлар эрозияси махсулларидан иборат бўлган фаол модда оқими вужудга келади, шу билан бирга унда аноднинг материали элементлари купрок бўлади. Электроэрозион ва электручқунли легирлаш тизимларида жараённинг кейинги ўтиши хар хил бўлади.

Электроэрозион ишлов беришда учқунлаш жараёни диэлектрик суюқликда малга ошади, бу суюқлик бир томондан учқунланиш разряди қувватини оширишга олиб келувчи дастлабки кучланишни ошириб, иккинчи томондан электраро сатхдан эрозия махсуллари йўқ қилади. Анод сатхидаги эрозион бузулиш фаоллиги, электрод мутериаллари теплофизик ва электр хоссалари тўпланмаси орқали қўшимча кучайган қутибланиш эффекти сабабли катодниқидан устун бўлади. Электроэрозион ишлов бериш, унумдорлиги материалнинг пишиқлик хоссалари боғлиқ бўлмаган шакл юзага келтириш технологиясига оиддир. Шунинг учун бу усулдан мутлақо кесиш орқали ишлов бериб бўлмайдиган, иққикга чидамли ва қийин ишланадиган, токўтказувчан материалларга ишлов беришда кенг фойдаланилади. Электроэрозион ишлов беришда ишлов берилаётган материалнинг энг кўп кесилиши тўғридан-тўғри қутиблиқда амалга ошади, бунда электрод-восита анод бўлади, ишлов берилаётган жисм эса катод. Тескари қутиблиқ тозаловчи электэрозион ишлов беришда юқори тозалиқдаги сирт вужудга келтириш учун қўлланилади. Электроэрозион ишлов бериш жараёнини бошқариш, учқунли разрядни ёйли разрядга айланишига олиб келиши мумкин бўлган, электродлар орасидаги механик контактга йўл қуймасликни таъминловчи доимий электродлар аро тирқишни назарда тутлади.

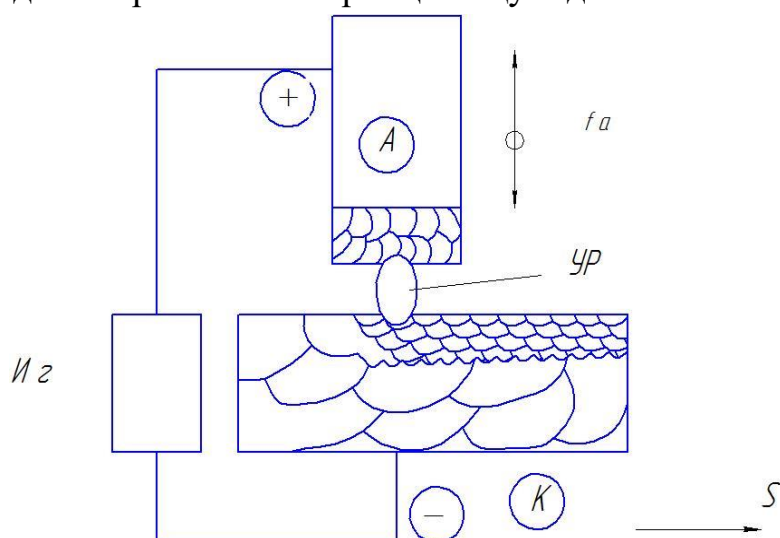
Электручқунли легирлашда (Электручқунли пухталашда) кўпинча тўғридан-тўғри қутибланиш ишлатилади. 3.1-расмда электручқунли легирлаш учун қурилманинг типли принципиал схемаси кўрсатилган. Пухталанаётган махсулот катод 2 бўлиб, легирлаётган электрод аноддир 1. Анод ва катод орасидаги электр учқун, конденсаторлар магазини текисловчи ва стабилизатор 4 орқали зарядланадиган РС-генератори 3 нинг сиғимларининг бўшатилишида вужудга келади. Схема ўзгарувчан 220 в ток тизими орқали ишлайди.



3.1.расм. Электручқунли легирлаш учун қурилманинг принципиал электр схемаси

Юқорида этилганидек аксарият аноднинг материалдан иборат ташкил бўлган эродланган масса, электрод аро сатх орқали, катоднинг сиртига, қисман унинг устига ёпишиб етказилади. Бунда ҳосил бўлувчи қоплама маҳсулот сирти эксплуатацион хусусиятларини яхшилайти. Анод оммавий оқими юзага келишидан кейинги электручқунли легирлаш жараёни ривожланиши хусусиятларини батафсилроқ кўриб чиқамиз.

Энг кенг тарқалган кимиёвий –термик ишлов бериш усуллига электручқунли лигерлаш (ЭУЛ) киради (3.2–расм). Бу усулда юзани пухталаниши анод материални (қаттиқ қотишма) катодга (деталга) пульсацияланувчи ток ва юқори ҳароратли учқун разряди ёрдамида ҳосил бўлади. Бу махсус дастгоҳларда амалга оширилади. Уларни ишлаш принципи куйидагича:



3.2–расм. Электручқунли ишлов бериш жараёни умумий схемаси:

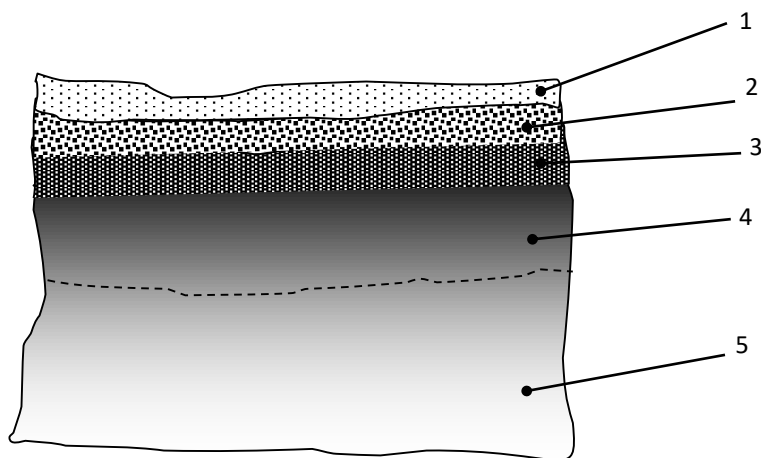
ИГ– импульс генератори, УР– учқун разряди, f – электродни вибрация частотаси, S – суриш, А– анод, К– катод.

Анод оммавий оқими электрод аро сатҳда ҳаракатланиб катод-маҳсулот сиртига интилади, легирловчи электрод ва пухталанаётган деталь орасидаги қолдиқ электр майдони эвазига кўшимча тезланади ва қизийди. Ҳаракатланишда анодли эродланган масса электрод аро мухит ва катод-маҳсулот материали эрозияси маҳсуллари билан физико-кимёвий таъсирга киришади. Тиниш вақтида эродланган масса зарралари ўзида электрик, кинетик ва иссиқлик энергияларини сақлаб қолади, бу энергиялар пухталанаётган сирт билан таъсирга киришганда катта зичликдаги кучланиш кўринишидаги иссиқлик импульси кўринишида ажралади. Легирловчи электрод ва пухталанаётган деталь ўзаро кинематик алоқада бўлгани сабабли, эродланган масса тинишидан сўнг, пухталанаётган сирт периодик характердаги контакт-деформацион таъсирга учрайди. Контактли таъсирнинг хар бир акти давомида легирловчи электрод ва пухталанаётган сирт орасида микролокал адгезион алоқалар вужудга келади ва шу он узилади, бу

модификацияланган қатлам пластик деформациясини ва механик массакўчиришни юзага келтиради.

Юқори зичликдаги кучли энергетик таъсир электручқунли легирлашга хамоханг бўлган энергомассакўчиришнинг микрометаллургик, конвекцион-диффузион жараёнлар ўтишини кучайтиради.

Пухталаштирилган сирт қуйидаги тузилманинг (3.2-расм)[16] композицион тизимини ифодалайди. Энг юқори қатлам, катод материали элементлари ва электрод аро мухит томонидан модификацияланган легирловчи анод материалларидан ташкил топган, яхлит ёки оролчасимон юпқа қопламли тузилмалардан иборатдир. Юқори қатлам яхлитлиги пухталаш шароитлари ва режимларига боғлиқ. Юқори қатлам остида, пухталаштирилаётган сирт устида ион-плазма ва томчилик фазалар конденсацияси натижасида ҳосил бўлувчи, анод ва катод материаллари қоришмасидан иборат зона жойлашади. Ундан кейин, катод-маҳсулотнинг пухталаштирилаётган матрицасидаги легирловчи электрод элементлари диффузияси ҳисобига ҳосил бўлган қатлам келади 3. Уни остида, исиклик ўтказувчанлик ҳисобига импульсли исиклик таъсири ва интенсив соғутишга дучор бўлган дастлабки материалнинг трансформцион структураси бўлган термик таъсир зонаси (ТТЗ) 4 жойлашади. ТТЗ тобланиш структуралари вужудга келиши натижасида, дислокацияларнинг кучайтирилган зичлиги ва кристаллик тузилишнинг бошқа дефектлари натижасида юқори микропишиқлиги билан ажралади. Термик тасир зонаси асосий материал структурасига равон равишда ўтиб кетади 5. Электручқунли легирлашнинг режимларига боғлиқ ҳолда ҳар бир қатламнинг катталиги ва пухталаштирилиш даражаси кенг диапазонда ўзгарувчан бўлиши мумкин, бунда энг юқори қалинлик ҳар доим ТТЗга тегишлиди. Модификацияланган қатламнинг суммар қалинлиги 250...500 мкм га етиши мумкин, бунда бевосита тиндирилган қоплам қалинлиги 150...200 мкм дан ошмайди.



3.2-расм. Электручқунли легирлаш билан пухталаштирилган сирт қоплами структураси

Триботехник тизимларда пухталаштирилган сирт структуралар эксплуатациясида юқори қатлам контакт таъсир шартларини белгилайди, унинг химоя функцияси эса фақатгина иш пайтида кўринади. Пастки қопламлар аниқланган периодда трибобириктирилишнинг ишчанлигига жавобгар бўладилар ва пухталаштирилган сирт иш ресурсини белгилайдилар.

Электучқунли легирлаш жараёнининг асосий энергетик характеристикаси бу ягона учқунли разряд энергияси бўлиб, умумий холда қуйидаги ифода орқали аниқланади:

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

Бу ерда t_n – ягона учқунли разряд давомийлиги; $U(t)$ ва $I(t)$ – электрод аро сатҳдаги кучланиш пасайиши ва ток кучининг вақт боғлиқлиги.

Импульсдаги $U(t)$ кучланиши ва ток $I(t)$ ни жараёни осцилографлаш йўли билан аниқлайдилар.

3.1.жадвалдан кўриниб турганидек ЭУЛ (электучқунли легирлаш)да якка учқун разряди энергияси унча катта бўлмаган қийматга етади, ускуналарнинг ўзини эса камқувватли тоифага мансуб бўлади. Бироқ учқунли разряд қисқа вақт ичида ва ўлчами бир неча ўнлик микрометр бўлган кичик майдонда содир бўлишини инобатга олиб, кучланиш зичлиги таъсири реал участкаларда $10^5 \dots 10^7$ Вт/см² га яқин миқдорга етади, бу эса юқори концентрациялик энергетик оқимлар гуруҳларига оиддир. Электррозия жараёни актив модда оқимини олишдаги энг содда ва энергияни кам сарфлайдиган услубларига киради. Анод эрозияси махсуллари, легирловчи электрод сатҳи бўйлаб яримсфера доирасида изотроп равишда сочилиб, ионлаштирилган, буғли, томчили ва қаттиқ кристалли фазаларни ўз ичида мужасамлаштиради. Бу фазалар нисбати ёки эрозион оммавий оқим структураси, кимёвий таркиб ва электрод материаллари структураси, сиртлар ғадир будурлиги ва учқунланиш разряди энергетик режимлари ҳамда электрод аро газли мухит таркибига боғлиқ.

Ягона эрозион зарра электрод аро ораликда харакатланиб, ўзида иссиқлик, кинетик ва электр энергияларни йиғади. Заррани пухталанаётган сиртга қўндирилганда унда йиғилган энергиянинг катта қисми иссиқлик импульси кўринишида ажралади ва таъсир жойида туби анод-катод моддаси эрозион фрагментлари ва мухит билан ўзаро таъсир махсуллари билан тўлган кратерсимон чуқурча хосил қилади. Микрочуқурча диаметрал ўлчами иссиқлик импульси энергияси билан белгиланади, шунинг учун диаметрал ўлчамлар тақсимланиши характери структура ва эрозион анод оқим энергетикасининг билвосита кўрсаткичи бўлиб хизмат қилиши мумкин. Натижада ЭУЛнинг асосий параметрларидан бири бўлиб харорат ва барча унга хамрох бўлган структур жараёнларни назорат қилувчи харорат градиенти ва тезлиги гавдаланади. ЭУЛ жараёнининг юқори динамикалигидан харорат характеристикаларини ўлчаш

қийинлашади, шунинг учун назарий теплофизик анализ уни тадқиқот қилишни асосий услуби деб тан олинади. Фазавий ўзгаришлар ва кристалланиш чегаралари ўзгарувчанлиги инобатга олинган иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси (Стефан масаласи) ечими асосида, импульсли иссиқлик манбайи маркази ва харорат ўртасидаги энергия зичлигини билдирувчи алоқа аниқланган.

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

Бу ерда $T_{\text{ин}}$ – Эриш харорати; E_0 – энергетик оқим зичлиги; $t_{\text{н}}$ – иссиқлик импульси давомийлиги; a – харорат ўтказувчанлик коэффициент; α - эриш чегарасидаги туташуш шартларини белгиловчи коэффициент.

Юқори қатламлардаги харорат градиентини материал таранглик чегараларидан оширилган холда кристаллик тузилиш дефектлари ривожланишини, локал термопластик деформацияни келтириб чиқарувчи термокучланишлар миқдорий қиймати белгилайди. Электртучқунли легирлаш жараёни харорати эса, ўз ўрнида структур-энергетик реакциялар тезлиги, уларнинг тугатилганлиги ва мутаносиблигини назорат қилади. Якка учқунли разряд харорати энергияси ортирилганда унинг градиенти ҳам ошади. Электртучқунли легирлаш билан бирга ўтувчи кўпгина жараёнларга харорат ва унинг градиенти неадекват таъсир кўрсатади. Шундай қилиб, харорат градиенти ортиши билан модификацияланган структура дислокациялари зичлиги ортади, харорат ортиши эса унинг дам олиш жараёнлари хисобига пасайишига олиб келади. Харорат градиенти ортиши билан легирловчи электрод сатхида унинг мўрт бузилиш жараёнлари интенсификацияланади ва эрозияланган анод массанинг ортишига олиб келади, бироқ харорат ортиши билан электрод аро жабхада оксидланиш жараёнлари активацияланади, бу эса эрозияланган фрагментлар ўлчамининг кичиклашишига ва анод масса оқимини пасайтиришга олиб келади.

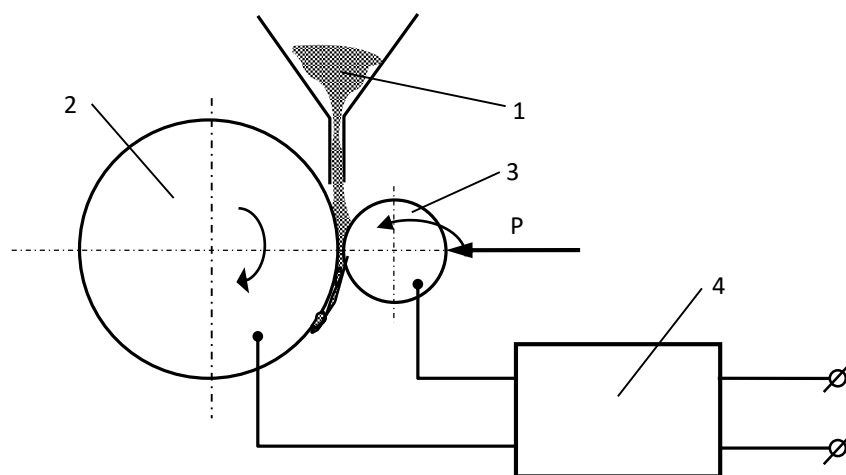
3.2. Электртучқунли қоплама қоплашнинг махсус усуллари. Электртучқунли легирлашнинг махсус методлари.

Электртучқунли усулда олинган қоплама бошқа усулда олинганидан шуниси билан фарқ қиладики, бунда қоплама асос билан юқори мустаҳкам боғланишга эга бўлади. Бу эса пухталанган, модификацияланган ва легирланган структура ҳосил қилиш усуллариининг турли-туманлигини тушунтиради, буларнинг ҳаммаси эса электртучқунли жараёнда фойдаланилади. Улардан бир қанчасини кўриб чиқамиз.

3.2.1 Кукун материалдан электртучқун усули ёрдамида қоплама қоплаш.

Маида заррачали ток ўтказувчи материалнинг кукуни пухталанувчи юзанинг контактлашувчи зонасига ва мисдан тайёрланган роликка узатилади, булар орасида даврий учқунли заряд ҳосил бўлади. Учқун ажралиш жараёнини

бошлаб берувчи импульслар генератори конструктив жиҳатдан анъанавий электр-учкунли легирлашда қўлланиладиган қурилмалардан фарқ қилмайди. Боғлаб узиш жараёни электр заряд занжирини узувчи элестрон қурилма ёрдамида амалга оширилади. Сиқувчи ролик фақатгина анод вазифасини бажариб қолмасдан, балки қиздирилган легирланган қатлам юзасининг пластик деформацияланишини таъминлайди. Учкунли жараённи электрконтакт билан алмаштириш қопламанинг асос билан адгезиясини ошириш мумкин. Бундан юзани пухталашда ва уни қайта тиклашда фойдаланиш мумкин. Қурилманинг асосий схемаси 4.8-расмда келтирилган.

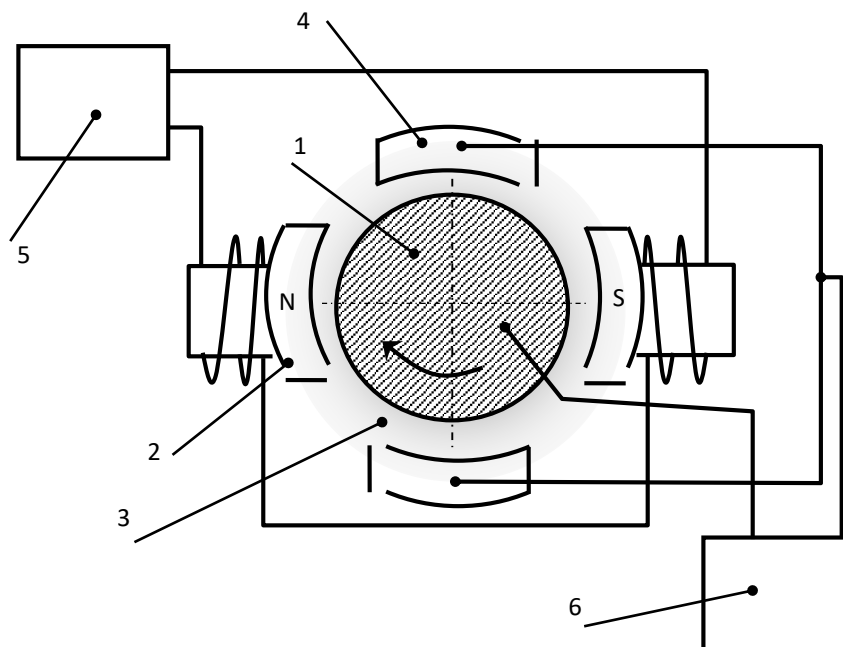


3.3-расм. Қоплама қоплаш ва легирланган қатлам юзасини пластик деформациялашни электр-учкунли усули: 1- металл кукун; 2- пухталанувчи детал; 3- ролик; 4- импульслар генератори.

3.3-расмда Ферромагнит таркибли металл кукунларини қоплаш учун қурилманинг асосий схемаси келтирилган. Пухталанувчи ёки қайта тикланувчи детал 1 доимий магнитнинг 2 марказлари орасида айлантирилади, бу магнитларга перпендикуляр равишда электродлар (анодлар) 4 жойлаштирилади. Детал юзаси ва магнит орасидаги бўшлиққа кукунсимон ферромагнит материал 3 киритилади, унинг булути эса магнит майдони ёрдамида ушлаб турилади. Детални унинг юзасида айлантирилганда металл кукунларининг деталга юзасига ўтириши содир бўлади. Электрод ва детал орасида ҳосил бўладиган электр заряд ўтирган кукунни юзага қизиган ҳолда ёпишишини таъминлайди. Доимий ток манбаи 5 электромагнитларни таъминлаб туради, импульслар генератори 6 эса учкун зарядини таъминлайди.

Электр-учкун усулида легирланган қопламани қоплаш ва юзани қайта тиклаш учун маҳсус металл кукунлари ишлаб чиқилган, бу кукунлар қаттиқ қотишмалар яъни карбидлар, нитридлар ва қийин эрийдиган металлларнинг боридлари, хром ва хромли қотишмалар волфрам ва углероднинг аралашмалари

ва бошқ шу кабилардан фойдаланилади. Кукун материаллардан фойдаланиш металл псевдокотишмалар ҳосил қилишга имкон беради, бундай қотишмаларни анъанавий металлургик жараёнлар ёрдамида олишни имкони мавжуд эмас. Электр-учқунли қайта тиклаш технологиясидан асосан ҳарбий маҳсулотларни ва кончликда фойдаланиладиган машиналарни, хўжалик техникаларини ва асбобсозлик саноатида таъмирлаш ишларида кенг кўламда фойдаланилади.

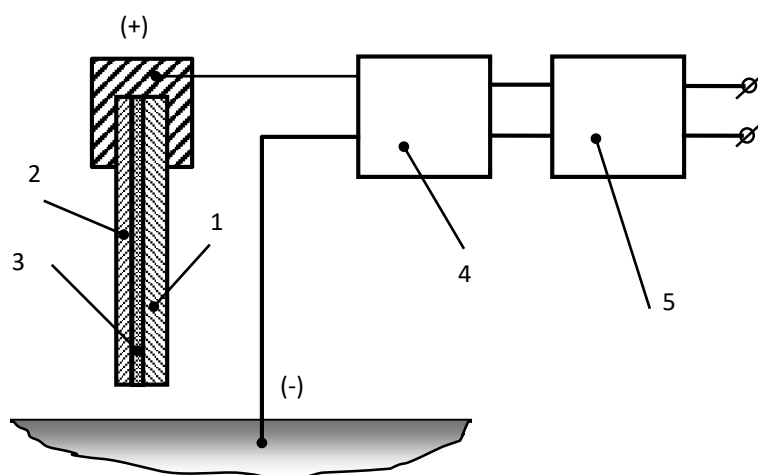


3.4-расм. Ферромагнит кукунни электр-учқун усулида қоплаш:
1-Пухталанувчи детал (катод); 2- электромагнит; 3- ферромагнит кукун; 4- электрод (анод); 5- доимий ток манбаи; 6- импульслар генератори.

3.2.2. Биметалл электродлар билан электр-учқунли легирлаш.

Биметалл электрод 2 та металлдан иборат бўлади (3.5-расм), бу металллар бири-биридан электризолятсияловчи қистирма ажратилган бўлади, бу металлларнинг бири легирловчи электродлар анъанавий материалларидан тайёрланса, иккинчиси эса юқори элестрон-емиссион хусусиятларга (Электронларнинг паст энергияда чиқиши) эга бўлган қотишмалардан тайёрланади.

Ёрдамчи электрод 2 каналнинг тўлиқ ўтказувчанлигини элестрон эмиссияси ҳисобига таъминлаш учун хизмат қилади, бундан кейин эса электродларда кучланишлар кичик бўлганда ҳам электр заряд анча кучли бўлади. Асосий электрод 1 нинг электрик емирилиши жуда актив бўлади қачонки суюқ фаза анод ҳажмининг ортиб бориши билан, бу эса ўз навбатида узатилиш коэффициентини оширади. Биметалл материаллар легирловчи материал сифатида жуда қаттиқликка ва паст эрозион активликка эга бўлган металллар ва қотишмаларни қўллаш имкониятини тақдим этади.



3.5-расм. Биметалл электродлар ёрдамида электр-учқунли легирлаш схемаси: 1- легирловчи материал; 2- ёрдамчи электрод; 3- изолятсияловчи; 4- импульслар генератори; 5- таъминот манбаи.

3.3. Лазер ёрдамида ишлов беришнинг физик асослари ва технологик жараёнлари.

Лазер ёки оптик квант генератор шундай қурилма бўлиб, турли кўринишдаги энергияларни (Электр, ёруғлик, кимёвий, иссиқлик ва бошқалар) бир текис оптик диапазонда электромагнит нурланадиган энергияга айлантиради. Лазернинг ишлаши уйғотилган атомлар, молекулаларнинг ионлар ва бошқа моддаларнинг заррачалари системаси ёруғликни индуксион тарқатишига асосланган бўлиб, бу заррачалар оптик резонаторларда жойлашади. Бундай мустаҳкамланиш бўлиши мумкин, агар актив муҳит ҳаракат ҳолатида ёки нотўғри жойда бўлса, актив муҳит заррачаларнинг (Электронлар, атомлар, ионлар, молекулалар ва бошқалар) энергия даражаси бўйича бир текисда тақсимланиши бузилса ва ҳаракатга келган энергетик поғонадаги заррачалар сони паст энергия поғоналарида жойлашган заррачалар сонини ортиради.

Актив муҳитнинг жойлашиш зичлигининг маълум тартибда ўзгаришининг бошланиши ва буни қўллаб-қувватлаш учун турли хил уйғотувчи методларидан фойдаланилади, қайсики дам бериш деб аталади, бу эса актив муҳитнинг структурасига боғлиқ. Дам бериш ултрабинафша нурланиш, электронлар тўплами, кучли электр майдон, газли муҳитдаги электр заряд, кимёвий реакция ва бошқа методлар орқали амалга оширилади.

Оптик резонаторнинг ойналари орасидан пухталовчи нурланишнинг кўп маротаба ўтишида лазер нурланишнинг кучли тўплами ҳосил бўлади. Лазер нурлари шаффоф қилиб тайёрланган резонаторнинг ойналаридан бири орқали чиқади.

Лазер нурлари катта диапазондаги тўлқин узунликларига яъни ултрабинафшадан инфрақизил ва сабмиллиметрчага эга бўлади. Лазерлар нурни

турли режимларда сочиши мумкин: узоқ вақт тўхтовсиз, бир марта битта чакнаш кўринишида, турли частотали импульслар режимида.

Лазерли нурланиш бир текислилик ва бир хил ранглилик билан характерланади. Тўлқин когерент деб аталади агар амплитуде, частота, фаза, тарқалиш йўналиши ва кутбланиши доимий вақт бўйича ёки бирор-бир қонун бўйича ўзгарса. Айнан бир хил ёрқинлик частотанинг ва тўлқин узунлигининг доимий бўлишини таъминлайди. Бир хил ёрқинликдаги тўлқин доим когерент бўлади. Электромагнит тўлқинларнинг назарий жиҳатдан бир хил ёрқинлиликка эга бўлиши, тўлқин узунлигига тенг бўлган доғга унинг фокусини тўғрилаш имконини беради. Бу шуни англатадики, инфрақизил диапазонли лазер нурланишдан фойдаланишда доғ диаметри 1,0...10,0 мкм га етиши мумкин, ва қуввати эса 80 Вт (одатий электр лампанинг қуввати), иссиқ оқимининг зичлиги $10^{10} \dots 10^{11}$ Вт/см² ни ташкил этади, бу эса юқори концентратсияли энергия оқими демакдир. Бундай иссиқлик оқими қийин эрийдиган металлларни эритиб қолмасдан балки уларни буғлатиб юборишга ҳам этади.

Умумий ҳолатда лазер технологияси деганда материалга ёки ярим тайёр маҳсулотга лазер нурланиш ёрдамида ишлов бериш, ишлаб чиқриш, ҳолатини, хоссаларини, шаклини ўзгартириш тушунилади. Кўпчилик ҳолатларда лазер технологиясида лазернинг ишлов берилаётган материалга таъсирининг иссиқлик эффектидан фойдаланилади. Иссиқлик таъсири лазер технологияларида нурланиш ва ишлов бериш режими параметрларини ўзгартириш ҳисобига кенг чегараларда ўзгартирилади.

Лазер қурилмаларини бир қанча белгилар бўйича классификациялаш мумкин:

- Ишчи жисм турига кўра лазерлар қаттиқ жисмли, газли, суюқ ёки рангли ва эркин электронсиз бўлган лазерларга бўлинади;
- Лазерлар ҳайдаш хусусиятига кўра оптик, газ зарядли ва кимёвий бўлиши мумкин;
- Лазернинг нурланиш қуввати қийматига кўра кам қувватли, қувватли ва юқори қувватли бўлиши мумкин;
- Лазернинг нур импульсининг давомийлигига кўра узлуксиз ва импульсли бўлиши мумкин.

3.3.1. Узлуксиз лазер нурланиш орқали металлларни термо-пухталашнинг теплофизик жараёнлари

Лазер билан ишлов бериш технологияси лазерли нурланишнинг кичик ҳудуд юзасига юқори зичликдаги иссиқлик оқимларини йўналтира олиш хусусиятига асосланган. Лазерли нурланишда ишлов берилаётган материал юзасига йўналтирилган ёқруғлик оқими кўпинча ундан қайтади, ва кўпинча қаттиқ жисм томонидан ютилади. Металл тубига етиб борадиган нурланиш 0,1...1,0 мкм қалинликдаги юзага яқин қатламдаги валент электронлар томонидан деярли тўлиқлигича ютилади. Бу эса электронлар энергиясининг ортишига ва бунинг

натижасида уларнинг бир-бири билан тўқнашиши кучаяди. Электрон томонидан ютилган энергия дастлабки тартиб вақти момент 10^{-11} с да металлнинг кристалл панжарасига узатилади. Шу сабабли бу пайтда металлнинг иссиқлик ҳолати 2 та бир-биридан фарқ қиладиган температура билан ҳарактерланади: элестрон температураси T_e ва панжара температураси T_n ва $T_e \gg T_n$. 10^{-9} с тартибда вақтнинг тугаб бориши билан элестрон ва панжара температураси орасидаги фарқ минимал бўлади, ва металлнинг ҳарорати умумий температура T_m билан ҳарактерланади. Бу шарт ишлов бериш зонасидаги нурланиш қуввати зичлиги 10^9 Вт/см² дан ошмаган тақдирда бажарилади.

Лазерли ўлчамли металлларга ишлов бериш ва пухталаш технологияси иссиқлик таъсирларидан фойдаланишга асосланган. Иссиқликнинг асосий қисми лазерли қиздиришда электрон ўтказувчанлик ҳисобига металл тубига узатилади. Натижада лазерли қиздиришдаги иссиқлик жараёнларининг физик табиати металлларга иссиқлик билан таъсир қилишнинг анъанавий усулларида кузатиладиган физик табиат билан бир хил бўлади. Бу эса лазерли ишлов беришда иссиқликнинг металлларда тарқлашини иссиқлик ўтказувчанликнинг классик назариясидан фойдаланган ҳолда кўриб чиқишга асос бўлади [2].

Лазерли нурланишнинг металллар ва қотишмалар билан таъсирлашуви юқори тезликлик қиздириш ва совутиш, эритиш ва буғлатиш, материалнинг ажралиши ва кимёвий ўзгариши, ионлашуви ва бошқа жараёнлар билан боради. Бундай юқори градиентли ҳароратга эга бўлган иссиқлик майдонида ҳосил бўлувчилар термомеханик кучланишлар ва деформацияга сабаб бўлади [42].

Лазер таъсири остида юза қатламининг пухталаниши ўта юқори тезликда қиздириш ва ундан кейинги нурлантирилган материалнинг совутилиши, юзанинг атрофдаги муҳит элементлари билан легирланиши, нурланиш зонасидаги дислокация зичлигининг ўлчами ва бошқалар билан белгиланади. Нурланган материалда бундай ҳолларда структура ва фаза ўзгаришлари содир бўлади, бу эса ўз навбатида ўзига хос хоссаларга эга бўлган махсус ултрадисперс гомоген структура ҳосил бўлиши билан содир бўлади. Лазели пухталашнинг бир қанча турлари мавжуд бўлиб, улар бир-биридан асосан нурланишнинг қуввати даражалари ва термик жараёнларнинг ўтказилиш тезлиги билан фарқланади.

Биринчи 4 та пухталаш усулларидан ҳозирги кунда жуда кенг кўламда фойдаланилади. Анъанавий термик ва кимёвий-термик ишлов бериш технологиялари билан таққослаганда юзани лазерли пухталашнинг асосий афзалликлари қуйидагилар ҳисобланади: пухталанган зонани олишнинг оддийлиги, технологик жараённинг экологик жиҳатдан тозалиги, термик сиклнинг қисқалиги сабабли оксидловчи жараёнларнинг минимал бўлиши, мураккаб шакли юпқа деворли деталларни пухталашда лазер технологиясидан

фойдаланиш имконининг мавжудлиги, ва шунингдек механик куч таъсирининг йўқлиги.

Лазерли пухталашнинг истиқболли йўналишларидан бири бу юзани тезлик билан нурлантириш ва зарб билан пухталаш ҳолатларида аморфизация қилишдир. Аморфизация жараёнида юқори тезликда иссиқлик олиб келиниши ва олиб кетилиши эритманинг ўз шаклини сақлаган ҳолда қотиши, ҳамда металл ойна ёки юза қатламининг аморф ҳолатининг ҳосил бўлишини таъминлайди. Юзани аморфизация қилиш орқали юқори қаттиқлик, коррозиябардошлик, магнит хоссаларнинг яхшиланиши ва бошқаларга эришиш мумкин. Зарб билан пухталашга материалга лазерли нурланишнинг ўта қисқа импульслари таъсир эттирилганда эришилади. Метал билан таъсирлашиш жараёнида қайтиш импульслари ҳосил бўлади, бу эса металнинг сезиларли пухталанишини таъминлайдиган зарб тўлқинларини ҳосил қилади.

Металл юзасининг қиздирилиш ҳарорати берилган узунликдаги электромагнит тўлқинларда материалнинг қай даражада энергия ютиш қобилиятига эга эканлигига қараб белгиланади. Материалнинг ютиш қобилиятини сон жиҳатдан нурланишнинг ютилган интенсивлигини аниқ бир вақтда қиздиришдаги нурланишнинг пасаювчи интенсивлигига нисбати сифатида ифодалаш мумкин. Умумий тамойил шуки металлларнинг ютиш қобилияти нурланиш тўлқинлари узунлигининг камайиши билан ортади.

Турли лазер ишлов беришнинг технологик хусусиятлари

Пухталаш тури	Қувват зичлиги, Вт/м ²	Совутиш тезлиги, град/с	Модификациялашган қатлам чуқурлиги, мм
1. Фазасиз ўтиш	$10^7 \dots 10^8$	$10^4 \dots 10^5$	0,02...0,5
2. Фазали ўтиш	$10^8 \dots 10^9$	$10^4 \dots 10^6$	0,2...3,0
3. Лазерли легирлаш	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^4 \dots 10^6$	0,2...2,0
4. Лазерли наплавка	$10^8 \dots 10^{10}$	$10^4 \dots 10^6$	0,02...1,0
5. Юзани аморфлаш	$10^{12} \dots 10^{14}$	$10^6 \dots 10^{10}$	0,01...0,1
6. Шокли, зарбли	$10^{13} \dots 10^{16}$	$10^4 \dots 10^6$	0,02...0,2

Термо-пухталаш учун технологик лазерлар сифатида CO₂ (нурларнинг тўлқин узунлиги $\lambda=10,6$ мкм), шунингдек қаттиқ корпусли ойнаси неодиумдан бўлган ($\lambda=1,06$ мкм) лазерлардан фойдаланилади. Бундай махсус диапазонда кўпчилик металллар юқори қайтарувчи ёки паст ютувчи хоссаларга эга бўлади. Оксидланмаган металл юзасининг ютувчанлик хоссаси лазер нурининг тўлқин узунлиги $\lambda=1,06$ мкм бўлганда Хагена-Рубенс тенглиги орқали аниқланади:

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

бу ерда A - ютилиш коэффициенти; σ_0 - доимий токда металлнинг нисбий электр ўтказувчанлиги.

Металларнинг электр ўтказувчанлиги ҳарорат кўтарилиши билан пасаяди, лекин ютилиш коэффициенти эса ортиб боради. Юза қатламида оксид пардонинг бўлиши ютилиш хоссасини ўсишига ҳалақит беролмайди. Ҳамма металллар юқори электр ўтказувчанлик хоссасига эга бўлиб, шу сабабли юқори қайтарувчанлик хоссаси билан ажралиб туради. Лазер нурланиши билан метал орасидаги таъсирлашувни кучайтириш учун ишлов берилган детал юзасига махсус боғланиш билан қопланади. Бундай қопламалар таркибида коллоид графит, марганес фосфат, поликристалл волфрам, мис оксиди бўлади. Кўпгина ҳолатларда юзанинг ютувчанлик хоссасини оширишга юза ғадир-будурлигини камайтирувчи олдиндан меҳаник ишлов бериш ёки юзани оксидлаш учун тайёрланган лазерли нурлантириш орқали эришиш мумкин.

Пухталанган ҳудудларнинг ўлчами ва шакллари, уларнинг структураси ва хоссаси материалдаги ҳарорат ҳудудлари ва уларнинг вақт ўтиши билан ўзгариш ҳарактерига қараб аниқланади.

Юзани термо-пухталашнинг оптимал режимларини кейинг модели намойишлардан аниқлаш мумкин. Доимий теплофизик хоссаларга эга бўлган ярим чексиз корпусни кўриб чиқамиз, бу тепло-физик хоссалар юзанинг иссиқлик манбаи қ га нисбатан B тезлик билан ўзгаради. Агар иссиқлик манбаи ўзи билан r радиусли доимий интенсивликни намойиш қилса,

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

Унда y материалга вақт $t = 2r/V$ ўтиши билан таъсир қилади. $r \gg \sqrt{at}$ бўлганда иссиқлик ўтказувчанликнинг чегаравий ечимини топамиз

3.3.2. Лазерли таъсирлашув натижасида материал структурасининг ўзгариши

Лазерли таъсирлашувдаги структура ўзгаришлари температуранинг абсолют қийматлари ва градиентлари, қиздириш ва совутиш тезлиги билан аниқланади. Лазерли ишлов бериш учун юқори градиентли ва қиздириш ва совутиш тезлигига эга динамик температуре майдонларининг ўсиши ҳарактерга эга. Лазерли нурланишнинг материал билан таъсирлашуви натижасида диффузион,

кимёвий ва термопластик жараёнлар активлашади, булар эса кристалл тузилишдаги дислокациялар ва бошқа нуқсонлар зичлигининг ортиши, тобланган структуранинг ортиши, қолдиқ кучланиш майдонларининг ҳосил бўлиши, ортикча фазаларнинг ажралиши ва эриши ва бошқа структура ҳосил қилувчи жараёнлар сабаб бўлади. Лазерли пухталаш натижасида ҳосил бўлган юза структуралари юқори даражадаги нотекислиги билан характерланади ва юқори қаттиқлиги билан ажралиб туради, бундай қаттиқликни анъанавий термик ишлов бериш йўли билан олишнинг иложи йўқ.

Пўлатлар таркибида углерод миқдорининг ортиши билан пухталаниш даражаси ортиб боради, Кулранг чўянларга лазерли ишлов беришда қўшимча пухталанишга оқ чўяннинг ҳосил бўлиши ҳисобига эришилади. Лазер нурланиш орқали кам углеродли пўлатларнинг микроқаттиқлигини ошириш мумкин, лекин бундай натижага маълум бўлган ишлов бериш турларидан (ТМИ, тоблаш ва бошқалар) фойдаланиб эришиб бўлмайди. Лазерли ишлов бериш орқали микроқаттиқликнинг ошиши армко-темирлар учун (0,06 %) $\Delta HV=800$ МПа, У 10 пўлатлар учун 10000 МПа, пўлат 45 учун эса 14000 МПа ни ташкил этади. Ушбу кўрсатилган қонуният барча металллар учун умумий ҳарактерга эга бўлиб, лекин айрим материалларнинг алоҳида хоссалари структура ўзгаришларининг сўнги натижасига катта таъсир қилиши мумкин.

Темир ва темир-углеродли қотишмалар мисолида структура ва хоссаларнинг ўзгариши учун анча характерли мисолларни кўриб чиқамиз. Фокус нуқтаси юзасида ҳосил бўлган микроструктурани шартли равишда 2 та ҳудудга (ериш ҳудуди, термик таъсирлашув зонаси) ажратилади, бу ҳудудлар бир-биридан кристалланишнинг дастлабки ҳолатлари билан фарқланади: иссиқлик жараёнларининг давомийлиги, қиздиришнинг максимал температураси, температуре градиенти, дастлабки фаза-структуравий ҳолат ва совутиш тезлиги. Шу аниқки, эриш ҳудуди агар қиздиришнинг максимал температураси эриш температурасидан ортиб кетса ҳосил бўлади. Эриш ҳудудининг ўлчамлари максимал температуре қийматига ва лазерли таъсирлашувнинг давомийлигига боғлиқ.

Доналарнинг ўлчами ва шакли совутиш тезлигига боғлиқ бўлиб, бу жараённинг кинетикаси сезиларли равишда анъанавий тоблашдан фарқланади. Бу шу билан белгиланади яъни кристалланишнинг 2 та асосий параметрлари- кристалларнинг ўсиш тезлиги ва кристалланиш марказларининг сони ўта совушга катта таъсир қилади. Ўта совутиш орқали мувозанат ҳолат диаграммасини белгилаб берувчи ликвидуснинг мувозанат температураси ва кристалланишнинг ҳақиқий температураси орасидаги тафовутни тушуниб олиш мумкин. Совутиш тезлиги ортиб бориши билан ўта совуш катталиги ортади.

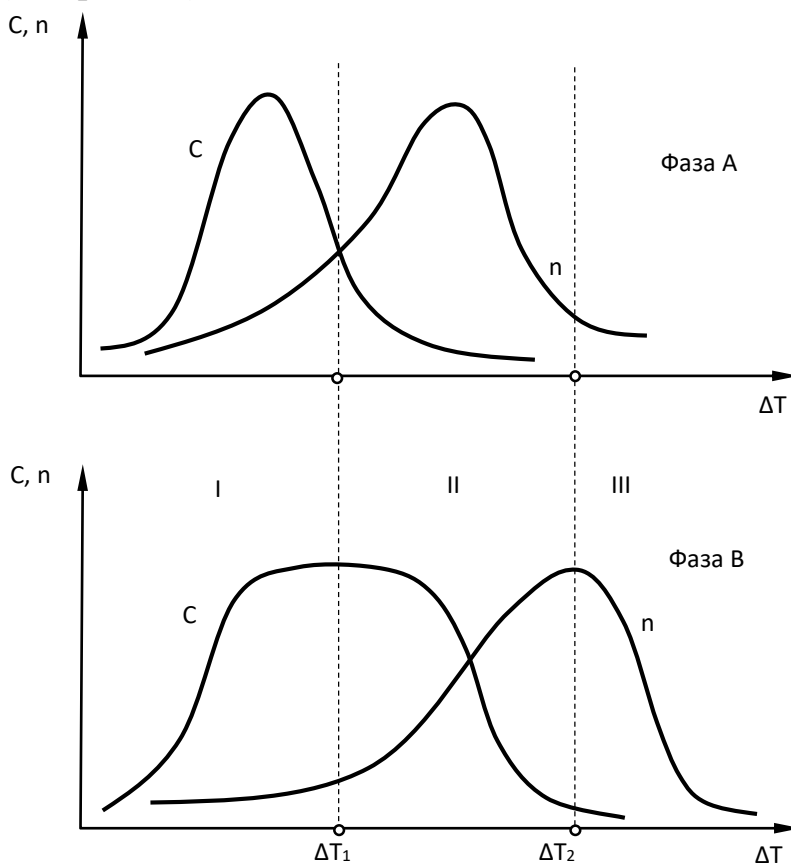
3.6- расмда кристалланиш параметрларининг ўта совуш катталигига боғлиқ ҳолда ўзгариши келтирилган. Нол градусда ўта совутишда ҳолат диаграммасида

кўришимиз мумкин бўлган бир жинсли структура ҳосил бўлади. Ўта совутишнинг I оралиғида кристалланиш марказларининг сони n унча катта бўлмаган ҳолатда A фазаларнинг кристалларининг ўсиши тезлиги C катта қийматларни қабул қилади, натижада йирик донали структура ҳосил бўлади. II ораликда ўсиш тезлиги C кичик қийматларни қабул қилади, лекин кристалларнинг ҳосил бўлиш марказлари максимум қийматга етади, натижада майда донали микроструктура ҳосил бўлади. III ораликда эса ўрта донали микроструктура ҳосил бўлади.

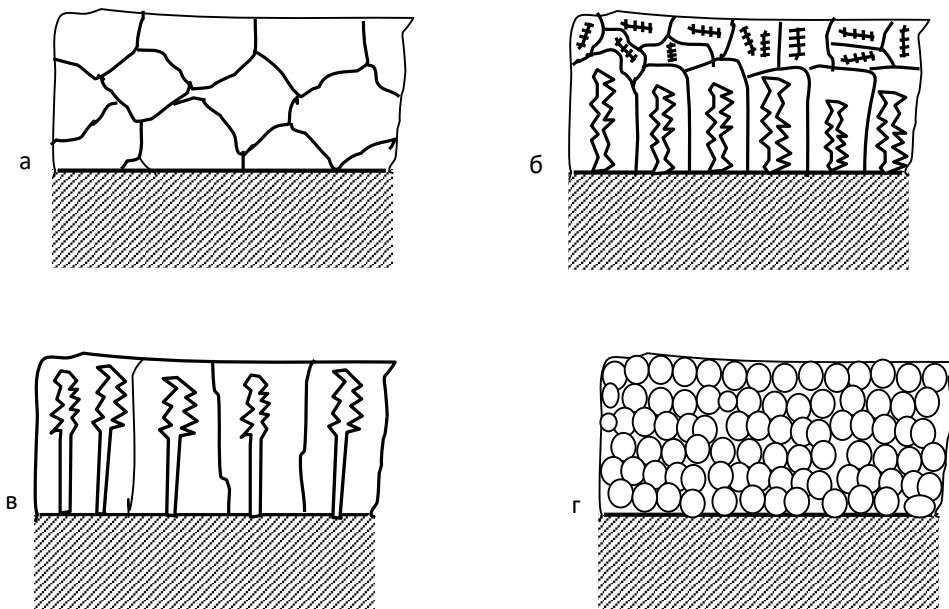
Структурада ўзининг кинематик характеристикалари C ва n га эга бўлган B иккинчи фаза мавжуд бўлганда, бунда ҳосил бўладиган микроструктура A ва B фазанинг барча кинематик характеристикаларига боғлиқ бўлади.

3.7- расмда эритилган юза қатламнинг турли тезликда совутилишидаги кристалланишида олинган микроструктуранинг схемаси келтирилган.

Секин совутишда ҳосил бўладиган кристалланиш марказлари сони ва уларнинг ўсиш тезлиги унча катта бўлмаган қийматларга эга бўлади. Бундай марказлар бутун қотишма бўйлаб ҳосил бўлади, ва уларнинг ўсиш йўналиши ориентирланмаган, натижада йирик бир текис ўқли текис чегарали доналар ҳосил бўлади (3.7- расм, а).



3.6- расм. Лазерли ишлов беришда ўта совушнинг фазаларнинг кристалланиш параметрларига таъсири.



3.7- расм. Эритилган юза қатламнинг турли тезликларда совутишда кристалланиш схемаси.

Совутиш тезлиги ортиб бориши билан суяқ ва қаттиқ фазалар чегараларида ўта совуш ҳосил бўлади, лекин эритманинг юзасида эса кам ҳосил бўлади, шу сабабли уясимон шаклли доналар юзада ҳосил бўлади, асосдан эритма юзасига қадар устунсимон кристаллитлар жойлашади, бу кристаллитлар эса бир қанча ориентрланган дендритлардан иборат бўлади (3.7- расм, б).

Совутиш тезлигининг кейинчалик ўсиб бориши уясимон доналар ҳудудининг торайиши ва йўқ бўлиб кетишига сабаб бўлади, бунда дендритлардан иборат бўлган устунсимон кристаллитлар ҳосил бўлади, уларнинг структураси бўйига кўра бир хил эмас. Асосга яқин бўлган дендритларнинг ҳосил бўлиши биринчи тартибли ўқлар билан характерланади, юқори қисмларда эса юқори тартибли ўқлар ҳосил бўлади (3.7-расм, в).

Совутиш тезлиги 10^6 К/с дан ошганда ўта совуш бир қанча юзлаб градусларга етади, бу эса пасаювчи ҳудуднинг боғланиши $C = f(\Delta T)$ га мос келади (3-расм). Кристалларнинг паст тезликда ўсиши дендритлар ҳосил бўлишини олдини олади ва кристалларнинг текис ўсишини таъминлайди, бу эса ўз навбатида майда донали структуранинг ўсишига сабаб бўлади (3.7-расм, г).

Углеродли ва легирланган пўлатларни лазерли тоблангандан кейин уларни электрон-микроскопик текшириш шуни кўрсатадики, устунсимон кристалларнинг ҳосил бўлиши дендрит ҳисобланади, кристалланишнинг катта тезликлари сабабли микроскопик ликвация сезиларли равишда ўсади. Кўндаланг кесимда устунсимон кристаллар алоҳида блоклардан иборат бўлган тенг ўқли доналар бўлиб кўринади. Углеродли пўлатлар учун бундай қатламнинг структураси қандайдир миқдордаги қолдиқ аустенитга эга бўлган майда игнали мартенситга мос келади.

Кул ранг чўянда биринчи ҳудуд асосан ўзи билан алоҳида томчисимон кўринишни тақдим қилади, бунда суяқ металл кристалланиб бўлганидан сўнг ледебуритга айланади, эвтектик гуруҳлар эса бўйлама ўсиш натижасида иссиқлик чиқиб кетадиган йўналиш бўйлаб ориентирланади.

Биринчи ҳудудда графитнинг кириши деярли ажралиб чиқмайди. Сезиларли даражада ғовакликнинг мавжуд бўлиши газларнинг ажралиб чиқиши билан тушунтирилади, бу газлар чўяннинг биринчи кристалланишида графит ажралиб чиқишида ютилган бўлади.

Қотишмаларда иккинчи ҳудуд фарқ қилади, бу фарқ турли хил таркибли углерод, легирловчи қўшимчалар, дастлабки структура, яна шунингдек унинг чуқурлиги бўйлаб сезиларли ҳарорат градиентларига эга бўлишлиги билан белгиланади. Армко- темирда иккинчи қатламнинг структураси майда доналилиги билан ажралиб туради, бу эса $\alpha \leftrightarrow \gamma$ фазали қайта кристалланиши ва термик кучланиш остида пластис деформацияланиш ва ундан кейинги қайта кристалланиш натижаси ҳисобланади.

Ўрта углеродли пўлатларда нисбатан катта ҳарорат оралиғи сабабли ва γ фазалар орасида иккинчи қатламнинг структурасида икки фазали ҳудудни кўриш мумкин, бунда α фаза эритмасига яқин жойда кам углеродли мартенсит ҳосил бўлади, кейинчалик ундан феррит ҳосил бўлади.

Углеродли пўлатларда олдин перлит зоналари жойлашган иккинчи ҳудудда олдинги структура бўлган перлитда сементит пластинкаларининг жойлашиш ҳолатига ўхшаш бўлган структура яъни унда углероднинг тақсимланиши даврий характерга эга бўлади. Доналар чегараси бўйлаб феррит тўрлари сақланиб қолади. Иккинчи қатламнинг шунга ўхшаш бир жинс бўлмаслиги углеродли асбобсозлик пўлатларида кузатилади. Бу гуруҳ металлларнинг структура ўзгаришининг ўзига хослиги улардаги полиморф ўзгаришлар анча юқори ҳароратларда содир бўлиши, бир жинс бўлмаган аустенит ҳосил бўлиши, шунга ўхшаш равишда бир жинсли бўлмаган мартенсит ҳосил бўлиши билан белгиланади. Худди мана шундай жараёнлар легирланган пўлатларга лазерли ишлов беришда ҳам кузатилади.

3.3.3. Импулсли лазерли нурланиш ёрдамида металлларни пухталашнинг теплофизик жараёнлари

Лазерли ишлов беришдан асосан кескичлар, трибобоғланишлар ва юқори контакт кучланишларда ишлайдиган машина деталларининг ишчи юзаларини пухталаш учун фойдаланилади. Импулсли лазерли таъсирлашув узлуксизига қараганда юқори самарали пухталанишни таъминлайди.

Импулсли нурланиш билан пухтлаш жараёнининг асосида бирлик импулсли лазерли таъсирлашувнинг элементар ҳудудини ташкил қилиш ётади. Шунга асосланган ҳолда импулсли таъсир этиш орқали пухталашдан юқори сифатли

операцияларни амалга оширишда фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Импульсли нурланиш билан пухталанишнинг технологик характеристикаларига қуйидагилар киради: таъсирлашиш жойининг ўлчам параметрлари (бирлик жойининг диаметри, пухталаниш чуқурлиги, бирлик майдоннинг қопланиш соҳаси), пухталаниш даражаси, пухталанган юзанинг ғадир-будурлиги. Бу характеристикалар материалнинг теплофизик параметрлари, ишлов бериш схемаси, лазер нурининг энергетик параметрлари, материалнинг лазерли нурланишни ютиш самарадорлигига ва бошқа шу кабиларга таъсир қилади.

Импульсли лазер билан таъсир этишдаги пухталаниш жараёнининг физик томони бир қанча механизмлардан ташкил топади: тобланган структуранинг ўсиши, термопластик деформация ҳисобига кристалл тузилишда юқори зичликдаги нуқсонларнинг ҳосил бўлиши, лазерли диффузия ҳисобига лазерли таъсирлашув зонасидаги легирловчи компонент ва аралашмаларнинг ўзгариши ва бошқалар. Қоплама билан қопланган юзага лазер билан ишлов беришда қўшимча пухталанишга плазма-кимёвий реакция ва микро-металлургик жараёнлар ҳисобига эришилади.

Пухталанган структураларнинг ўсишини тахмин қилишда шуни ҳисобга олиш керак-ки, қиздириш тезлиги ортиши билан фазавий-структуравий ўзгаришлар содир бўладиган критик нуқталар анча юқори ҳарорат соҳаларига кўчади. Кўчиш қиймати қотишманинг кимёвий таркибига боғлиқ.

Лазерли тобланиш- бу жараёнда юзанинг юпқа қатлами фаза ўзгаришлар содир бўладиган ҳароратдан паст ёки юқори ҳароратгача қиздирилади, кейин эса совутиувчи муҳитда ўта юқори тезликда совутилади. Бунда материал ўз-ўзидан тобланади. Ҳарорат градиенти $10^4 \dots 10^6$ К/см га етиши мумкин. Қиздириш тезлиги $10^5 \dots 10^8$ К/с ни, баъзан эса 10^{10} ни ташкил этади. Ҳарорат градиентлари жуда юқори бўлганда совутиш тезлиги $10^4 \dots 10^6$ К/см га етади.

Лазерли тобланиш юзанинг эритилиши билан ёки юза эритилмасдан ҳам содир бўлиши мумкин. Биринчи ҳолатда юзанинг микрогеометрияси сақланиб қолади ва кейинг механик ишлов беришда эса унга қўйиладиган талаб пасаяди. Лазерли тобланишда пухталанган қатламнинг чуқурлиги 0,15 мм ни ташкил этади.

Эритилмасдан лазерли тобланиш кескич асбобларини ва тез ейилувчи машина деталларини пухталанишда фойдаланилади. Бундай жараён қувватининг зичлиги $10^3 \dots 10^4$ Вт/см² ни ташкил этади.

Фаза ўзгариши билан кечадиган лазерли пухталаниш жараёни қувват зичлигининг $10^4 \dots 10^6$ Вт/см² қийматларида олиб борилади. Бунда қиздириш жараёнида ишлов берилаётган қатламда аустенит ҳосил бўлади ва карбид фаза эрийди, кейин совутишда аустенит мартенситга айланади. Лазерли тобланишда совутиш тезлиги одатий тобланишдаги совутиш тезлигига қараганда деярли 1000 баробар катта бўлади. Натижада таркибида углерод миқдори кўп бўлган мартенсит ҳосил бўлади. Бундай структуралар одатий хурушловчилар билан

яхши хурушланмайди, яна юқори қаттиқликка, майда донага эга бўлади ва метастабил юқори ҳароратли фазаларга эга бўлиши мумкин.

Лазерли тоблашнинг афзалликлари:

- Мураккаб шаклли маҳсулотлардаги етиб боориш қийин бўлган жойларни пухталаш имконининг мавжудлиги;
- Маҳаллий ва тор жойларни пухталаш имконияти;
- Маҳсулотларни деформациялаш даражасини камайтириш ёки мутлак йўқотиш ва ишлов беришни юқори сифатли бўлишини таъминлаш;
- Юпқа намуналар ёки кичик ўлчамли деталларга ишлов бериш имконияти;
- Юқори тезликдаги ишлов бериш ҳисобига оксидланишни камайиши;
- Юқори унумдорлик ва тежамкорлик;
- Ишлов беришни инерт ва актив муҳитларда олиб боориш имкониятининг мавжудлиги.

Лазерли глазерлашда кузатиладиган ўта юқори тезликда совутишда кўпчилик қотишмалар аморф структурасини сақлаб қолади. Қора металллардан етарли миқдорда углерод, фосфор ва кремнийга эга бўлган чўянлар аморф ҳолатга ўтади. Таркибида бор бўлган ледебуриг классдаги пўлатга қопланган қопламалар осонгина аморф ҳолатга ўтади. Одатдаги пўлатлар юзасида аморф қатламлар ҳосил қилиш учун совутиш тезлиги 10^8 дан К/с дан юқори бўлиши керак.

3.3.4. Лазерли маҳаллий легирлаш

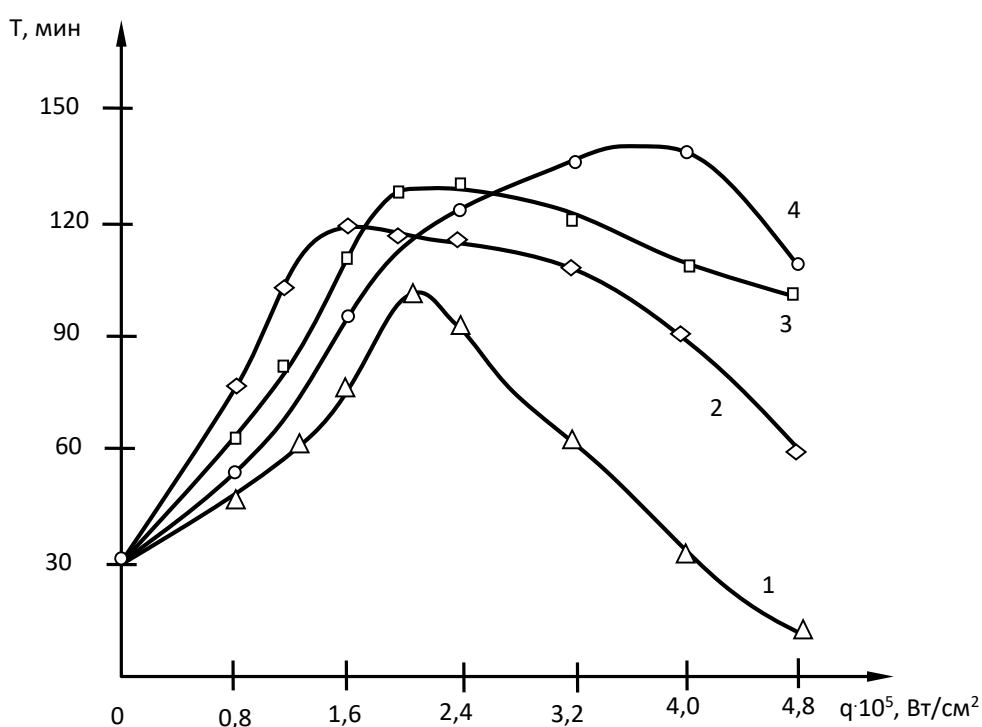
Лазерли маҳаллий легирлаш юзага олдиндан фолга, кукун аралашмалар кўринишидаги махсус қопламани қоплашни, металллаш, электр-учқунли легирлашни, галваник ва бошқа усулда легирлашни, кейин эса юза қатламига катта миқдордаги легирловчи компонентларни ўтишини таъминлайдиган лазерли ишлов беришни ўз ичига олади. Легирланган структуралар суюқ фазадаги конвекцион аралашини ва суюқ ва қаттиқ фазалардаги диффузиялар ҳисобига ўсади. Моддаларнинг конвекцион узатилиши чуқурлиги бир неча юз микрометрга етиши мумкин, диффузион узатилиш чуқурлиги эса ўнлаб микрометрга етади.

Лазерли цементациялашда легирловчи аралашма ёки қоплама сифатида графит ёки сажанинг ацетон, спирт ва бошқа эритмалардаги эритмаси фойдаланилади. Қопламанинг юза билан ёпишувчанлигини ошириш учун қоплама таркибига клейловчи компонент қўшилади. Азотлашда легирловчи аралашма сифатида аммиакли ва бошқа таркибида азот бўлган тузлар қўлланилади. Силицилаш бу кремний кукунга эга бўлган металлларнинг силикагели ёки силициди қопламаси билан қоплаш. Борлаш учун таркибида бор кукунга, бор карбиди, бор ангидрид, металлларнинг боридлари ва бошқалар бўлган қопламадан фойдаланилади.

Лазерли металлешда ёки металл қопламалар қоплашда тоза металлларнинг ёки қотишмаларнинг куқунлари қўлланилади, бу куқунлар олдиндан суёқ аралашма ёки куруқ аралашма кўринишида лазерли таъсирлашув зонасига киритилади. Юқори қаттиқлик ва ейилишга бардошлиқни юзани қийин эрийдиган металлларнинг карбидлари ёки ВК, ТК ва ТТК типидаги стандарт қаттиқ қотишмалар билан маҳаллий легирлаш орқали таъминлаш мумкин, бунда бундай легирловчилар юзага елимловчи аралашма асосидаги суёқ аралашма шаклида ёки электр-учқунли легирлаш ёрдамида киритилади.

Лазерли ишлов бериш натижасида ҳосил бўладиган қаттиқ фазали диффузия ҳисобига легирлаш суёқ фазали конвекцион моддаларнинг узатилишига нисбатан бир қанча афзалликларга эга. Бундай жараёни тоза меҳаник ишлов беришдан кейинги сўнги ишлов бериш деб қараш мумкин. Бундай метод тезкесар ва асбобсозлик пўлатларидан тайёрланган асбобларнинг турғунлигини оширишда юқори самарадорлик кўрсатди.

3.8-расмда легирлашда импульсли лазерли нурланишдаги иссиқлик оқимининг зичлигини 12X18H10T пўлатини йўниш вақтида фойдаланиладиган тезкесар пўлатлардан тайёрланган кескич турғунлигига таъсири тасвирланган. Қоплама металл карбиди ва суёқ шишадан иборат суёқ аралашма кўринишида асбоб юзасига қопланди, бу қоплама қуригандан кейин унинг қалинлиги 0,3 мм ни ташкил этди.

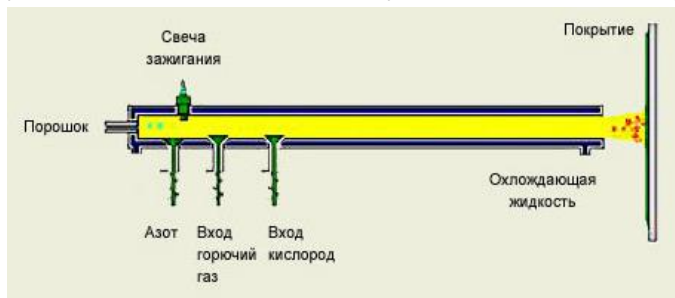


3.8-расм. Маҳаллий легирлашда лазерли нурланиш қувватининг зичлигини 12X18H10T пўлатини йўнишда Р6М5 дан тайёрланган кескич турғунлигига таъсири, йўниш тезлиги 20 м/мин:

1-легирланмаган қоплама билан; 2- WC дан тайёрланган суяқ аралашма; 3- TiC дан тайёрланган суяқ аралашма; 4- TaC дан тайёрланган суяқ аралашма.

3.4. Детонацион пуркаш

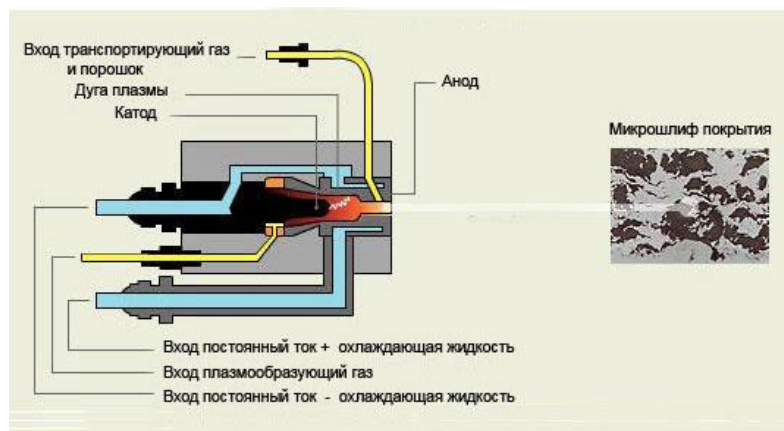
Бу усулни моҳияти шундан иборатки, детонацион пушкани ёниш камерасида газ аралашмасини портлаши натижасида зарраларни катта тезлик берилишига асосланган. Бу усулда қоплама кичик унумдорликда юқори сифатга эришиш мумкин бўлади. Детонацион пушкани ишлаш принципи 3.9– расмда кўрсатилган бўлиб, пушка ташқи томондан суяқлик билан совутилиб туради.



3.9–расм. Детонацион пуркаш қурилмасини ишлаш схемаси.

3.5. Плазма ёрдамида пуркаш

Плазма ёрдамида қоплашда плазма алангасига тушган материал ўзини эриш температурасигача қизийди ва юқори тезликда (500 м/с) асосга урилади. Аланганинг ҳарорати эса $6000\text{--}11000 \text{ }^\circ\text{C}$ гача етади.



3.10– расм. Плазма ёрдамида пуркаш схемаси кўрсатилган.

4-мавзу: Вакуум- плазмали, электрохимёвий қопламалар ва ионли имплантациялаш усуллари билан юзаларни пухталаш.

4.1 Вакуумда қоплаш қоплашнинг физик асослари.

Режа:

1. Вакуумда қоплаш қоплашнинг физик асослари.
2. Вакуум-плазмали қоплаш қоплашнинг физик жараёни.
3. Вакуумда қоплаш қоплашнинг физикавий усуллари.

4. КИБ методи ёрдамида қоплама қоплашда фойдаланиладиган қурилма
5. КИБ методи билан олинган қопламаларнинг структураси ва физик-механик хоссалари
6. 6. Электрохимёвий қоплама ҳосил қилиш.
7. 7. Электрохимёвий оксидлантириш режимлари.
8. 8. Саноатда электрохимёвий оксидлантириш технологиясини қўллаш.
9. 9. Ионли имплантация усули билан юзаларни пухталаш.
- 10.10. Ионли имплантация қурилмаси.
11. Вакуумда қоплама олиш методлари 3 та турга бўлинади: термик, газ фазали ва ион-плазмали.
12. **Таяч сўзлар:** вакуум-плазмали, электрохимёвий қоплама, электрохимёвий оксидлантириш, ионли имплантация, термик, газ фазали, ион-плазмали.

4.1. Вакуумда қоплама қоплашнинг физик асослари.

Вакуумда қоплама олиш методлари 3 та турга бўлинади: термик, газ фазали ва ион-плазмали. Термик метод резисторли, электрон-нурли ва лазерли қиздириш натижасида ҳосил бўладиган молекуляр ва атомлар гуруҳларининг конденсациясига асосланган. Замонавий адабиётларда бундай методни бугунги фазадан фойдаланиб қоплаш ва молесулар гуруҳлардан қоплаш деб ҳам аталади. Термик усулда буғланган зарралар нишон юзасидан изотропик учиб чиқиб детал юзасига тушади яъни конденсацияланади. Буғланиш жараёнида конденсацияланаётган зарраларнинг энергияси 0,3 эВ дан ошмайди, ионлашув даражаси эса деярли нолга тенг. Бу метод конденсацияланадиган заррачалар энергиясининг пастлиги ва бошқариб бўлмадлиги билан чекланган, бу эса кўпгина ҳолатларда конденсатнинг асос билан бирикиш мустаҳкамлигини паст бўлишини белгилаб беради. Асоснинг ҳароратини, буғнинг конденсацияланиш тезлигини ва вакуум даражасини ўзгартириш орқали керакли структура ва механик хоссаларга эришиш мумкин.

Термик усулдан фойдаланиб металллар, нометаллар, ярим ўтказгичлар ва бошқа материаллардан қоплама олиш мумкин. Лекин қопламанинг асос билан бирикиш мустаҳкамлигининг пастлиги, қоплама хоссаларининг унчалик барқарор эмаслиги ва асосни қоплама эриш ҳароратидан паст бўлмаган (0,3...0,5) ҳароратгача қиздириш зарурияти бу усулдан машинасозликда фойдаланиш имкониятини чеклайди ва оксид, карбид, нитрид, борид ва бошқа бирикмаларни олиш имконини бермайди.

Газ-фазали қоплаш методи (ГФҚ) учувчи металл бирикмаларнинг (асосан хлоридлар, фторидлар ва бошқа галогенидлар) водород ва азот, метан ёки кислород билан аралашмасини иссиқлик реакторига узатилишига асосланган. Замонавий адабиётларда бундай усул СВД (Чемисал Вапоур Депоситион) ёки кимёвий буғ қоплаш методи (ХОП) деб ҳам аталади. Кимёвий реакция жараёни кечганда детал юзасида тоза металлдан қоплама ёки унинг азот, кислород ёки углерод билан бирикмаси шаклидаги қоплама ҳосил бўлади. Қоплама олишнинг асосий шarti бу водород муҳитида металл галогенидларининг парчаланиш ҳароратидан юқори ҳароратгача қиздириб, ушлаб туриш. Бирикмали сифатли қоплама олиш учун бу бирикманинг эриш ҳароратининг 0,3 қисмича, 900...1000 дан юқори ҳароратда ушлаб туриш керак. Шу сабабли ХОП методи кўпчилик конструкцион машинасозлик материалларини пухталаш учун унча яроқли эмас.

Вакуум ион-плазмали метод конструкцион материалларга қоплама қоплаш ва тайёр деталлар олишда жуда кенг қўлланилади. Бу усулда термик фактордан ташқари қоплама ҳосил бўлиш кинетикаси таъсир кўрсатувчи ва жуда паст ҳароратларда турли бирикмали юқори сифатли қоплама олиш имконини берадиган кинетик ва ионлашиш факторларидан ҳам фойдаланилади.

Вакуум ион-плазмали метод шуниси билан характерланадики бир ёки бошқа даражада плазмадан фойдаланилади. Плазмадан катоддаги нишон материални пуркаш, буғ оқимини қўшимча ионлаштириш ва қопланувчи материални плазмали ҳолатда олиш учун қўлланилади. Барча ион-плазмали методларни қоплама ҳосил қилинадиган модда фазасига қараб 3 та гуруҳга бўлиш мумкин: ионли пуркаш, ионли қоплаш ва плазмали пуркаш.

Ионли пуркаш методида қоплама материалдан тайёрланган нишон ёрдамчи газ разряди плазмасида юқори энергияли мусбат ионлар билан бомбордировка қилиш орқали пуркалади. Нишон моддасининг фаза атомларидан иборат пуркалувчи маҳсулотлар юзага қопланади ва қоплама ҳосил бўлади.

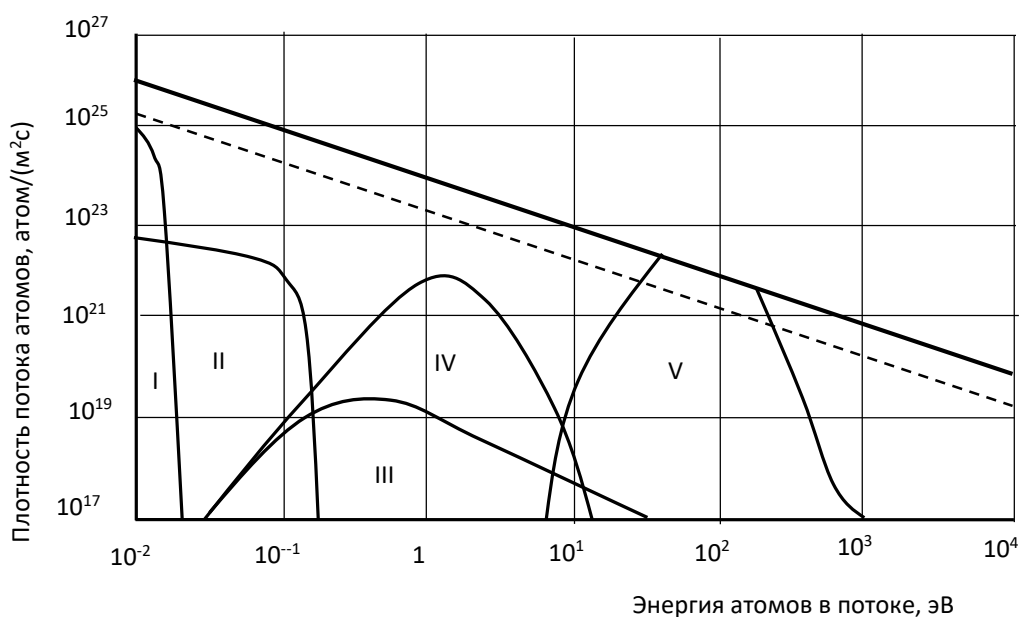
Ионли қоплаш методи термик метод орқали олинган қопламаларнинг ёпишиш мустаҳкамлигини ошириш, шунингдек ион пуркаш методи орқали олинган қопламаларнинг унумдорлигини ва ўсиш тезлигини ошириш зарурияти сабабли ривожланди. Бу метод асосида конденсацияланиш энергияси ортиши билан қопламанинг асос билан бирикиш мустаҳкамлиги ортиши қонуниятига ётади. Бу эса қийин эрийдиган материаллардан паст ҳароратларда қоплама олиш имконини беради. Ионли қоплашда материал термик усулда буғ ҳолатга ўтказилади, кейин ион ҳолатга ўтказилади ва у манфий потенциал таъсири остида детал юзаси томонга йўналтирилади.

Ёйли буғлатиш қурилмаси ёрдамида қоплама олиш методи вакуумда плазмали пуркаш (ВПП) методи деб аталади. Бу метод 2 та жараённи ўз ичига олади: электр разряд типларидан бирида плазма ишлаб чиқариш ва дионлашув ва конденсация юзасига плазма маҳсулотларининг йўналтирилиши. Бунда фақат

плазма ионлари ёки ҳамма квазинейтрал плазмалар тезлаштирилиши мумкин. Биринчи ҳолатда ионли қопланиш бўлса, иккинчиси эса плазмали тезлаштиргичлар ёрдамида қоплаш методи. Плазмали тезлаштиргичлар билан қоплашда плазмаларнинг тезланиши Ампер кучи таъсирида ёки газокинетик босим градиенти таъсирида бўлиши мумкин.

Қоплама олишнинг турли методларини таққослаш учун 2 та асосий технологик параметрлар бўйича анализ ўтказамиз: конденсация юзасига тушувчи заррачалар оқими зичлиги ва заррачалар йўналтирилган ҳаракати ўртача кинетик энергияси. 4.1-расмда заррачалар энергияси ва оқими зичлиги юқоридан иккита чизик билан чегараланган, бу 700К ва 1500К ҳароратлардаги эмиссия ҳисобига ҳароратнинг энг юқори нуқтасига мос келади. И ҳудуд паст ҳароратли, металлургис ва газотермик қоплама қоплаш методига мос келади.

III ҳудуд барқарор термик буғлантириш методига мос келади. Катодли пуркаш (IIII ҳудуд) заррачаларнинг анча юқори энергияси билан характерланади ва 10^{-9} м/с тезликда қоплама қоплаш имконини беради.



4.1-расм. Турли қоплама қоплаш методларини заррачалар оқими зичлигига ва битта заррачага тўғри келадиган энергияга боғлиқ ҳолда таққослаш.

Магнетрон методда (IV ҳудуд) катодли пуркаш юқори бўлади, бу эса 10^{-7} м/с тезликда қоплама конденсациялаш имконини беради. V ҳудуд ион ва плазмали қоплаш методларига мос келади. Плазма технологияли методлар бошқа методлар билан таққослаганда юқори энергия конденсацияланаётган заррачалар энергияларини кенг чегарада ўзгартириш ва турли технологик жараёнларни (газли ёки ионли хурушлаш, конденсация ва сингдириш) битта ишлаб чиқариш сиклида амалга ошириш имкониятига эга.

4.2. Вакуум-плазмали қоплама қоплашнинг физик жараёни.

Вакуум- плазмали метод (КИБ) бу 2 та тартиб билан содир бўладиган жараёнларнинг йиғиндиси- ионли бомбардировка ва қопламанинг конденсацияланиши.

КИБ методи катод доғининг моддасини вакуум ёйининг юқори-токли паст кучланишли разряди ҳисобига ишлаб чиқаришига асосланган, бу эса электрод материали буғини оширади. Ионли бомбардировка пайтида вакуум бўшлиғига реакцияга киришувчи газлар (азот, метан ва бошқалар) ни узатиш қопламанинг пухталанаётган детал юзасига плазмокимёвий реакциялар ҳисобига конденсацияланади.

Буғланиш жараёнлари, бирикмалар ҳосил бўлиши, ионли бомбардировка ва қопламанинг конденсацияланиши вакуум камерасида содир бўлади, камеранинг металл корпуси анод вазифасини ўтайди. Катод қийин эрийдиган материалдан тайёрланади.

Дастлабки ёй ва катод орасидаги оралиқда ҳосил бўлувчи электронлар ва ионлар таъсирида буғланган моддалар ва реакцияга киришувчи моддаларнинг ионлашуви содир бўлади, зарарланган ва нейтрал катод материал зарралардан ва реакцияга киришувчи газлардан иборат юқори тезликка эга бўлган оқимларни ҳосил қилади.

Катод доғидаги юқори зичликдаги энергия ҳар қандай электр ўтказувчи материални буғлатиши мумкин, шунингдек даврий жадвалнинг ИВ-ВИ гуруҳ қийин эрийдиган металлларини ҳам. КИБ методининг ўзига хос томонларидан бири бу буғланган материалнинг юқори кимёвий активлиги ҳисобланади, бу активлик эса катод материалининг электр-ёйли буғланишида ҳосил бўладиган конденсат билан боғлиқ, буни ҳисобига эса конденсат паст ҳароратли плазманинг юқори ионлашган оқимига ўзгаради. Буғланган метал ва газнинг ионлашув даражаси буғланувчи металлнинг кристаллокимёвий табиати, газ босими, магнит майдоннинг кучланганлигига (плазмаоптик қурилмалар билан жиҳозланган қурилма) боғлиқ. Қоплаш жараёнида конденсат буғланган модданинг ионлари билан интенсиве бомбардировка қилинади, шунда унинг заррача бўлиб пуркалиши ва қоплама қоплаш ҳудудида ҳарорат ортиши содир бўлади. Натижада пухталанаётган детал юзасидаги атомларнинг силжувчанлиги кескин ортади, реакцияга киришувчи газ аралашмалари компонентлари ва конденсат орасида кимоёвий реакция акитивлашуви содир бўлади. КИБ ни иккита кетма-кет бажарилувчи жараёнлар деб қараш мумкин: ионли бомбардировка ва қопламанинг кондентсатциялашуви.

Ион оқимининг катта зичлигига эришиш учун махсус плазма оптик қурилмадан фойдаланилади, бу ҳолловский эррозия- плазмали тезлатгичлар деб аталади, бу эса плазма оқимининг физик характеристикалари ва унинг тезлигини бошқариш имконини беради.

4.2-расмда одатий турдаги (4.2-расм, а) вакуум-плазмали курилманинг ва плазмо-оптик системанинг(4.2-расм, б) асосий схемаси кўрсатилган плазмали оқимни бошқариш (ҳолловский тезлатгич).

Вакуум ёйи ёнганидан кейин катод эрозияланади. Катод юзасида ярим сфера чегаралари бўйлаб изтроп равишда учувчи эрозия қолдиқлари ионлашган, буғ ва томчисимон фазага эга бўлади. Фазаларнинг фоиз миқдорлари материал кўринишига ва катодни тайёрлаш усулига қараб аниқланади. Кам ғовакликка эга бўлган қийин эрийдиган материаллар учун ионлашган фаза улуши 50 дан 80 % гача ўзгаради. Плазма оқими тезлиги 10^6 м/с, бунда ионларнинг кинетик энергияси катод потенциалининг пасайиши ҳисобига олинандиган энергиядан бир неча баробар катта бўлиши мумкин ва 100 эВ га етади.

Вакуум ёйининг катоди учун минимал критик ток мавжуд бўлиб, ундан юқорида разряд барқарор бўлади. Бу токнинг кучи кенг чегараларда ўзгаради ва катод материали ва электр занжир параметрларига боғлиқ.

Разрядли токда катоднинг эрозияланишининг юқори критик тезлиги ток кучига пропорционал

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

бу ерда μ_p - катод материалининг эрозияланиш коэффициенти; I_p - разрядли ток.

Маълумки, эрозия коэффициенти, плазма таркиби ва ионларнинг ўртача энергияси ёй токига унча боғлиқ эмас, бу эса барқарор вакуум ёйининг асосий характеристикаларини таққослаш имконини беради. 4.1-жадвалда шундай таққослаш натижалари келтирилган, бу ерда $I_{кр}$ -ёйининг барқарор ёниб туришидаги минимал ток; U_k - катодда потенциалнинг пасайиши; U - ёйдаги кучланиш; Z - заррачаларнинг оқимларда ўртача ионлашуви карралилиги; μ_p - катод материалининг эрозияланиш коэффициенти; W_{io} - Оқимдаги битта заррача ўртача энергияси.

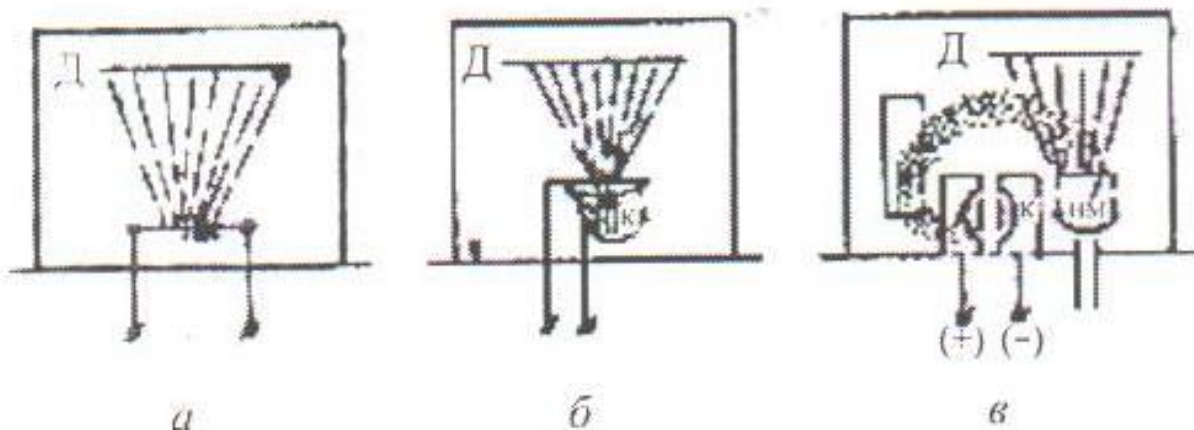
4.1-жадвал

Стационар ёй ва у генерация қиладиган ионларнинг асосий характеристикаси

Катод материали	$I_{кр}, A$	U_k, B	U, B	$\mu_p \cdot 10^{-9},$ кг/Кл	Z	$W_{io} \cdot 10^{-19},$ Дж
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
----	----	---	----	-----	------	----

Вакуумда термик усул билан пуркаб қоплама олиш металлари парларини йўлига қўйилган детал сиртига ўтиришига асосланган. Қоплама сифатида фойдаланиладиган материал қолдиқ босим 0,01–0,001 Па билан вакуум камерасига жойлаштирилади ва унинг парлари босими 1 Па этади. Қиздириш турли усуллар билан бажарилади: электр токини резистор усули билан ўтказди (4.2–расм, а), индуктив (4.2– расм, б), электрон–нурли (4.2–расм, в).



4.2–расм. Материални қиздириш схемаси:

а– резисторли, б– индуктив, в– электр–нурли. А– анод, К– катод, М– магнитли фокусловчи ва электрон оқимини керакли йўналишда оғдирувчи система.

Юзаси қопланадиган маҳсулот пар оқими йўналишига ўрнатилади ва керакли зичликдаги асос билан бириккан қоплама ҳосил қилинади. Вакуумда термик пуркаш билан декоратив (прутоклар, заргарлик буюмлари, ойна, пластмассадан автомобил деталлари юзасини декоратив қоплаш ва ойналарни тонировка қилиш), бунда қоплама қалинлиги мкм нинг ўндан бир қисмини ташкил қилади, ҳамда қалин коррозиябардош ва ейилишга чидамли қопламалар олинади. Бунда узоқ вақт давомида қопланган қоплама қалинлиги бир неча ўн мкм ни ташкил этади. Қопламанинг сифати контрол ва мосланадиган технологик параметрлар, ҳарорат ва вақт, қоплама қоплаш тезлиги, ҳамда қоплама ва асос материалитнинг физик–кимёвий хоссалари, қоплама қалинлиги билан белгиланади.

Бундан ташқари у бошқариш қийин бўлган факторлар вакуум камераси ичида қолган газларни пар билан таъсири, қоплама материални тигел билан ўзаро таъсири, ҳамда қоплама юза сирт таранглиги кучланишларини асос билан таъсири роль ўйнаши мумкин. Қоплама хоссааси, қопламаасос билан мустаҳкамлиги биринчи қатламни ҳосил қилиш шароитига ва асосни қиздирилиш хароратига боғлиқдир.

Вакуум қопламасини вақти– вақти билан ишловчи, ярим даврли ва тўхтовсиз ишловчи қурилмаларда олинishi мумкин. Вақти вақти билан

ишлайдиган қурилмаларда доналаб деталлар ёки кичик сериялаб, ёшпасига ишлаб чиқаришда партия деталларни қоплаш мумкин. Вқти вақти билан қоплама олиш қурилмасида детал камерага ўрнатилади, камерадан ҳаво сўриб олинади, қоплама қопланади ва камерага ҳаво киритилиб детал чиқариб олинади.

Ярим даврли билан ишловчи вакуум қурилмаларда лист ва лента деталларини юзасида қоплама ҳосил қилишда ишлатилади. Вакуум камерасига ўрнатилган рулон материал аста –секин қопланиб боради ва тамом бўлгач жараён тўхтатилади ва камерадан чиқариб олинади.

Тўхтовсиз ишлайдиган вакуум камераларда маҳсулот (лента, лист) тўхтовсиз вакуум камерасида қопланиб ўтиб туради. Бу қурилмалар вакуум доимий ушлаб турилади. Уларда тўхтовсиз вакуумни таъминлаш учун шлюз камералардан фойдаланилади. Бу усулда юқори самардорликка эришилади. Бу кучли парловчи қурилмалар; электрон–нурли қурилмалар ёрдамида амалга оширилади. Бундай қурилмаларда аксиал фокусланган электрон пушқалар қўлланилади. Уларда иккита буғлатгичлар қўлланиши ва уларда ўз навбатида кетма–кет икки хил металл ёки қотишмани бирин кетин қоплаш мумкин.

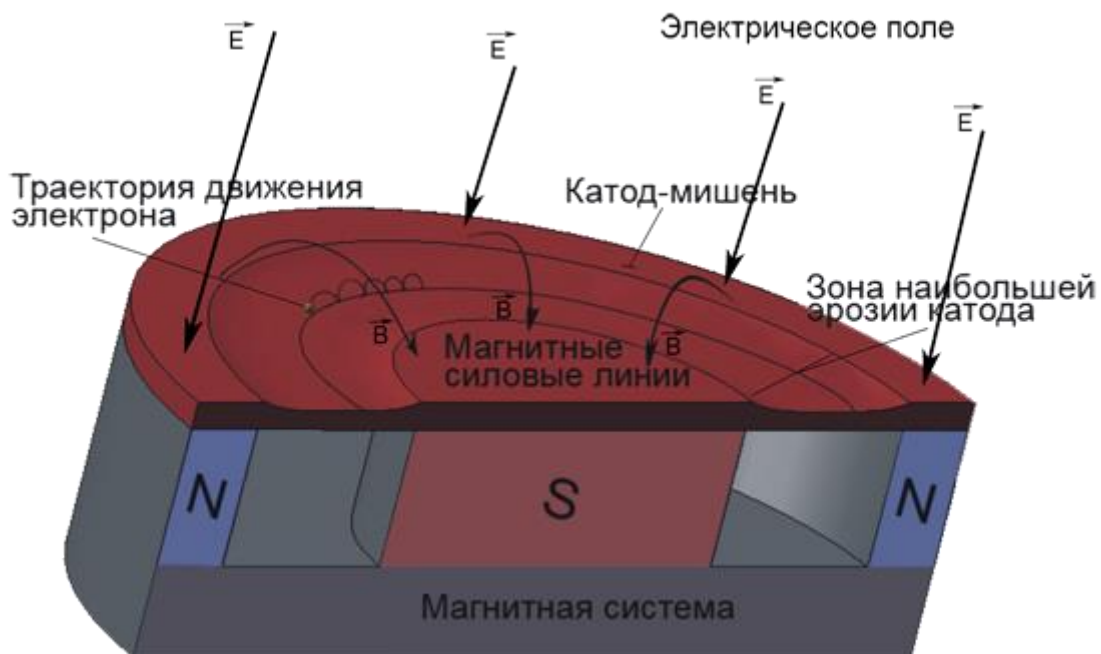
Ярим тўхтовсиз ва тўхтовсиз ишлатиладиган вакуум қурилмаларида маҳсулот юзасини яхши тозаланиши натижасида металл юзасига 100–120°C да кадмий ва рух, 150–200 °C да қўрғошин, 200–300 °C да алюминий, 500 °C да хром ва титан қопланиши мумкин.

Бу усулларни асосий камчилиги қоплама ва асос орасидаги яхши боғланишни таъминлаш учун юзани қиздириш зарурлиги, парланадиган металлни парланиш коэффицентини пастлиги, қоплама қалинлигини бир хилилигини мураккаб деталларда таъминланиши.

4.3 Вакуумда қоплама қоплашнинг физикавий усуллари.

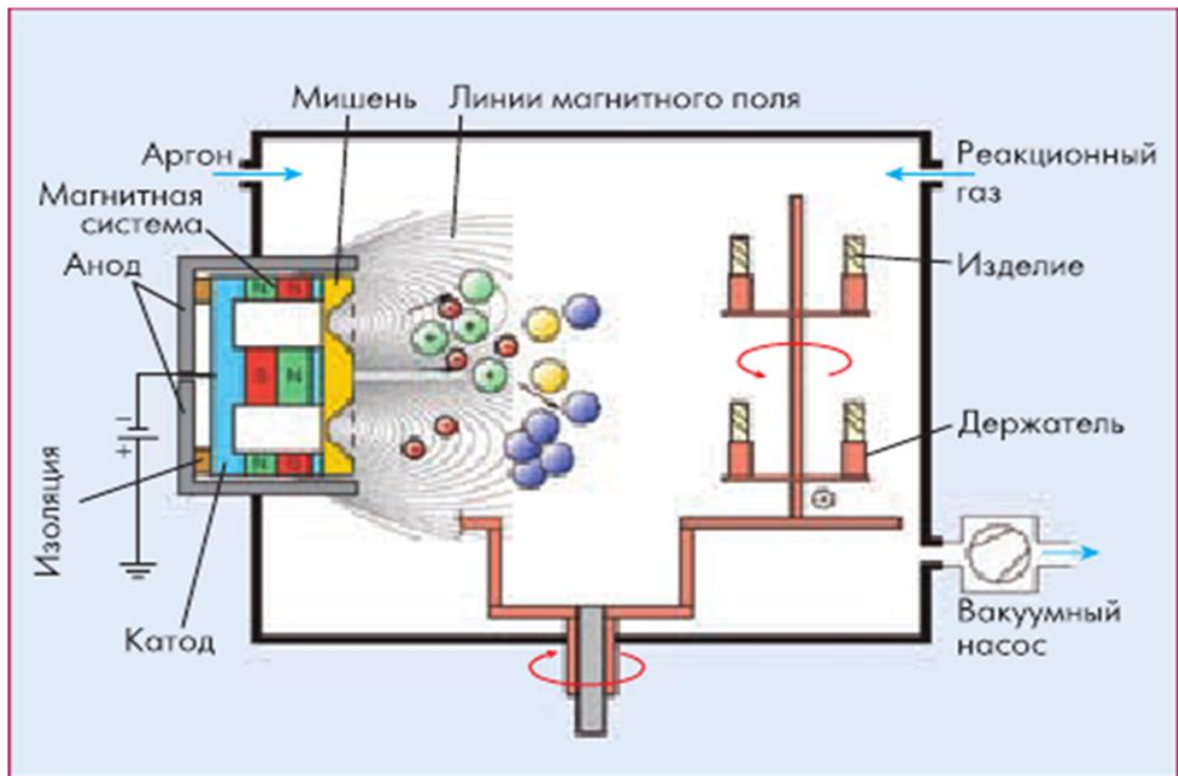
Магнитрон ёрдамида пуркаш қоплама қалинлигини бир текис чиқишини ва юқори сифатини таъминлайди.

Магнитрон ёрдамида пуркаш системаси 4.3– расмда кўрсатилган. Асосий элементлар бўлиб, катод–нишон (1), анод ва магнит система ҳисобланади.



4.3–расм. Текис нишонли магнитрон пуркаш системаси схемаси. 1– магнит системаси; 2– катод–нишон; 3– магнит майдонинг кучланиш линияси; 4– катодни энг катта эрозия зонаси; 5– электронни ҳаракат траекторияси.

Доимий кучланишни нишон (манфий потенциал) ва анод (мусбат ёки манфий потенциал) орасига узатилса нотекис электр майдони ҳосил бўлади ва аномал шўвлани разрядни уйғотади. Нишоннинг пуркаш юзасида ёпиқ магнит майдонини мавжудлиги айнан нишода разря плазмасини жамлайди. Катоддан ионли бамбардимон қилиниши натижасида ажралган электронлар магнит майдони томонидан қамраб олинади, уларга нишон юзасида мураккаб циклоидали ҳаракат бериледи. Электронлар магнит майдони бир томонидан катодга қайтарилган электронлар ўзини қамалда каби ҳис қилса, бошқа томондан электронни қайтарувчи нишон юзаси бўлиши мумкин. Электронлар бу қамалда айланиши мумкин токи, электрон энергиясининг катта қисми анодга ўтишидан аввал ионлаш ва қўзғатиш учун фойдаланилади, қайсики катод юзасида ионланиш жараёнини самарадорлигини ва мусбат ионларни концентрациясини оширади. Бу ўз навбатида нишон юзасини ионли бамбардимон интенсивлигини, пуркаш тезлигини ўсиши, у ўз навбатида пленкани ўсиш тезлигини оширади.

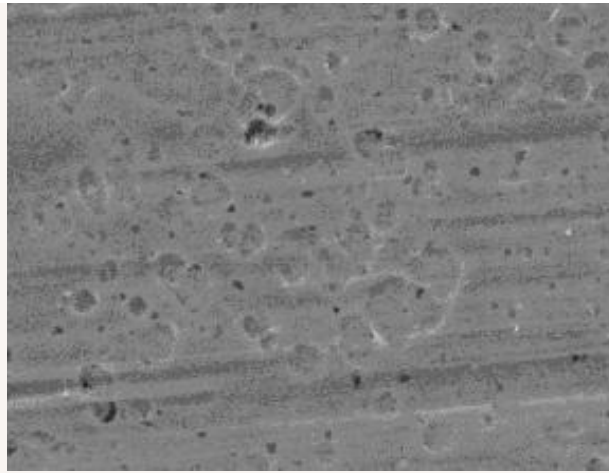


4.4-рasm. Магнитрон усули билан қоплама қоплаш схемаси.

Шуни тақидлаш керакки, плазма разряди магнит тутғич областида, айнан нишон яқинида мавжуд бўлиб, унинг шакли магнит майдонининг геометрияси ва ўлчами билан аниқланади.

Магнитрон пуркаш системасининг асосий афзаллигидан бири, иккиламчи электронларни нишон юзасида магнит тутғич билан ушлаб қолиниши, қистирмани интенсив қизиб кетишидан сақлайди. Бу ўз навбатида материалларни пуркаш тезлигини оширади ва у эса қоплаш тезлигини оширади.

Магнитрон методи турли металл ва қотишмалардан сифатли хоссаларга, ҳамда юқори қаттиқлика эга бўлган ейилишга чидамли қопламалар олиш мумкин. Пуркалаётган заррачаларнинг 75–95 % нейтрал атомларга хос бўлганлиги сабабли асосни (детал, намуна, асбобни) қаттиқ қизиб кетмайди, бу эса ўз навбатида паст ҳароратда эрийдиган элементлардан (енгил эрувчи металллар ва қотишмалар, пластмассалар, органик моддалар) ҳам қоплама олиш имконини беради.



4.5–расм. Магнетрон қоплама структураси

4.4. КИБ методи ёрдамида қоплама қоплашда фойдаланиладиган қурилма

Ҳозирги кунда КИБ технологияси асосидаги вакуум-плазмали қурилмаларнинг бир қанча модификациялари қўлланилади, уларнинг асосий характеристикалари 2-жадвалда келтирилган.

Уларнинг орасида конструкция жиҳатидан энг оптимали “Булат 6” ва ННВ6,6-И1 ҳисобланади. Сўнги қурилма электротехник қурилмалар илмий-изланишлар институтида (ВНИИЕТО) лойиҳаланган. ННВ6,6-И1 қурилма 3 та электр-ёй буғлатгич, катод доғининг электромагнит стабилизатор ва плазма доғининг плазма-оптик фокусировкаси билан жиҳозланган. ННВ6,6-И1 нинг электр қисмида таъминлагич, бошқарувчи ва назорат қилувчилар мавжуд ва пайванд тўғрилагичлар, трансформаторлар, тиристорли кучланишни назорат қилувчи, катта токли Жавон ва бошқарув жавонидан иборат бўлади.

Ҳамма қурилмалар камерасида қолдиқ босим ҳосил бўлади ва бу ишчи газни камерага киритувчи автоматик бошқарувчига эга вакуум система билан назорат қилинади. Деталлар ҳарорати ”СМОТРИЧ” пирометрик система ёрдамида аниқланади.

4. 2-жадвал. КИБ методи учун қурилма

Установка	v_n , нм/с	$\tau_n \cdot 10^2$, с	T_n °С	n_n , шт	Камер ўлчами, мм		N, кВт
					D	H	
Пуск 79-1	1,3- 1,6	1,2- 1,6	330- 800	1	360	450	40
Пуск 83	1,3- 1,6	-	330- 800	1	200	300	15
Булат 3Т	1,2	10,5	330- 800	3	900	500	60

Булат 6	8-10	10,8	330-800	3	-	-	-
ННВ 6,6-И1	3-9	-	330-800	3	600	600	-

Номланиши: ν_n - қоплама қоплаш тезлиги; τ_n - жараёни умуий давом этиш вақти; T_n °С – детал ҳарорати; n_n - буғлатувчилар сони; D- камера диаметри; H- камера баландлиги; N- қурилма қуввати.

КИБ методидан саноатда асосан тезкесар пўлатлардан тайёрланадиган асбобларга қоплама қоплашда кенг фойдаланилади.

4.5. КИБ методи билан олинган қопламаларнинг структураси ва физик-механик хоссалари

Оқим зичлиги ва қоплама қопланадиган юзани бомбардировка қилишда ионлар энергияси КИБ нинг муҳим параметрлари ҳисобланади. Ионлар энергияси буғланувчи элементнинг атом тузилиши, тезлатувчи кучланиш қиймати, ионлар зарядининг карралилиги билан аниқланади. Вақт билан биргаликда ионлар энергияси конденсация юзасидаги ҳароратни белгилайди, унинг қиймати юзада қоплама қоплашдан олдин керакли даражадаги термик активлаштиришни ҳосил қилиш ва плазма-кимёвий реакциянинг ижобий ўтиши жиҳатидан жуда муҳим ҳисобланади. Ионли бомбардировка ва қопламанинг конденсацияланиши жараёнида плазма оқими йўналиши билан бирга пухталанаётган деталнинг мазкур оқимга нисбатан ҳолатини ҳам ҳисобга олиш керак.

Конденсацияланган қопламанинг эксплуатацион ва физик-механик хоссалари уларнинг структураси, кимёвий ва фазавий таркибларига кўра аниқланади. Ўз навбатида улар пуркаш режимига, пуркалаётган материалларнинг хоссаларига детал юзасини пуркашга тайёрланишига ҳам боғлиқ бўлади. Қопланадиган қоплама кристалл структурага эга бўлади, бунда унинг қалинлиги ортиб бориши билан унда текстура ҳосил бўлади. Текстура ҳосил бўлиши бу қоплама структурасининг қайтадан шаклланиши демакдир, бу эса доналарни йўналтириш учун кетадиган Гиббс энергияси минимум бўлишини таъминлайди. Қалин қопламалар албатта катта ўлчамдаги доналарга эга бўлади. TiN ва ZrN каби қопламаларнинг кристалланиши “буғ-кристалл” механизми бўйича содир бўлади, бунда асоснинг ҳарорати 750-800 К ни ташкил этади. Қоплама юзаси ўсиш жараёнида асос юзаси каби бўлиб, унга нормал ҳолда ўсади.

Пуркаб қопланган қатлам структурасидаги нотекистик ионли бомбардировка режимининг бир текис олиб борилмаганлиги оқибатида ҳосил бўлади, бу эса чуқурчалар ҳосил бўлишига сабаб бўлади.

КИБ 2 та кетма-кет олиб бориладиган босқичлардан иборат бўлади: ионли бомбардировка ва қопламанинг конденсацияси.

Ионли бомбардировка кўп функцияли аҳамиятга эга бўлиб, уларда энг муҳими бу юзани қоплама конденсацияланиши учун тайёрлаш ҳисобланади. Ионли бомбардировка қоплама конденсацияланадиган юза микро геометриясига катта таъсир қилади. Ti, W, Cr ионлари билан бомбардировка қилинганда юза силлиқлашади ва бу жараён вақт ўтиши билан кучаяди. Турли хил металллар ионлари билан таъсир этиш самарадорлиги бир хил эмас ва бу асоснинг структураси ва кимёвий таркибига боғлиқ. ВК6 қаттиқ қотишмаси юзасига қоплама қоплашда волфрам ионларига қараганда титан вах ром ионларининг таъсири яхшироқ бўлади. Р6М5 тезкесар пўлати юзасини бомбардировка қилишда ҳам худди шундай ҳолат кузатилади.

Ионларнинг юзага таъсир этишини физик моделини 3 босқичли жараёнда акс эттириш мумкин.

Биринчи босқич юзадаги сингган, оксид пардаларнинг емирилиши билан характерланади, гарчи емирилиш интенсивлиги ионлар энергияси, таъсир этиш вақти, бомбардировка қилинадиган юза ва оқим йўналиши орасидаги бурчак ва шунингдек юза қатламларидаги қатламларнинг кимрорелиеф билан аниқлансада.

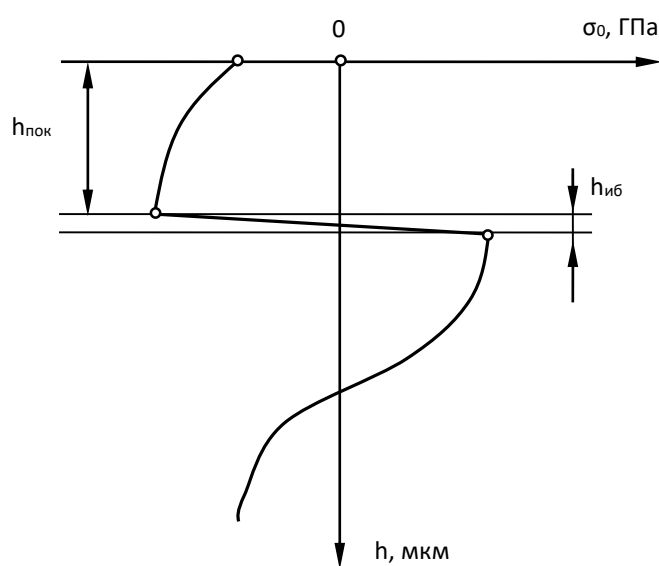
Иккинчи босқич ион оқимининг юза билан тўғридан-тўғри (физик) контактлашуви ва заррачалар кинетик энергиясининг мазкур юзага узатилиши билан характерланади. Зарядланган ионларнинг юзага таъсири алоҳида характерга эга. Юзани емиришга қодир бўлган ионлар энергияси юзанинг унчалик мустаҳкам бўлмаган структураларини (микро нотекисликларнинг тожлари, дона чегаралари, сементацияланган ёки боғловчи фаза, нуқсонли ҳажмлар, ғовақлар ва бошқалар) емиради. Кейин эса матритса юзасининг асосий ташкил этувчисининг емирилиши содир бўлади. Қопламанинг матрица билан анча самарали бирикиши таъминлайдиган солиштирма юза катталашади.

Учинчи босқич юзанинг сезиларли равишда емирилиши билан характерланади. Дона чегаралари, боғловчи фазалар ва ғовақлар кучли таъсирга учрайди. Оғир металлларнинг ионлари билан бомбардировка қилганда силжиш зоналари кўринишидаги бузилишлар ҳосил бўлади. Кристалл тузилишдаги нуқсонлар зичлигининг ортиши актив диффузион жараёнлар ва микро ёриқларнинг “таъмирланиши” га сабаб бўлади. Диффузион кўчиш асосан кўтарилувчи диффузия ҳисобига содир бўлади.

Қопламанинг конденсацияланиши вакуум камерага реактив газ узатилишида содир бўлади. Реактив газнинг босими қоплаш жараёнининг ва қопламанинг физик хоссаларини шакллантиришнинг асосий параметри ҳисобланади. Реактив газ босимининг ортиши билан КИБ жараёнининг асосий параметрлари ва конденсацияланган қопламанинг хоссалари экстремал эга бўлади (4.4-расм).

Реактив газнинг қоплама стехиометриясини таъминловчи босими оптимал ҳисобланади, бунда қопламанинг микроқаттиқлиги максимумга етади, кристалл панжаранинг бузилиш даражаси минимум бўлади. Реактив газнинг бундай таъсир этиш характери қоплама тури ва реактив газ таркибига боғлиқ эмас.

Қопламанинг конденсацияси бир текис содир бўлмайди. Нитрид ва карбид қопламаларнинг дастлабки конденсация марказлари бўлиб, сементит тўр ва мартенсит матрицада жойлашган карбидлар ҳисобланади. Қопламанинг кейинги ўсиши оролчалар ҳосил бўлишига сабаб бўлади, кейинчалик эса тўлиқ қоплама ҳосил бўлади, бунда унинг қалинлиги 0,5...0,8 мкм ни ташкил этади. Тўлиқ қатлам ҳосил бўлиши билан микро ғовакликлар ва чуқурлик коррозиялари ҳудуди ҳосил бўлиш эҳтимоли ортади, бундай нуқсонлар асосан пўлат юзали матрицаларда ҳосил бўлади.



4.6-расм. “Қоплама-юза қатлам” композициясида қолдиқ кучланишларнинг тарқалиш характери.

Қоплама ва юза ости қатламларда қолдиқ микро кучланишларнинг тарқалиши фақат КИБ методига хос бўлган қонуниятга бўйсунувчи характерга эга. Бунда қопламада сиқувчи кучланишлар, юза қатламда эса чўзувчи кучланишлар ҳосил бўлади (4.6-расм) қоплама ва асос орасидаги чегарада эса қолдиқ кучланишларнинг катта градиенти мавжуд бўлади, бу эса улар орасида ўзтиш зонасининг йўқлиги билан тушунтирилади. Бу термомеханик эксплуатацион кучланишларда тўлиқ қатлам бўлиб кўчиш эҳтимоллигини оширади.

4.6. Электрохимий қоплама ҳосил қилиш

4.6.1. Металлар юзасининг коррозияланиши ҳақида тушунча

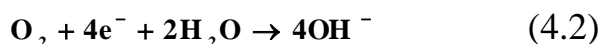
Металлар ва қотишмаларнинг коррозияланиши бу юза қатламнинг атроф-муҳит билан таъсирлашуви натижасида емирилишидир. Коррозиянинг иккита тури мавжуд: кимёвий ва электрохимий.

Электрохимий коррозия металнинг электролитлар билан таъсирлашуви натижасида содир бўлади, бунда металнинг емирилиши унинг юзасининг анод ва катод майдонлари орасидан электр токи ўтиши билан бирга содир бўлади. Металл юзасида бундай хоссалари бир-бирдан кескин фарқ қиладиган майдонларнинг ҳосил бўлиши юза қатламнинг физик-химий ҳолатининг бир жинсли эмаслиги, муҳит ҳароратининг бир хил эмаслиги ва бошқалар билан белгиланади.

Анодди ёки оксидловчи жараён металл ионларининг электролитга ўтиши билан боғлиқ.



Металлда қолган “ортиқча” электронлар катодди (тикловчи) жараёнда қатнашади. Катодди жараённинг асл моҳияти бу электронларнинг қутбсизлантирувчилар билан ассимиляциясидан иборат бўлиб, қутбсизлантирувчилар сифатида электролитларнинг ионлари ёки молекулалари, мисол учун



Бундай жараён асосан нейтрал ва ишқорли ва кислородсиз муҳитларда олиб борилади. Металл ионлари Me^+ кейинчалик OH^- ёки O_2 билан ўзаро таъсирлашиши мумкин, бунинг натижасида металл гидрооксиди ҳосил бўлади.

Электрохимий коррозиянинг термодинамик шарти қуйидагича:

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

бу ерда ΔG_A ва ΔG_K – Анодди ва катодди реакциялар вақтида Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши.

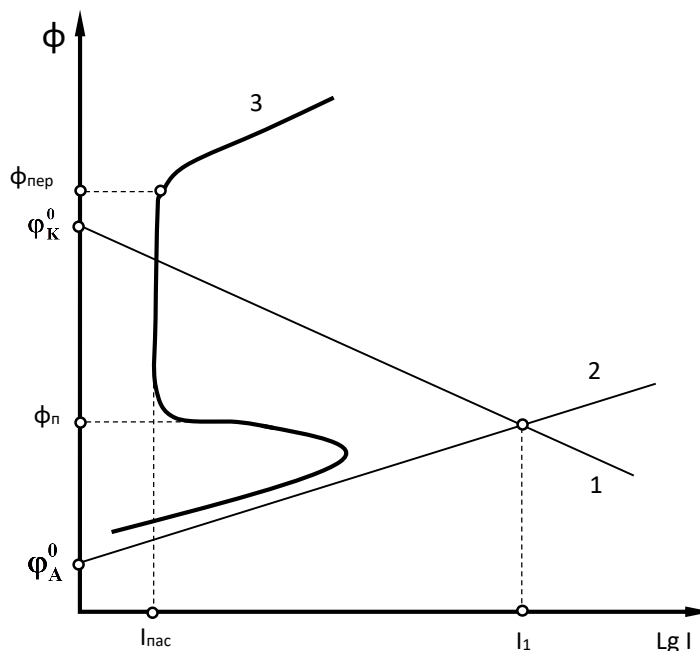
ΔG_A ва ΔG_K қийматлари анод ва катоднинг мувозанат электр потенциаллари қийматига φ_A^0 ва φ_K^0 пропорционал.

Электрохимий коррозия тезлигини анод ва катод орасида ҳосил бўлувчи ток кучи катталиги орқали баҳолаш мумкин:

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

бу ерда φ_A^0 ва φ_K^0 – анод ва катоднинг потенциаллари, R - катод ва анод орасидаги юза майдоннинг электр қаршилиги.

Кўпгина ҳолатларда материал юзасининг коррозия эмирилиши кузатилади. Ток кучи ортиши билан анод потенциали одатда ортади, катод потенциали эса камаяди (4.7-расмдаги 1 ва 2 эгри чизиқлар). Металлнинг кутбланиш боғланиши коррозия эмирилишда 6.1-расмдаги 3-эгри чизиқда тасвирланган.



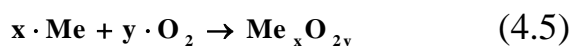
4.7-расм. Катодли (1) ва анодли (2,3) кутбланиш эгри чизиқлари: 2-коррозия эмирилишсиз; 3- коррозия эмирилишли.

ϕ_p ва $\phi_{\text{пер}}$ оралиқда коррозия тезлиги ва мос равишда коррозиянинг ток кучи кам бўлади. Металлнинг коррозия эмирилишининг сабаби юза қатламга кислород ва бошқа оксидловчиларнинг сингиши натижасида металл активлигининг пасаяди, ёки актив бўлмаган оксид ёки тузли пардаларнинг ҳосил бўлиши. Ва фақатгина $\phi_A > \phi_{\text{пер}}$ бўлганда коррозиянинг интенсивлиги ϕ_A ортиши билан кескин ортади, ϕ_A нинг ортиши эса агрессив ионлар йўқ бўлганда нуқтали коррозиянинг ўсиши билан белгиланади.

Металларни электрохимий коррозиядан ҳимоя қилишнинг ҳамма методлари коррозиянинг ток кучини камайтиришни кўриб чиқади, мисол учун металлнинг пассив ҳолатга ўтиши сабабли.

Кимёвий коррозия намлик йўқ бўлган газли муҳитларда олиб борилади, ва шунингдек электролит бўлмаган суюқликларда ҳам. Бунда металл тоза кимёвий реакция натижасида эмирилади. Кимёвий коррозия юқори температурали

кислород мавжуд газли муҳитларда муҳим амалий аҳамиятга эга. Юқори ҳароратли газлар муҳитидаги коррозиягабардошлик оловбардошлик деб аталади. Металлнинг коррозияланиши натижасида металл оксид ҳолатига ўтади.

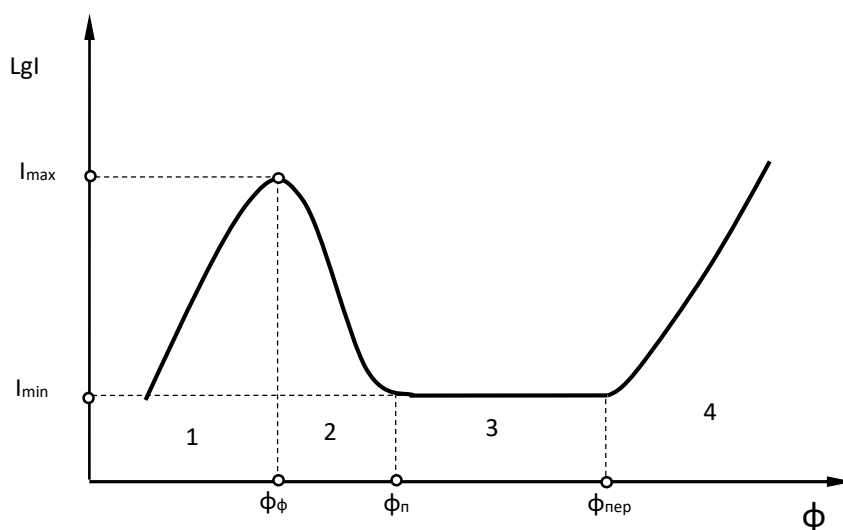


(4.5) реакция оксид ҳолатга ўтишда системанинг Гиббс эркин энергиясини салбий ўзгариши билан содир бўлади. Al, Cr, Ti, Si, Y, Hf, ноёб ер металлари кислород билан анча актив таъсирлашувчи металллар ҳисобланади.

Кўпгина металллар осонгина оксидланиши мумкин. Кўпгина коррозия-актив муҳитларда кучсиз ва кучли оксидланувчи металлларнинг қотишмалари юзаларида яхши оксидланган юзани олиш мумкин. Бу асосида турли хил коррозиябардош қотишмалар олиш мумкин, булардан энг тарқалганлари темир-зангламас пўлат асосидаги қотишмалар ҳисобланади.

Металллар ва қотишмаларнинг коррозион ҳолатининг барқарорлигини таъминловчи шартлардан бири бу муҳитнинг кимёвий таркиби билан боғлиқ. Мавжуд классификасия ва терминологияга кўра моддаларга эга бўлган муҳитлар активаторлар ва пассиваторларга бўлинади. Пассиваторларга кислоталар (аник бир концентратсияли) ва оксидловчи типдаги NaNO_3 , K_2CrO_4 , AgNO_3 , HClO_3 , O_2 ва бошқалар. Ўз-ўзидан коррозияланган металллар чидамлик ва коррозион барқарорликка эга бўлади, химоя қопламасининг ҳар қандай зарарланиши унинг қайта тикланишига олиб келади.

Ҳар қандай металл ва қотишмалар анодли қутбланиш орқали маълум бир муҳитларда, аралашмаларда ва эритмаларда коррозияланиши мумкин. Яна бир бор қутбланиш токенинг кучланишга боғлиқлик эгри чизиғини кўриб чиқамиз. Аниқлик учун кордината нуқаталарини ўзгартирамиз (4.8-расм).



4.8-расм. Коррозияланувчи металлнинг қутбланиш эгри чизиғи кўриниши.

1 майдон металлнинг актив эришига мос келади, потенциал ортиши билан бу жараён тезлиги I_{\max} бўлганда максимал қийматга эришади. I_{\max} ҳолатга мос келувчи потенциал уни аниқлаган олим (Ф.Фладе) шарафига Фладе-потенциал деб аталади. Анод потенциалининг кейинг ортиши металлнинг эриш (ток) тезлигини камайишига сабаб бўлади, бу юзада коррозия қопламалар ҳосил бўлишининг бошланиши билан боғлиқ, $\varphi_{\text{п}}$ маълум бир қийматида қутбланиш токининг зичлиги доимий ва $I_{\text{мин}}$ бўлади. Қутбланишнинг минимал токи сақланиб қоладиган потенциал коррозияланиш потенциали деб аталади. $\varphi_{\text{пер}}$ нинг маълум бир қийматларигача бу коррозия ҳолат сақланиб қолади. Кўпгина ташқи факторларга боғлиқ ҳолда коррозия ҳолат сақланиб қоладиган $\varphi_{\text{п}}$ ва $\varphi_{\text{пер}}$ орасидаги потенциаллар оралиғи турли металллар ва қотишмалар учун турлича бўлади. Потенциал ортиши билан кейинчалик қутбланиш токининг ортишининг сабаби металл ва оксиднинг эриш тезлиги унинг ўсиш тезлигига нисбатан устунликка эгадир. Бу берилган муҳитдаги мазкур потенциалларда активаторларнинг қаршилик кўрсатувчи ҳаракатлари ва металл ёки қотишмаларнинг анодли қутбланиш жойларида пассивлаштирувчи қатламни ҳосил қилувчи турли фазали структуралар билан ҳам боғлиқ. Металллар ва қотишмаларнинг табиий шароитларда пассив ҳолатининг йўқолишига сабаб турли хил типдаги активаторлар борлиги билан боғлиқ, бундай активаторларга Cl, Br, F ва бошқалар киради.

Металл ва қотишмаларнинг пассивлашуви ҳақидаги замонавий тасаввур юзада оксид қатлам ҳосил бўлиши билан боғлиқ. Ҳарорат, металл ва қотишма тури боғлиқ ҳолда оксид парда қалинлигининг ортиши турли хил қонуниятлар билан ёзилади:

- Чизиқли

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

- Параболасимон

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

- Кубик

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

- Логарифмик

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

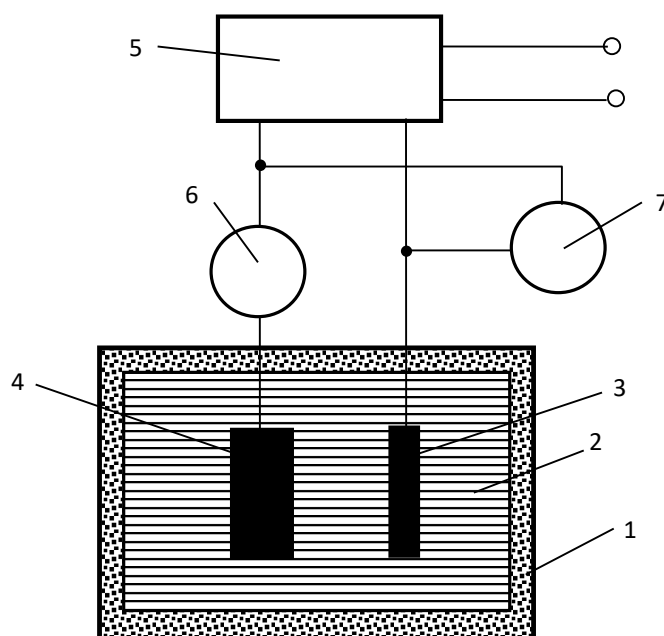
- Тескари логарифмик

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

бу ерда $d(t)$ - оксид қалинлигининг ўсиш тезлиги; K, B -ўзгармаслар; t - вақт.

Оксид ўсишининг чизиқли ва параболасимон қонуниятлари юқори ҳароратли оксидланиш учун характерли; параболасимон, кубик эса- ўрта ҳароратлар учун; логарифмик ва тескари логарифмик эса – паст ҳароратлар учун.

Табиий ўзи ҳосил бўлувчи металл ва қотишмалар юзасининг пассивлашуви ҳар доим ҳам техника ва лимнинг кўп соҳалари ва томонидан металл структуранинг юза ҳолати ва машина ва механизмлар конструкцияси учун ишлаб чиқилган талабларга жавоб бермайди. Шу сабабли турли металл ва қотишмалар гуруҳи учун зарур физик-кимёвий ва коррозия-механикавий хоссаларга эга бўлган оксид пардалар ҳосил қилишнинг кўп сонли технологик усуллари ишлаб чиқилган. Электрокимёвий оксидлантириш жараёни маҳсус қурилмаларда ўтказилади, бу қурилманинг асосий схемаси 4.9- расмда келтирилган.



4.9-расм. Электрокимёвий оксидлантириш қурилмасининг асосий схемаси: 1- фторопластли электролитик кути; электролит; 3-катод; 4- оксидланувчи маҳсулот (анод); 5-росланувчи кучланиш манбаи; 6-амперметр; 7-вольтметр.

Электрокимёвий оксидлантириш жараёни кўп факторли ва кўп босқичли ҳисобланади. Анодда ҳосил бўлиш потенциалининг ортиши билан юза қатламнинг ўсишининг кинетик қонунияти, ва уларнинг кимёвий таркиби ва физик-механик хоссалари ўзгаради. Жараённинг асосий босқичлари анод материалга боғлиқ бўлмаган ҳолда сақлаб қолинади, шу сабабли 10 г/л концентратсияли $NaPO_3 \cdot 12H_2O$ сувли эритмада ВТ1-0 титан қотишмасини кимёвий оксидлантириш мисолида бу жараённинг кетма-кетлигини кўриб чиқамиз. 0 ва 180 В оралиқдаги ҳосил қилиш потенциалида анодди

оксидлантириш ҳудуди мавжуд бўлади, бунда кучланиш ортишида ғоваксиз кам нуксонли оксид пардонинг чизиқли ўсиши содир бўлади. Анод юзасида электроддан пуфаклар ажралиши билан кислород ҳосил бўлади. 180...190В дан бошлаб кички амплитудали токнинг оссилятсияси ҳосил бўлади, оксид материали орқали электронлар оқими ўтишини белгилайди, бу оқим эса пардонинг микро бузилишига сабаб бўлади. Бундай микро бузилишлар ёруғлик чиқиши билан боради, лекин овозли сигнал чиқмайди, кучланиш ортиши билан бундай сигналларнинг интенсивлиги ортади ва кучланиш 280 В бўлганда максимумга етади. Кучланиш қиймати 280 В дан ошганда анодда учқунланиш кузатилади, 280...320 В оралиқда эса анод юзасида нурланишни ҳосил қилувчи микроплазмали бузилишлар кузатилади. Ҳосил бўлиш кучланишининг кейинг ортиши билан токли ва нурли тебранишлар частотаси ва интенсивлиги ошади, овозли сигналларнинг активлиги пасаяди, 320 В да эса минимумга етади. Ҳосил бўлиш кучланиши 350 В дан ошганда зарядларнинг характери ўзгаради. Бу зарядларнинг қуввати ошишида, интенсиве газ ажралишида ва янги овозли активликда намоён бўлади. Кўпчилик изланувчилар бундай овозли сигналлар манбаи сифатида газли пуфакчалар ҳосил қилувчи кавитатсион жараёнлар ҳисобланади.

4.6.2. Электрохимёвий оксидлантириш режимлари

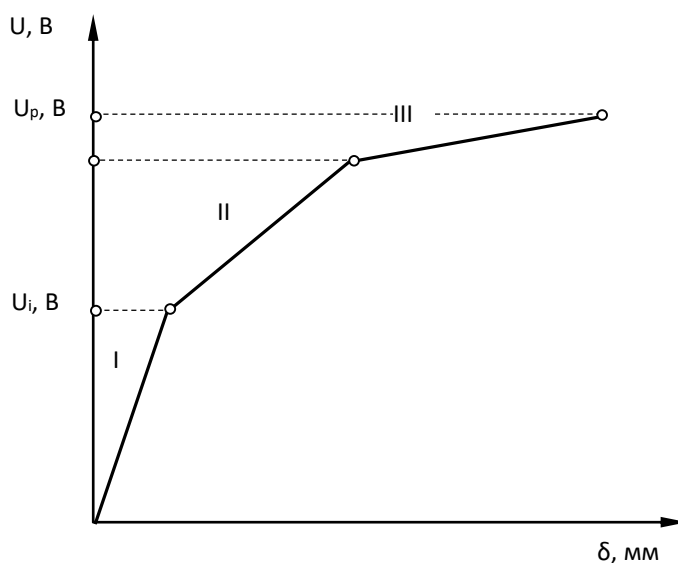
Металл юзасида оксид парда ҳосил бўлиши юзанинг тозаланишига сабаб бўлади, бу эса электрохимёвий потенциалнинг анод томонга силжишини билдиради. Металл ва қотишма юзасини тозаловчи анодли пардалар 3 қатламдан иборат бўлади: тўсиқли, яъни у зич тузилишга эга бўлиши ва металлга ёпишиб туриши керак, 2-қатлам, сув таъсир этади ва 3-ташқи қатлам ғовак структурага эга. Металл ва қотишмаларнинг юзасида оксид парданинг ўсиш тезлиги вақти-вақти билан секинлашади, оксид парданинг критик қалинлигига етганда унинг ўсиши тўхтайтиди.

Металлар юзасида оксид қатлам ҳосил бўлганда ҳар доим диффузион кўш электрик қатлам ҳосил бўлади, бу электрик қатламнинг электр майдоида ионлар силжийди. Кўш электрик қатламнинг кенглиги ўртача 10^{-10} м ни ташкил этади. Металл ва қотишмаларнинг юзасида оксид парданинг ўсиш тезлиги вақти-вақти билан секинлашади, оксид парданинг критик қалинлигига етганда унинг ўсиши тўхтайтиди. Алюминий учун оксид парданинг критик қалинлиги ҳосил бўлиш потенциали 2,0 В да $2 \cdot 10^{-9}$ м ни ташкил этади.

Электрохимёвий оксидлантириш бу материаллар, металлар ва қотишмалар юзасига электролитик муҳитда оксид пардалар қолаш технологик жараёни бўлиб, бу муҳит орқали доимий электр токи ўтказилади. Электролитик муҳит сифатида тузнинг сувдаги эритмаси ёки бошқа эритмалар ёки тузларнинг эритмаси қўлланилади. Ишлов бериладиган маҳсулот доимо анод ҳисобланади. Саноатда қўлланиладиган электролитлар мураккаб кимёвий таркибга эга ва

танлаш имконининг чекланганлиги ва аниқ бир металл ёки қотишма учун алоҳида электролит белгиланганлиги билан характерланади. Электролитлар суут эрийдиган оксид ва металл, кучли эрийдиган оксид ва металл ва оралик турларга бўлинади. Электролитлар таркибида шунингдек унинг электр ўтказувчанлигини ўзгартирувчи махсус қўшимчалар ҳам бўлади. Олинадиган оксид пардаларнинг сифати (ғоваклиги, қалинлиги, нуқсонлар зичлиги ва бошқалар) электролит таркибига ва анодлаш режимига боғлиқ.

Электролитик жараёнларнинг асосий махсулоти оксид парда ҳисобланади, бугунги кунда оксид пардонинг ўсиш жараёнини ифодалайдиган бирорта назария мавжуд эмас. Уларнинг ҳаммаси металл ва оксид ёки гидроксил гуруҳлари ионларининг ҳаракатланиши оксид ҳосил бўлгандан кейинги таъсирлашувини ифодалайди. Савол шундаки, бу таъсирлашув қаерда содир бўлади, металл-оксид ёки оксид-электролит чегаралари очик қолади. Шуниси аниқ-ки, юзада оксид парда ҳосил бўлишида металл атомларининг пастки қатламдан юқорига томон диффузион ҳаракатланиши ва кислород ёки гидроксил гуруҳларининг карама-қарши йўналишда диффузион ҳаракатланиши қопламанинг ўсиши кинетикасида муҳим рол ўйнайди. Оксид қоплама қалинлиги ортиши билан металл ва кислород атомларининг активлиги пасаяди. Бундан ташқари анодлаш жараёнида дастлаб электрод юзасида газ пуфаклари ҳосил бўлади, кейинчалик эса бу пуфаклар катта газ қатламларини ҳосил қилади. Буларнинг ҳаммаси оксид қопламанинг ўсишини кескин секинлашувига сабаб бўлади. Бунга боғлиқ ҳолда қоплама ўсиш тезлигини сақлаб қолиш учун ҳосил бўлиш потенциалини ошириш керак. Электрохимий жараён кучланиш ортиши билан анодлаш режимидан учқунли кейинчалик эса ёйли режимга ўтади. 4.10-расмда ҳосил бўлиш потенциалининг оксид қоплама қалинлигига боғлиқлиги келтирилган [24].



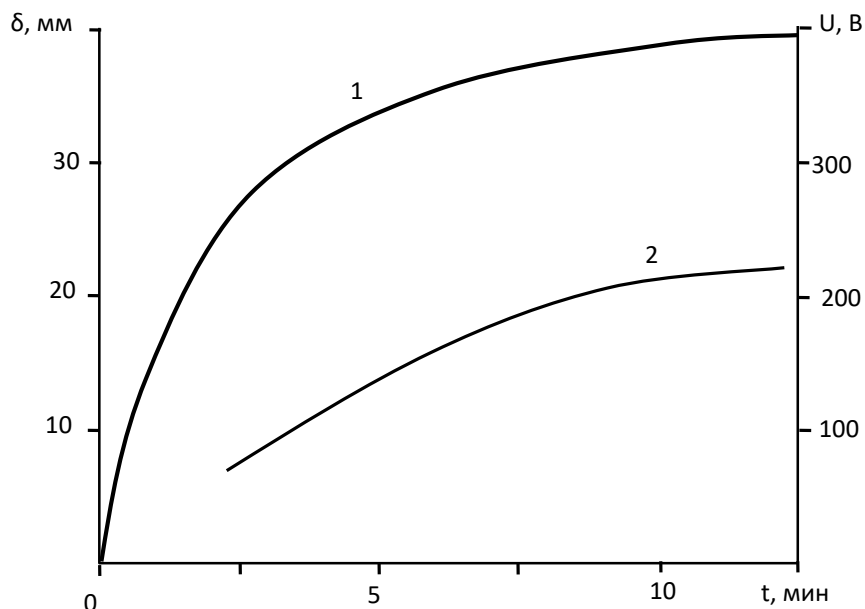
4.10-расм. Қоплама ҳосил қилиш потенциалининг оксид қатлам қалинлигига боғлиқлиги: II- анодлаш соҳаси; III- учқунланиш соҳаси; IIII- ёй соҳаси; V_и- учқунланиш кучланиши; V- бузилишда кучланиш.

Электр зарядлари режимида электролитлар эритмаси ёки аралашмасида оксидлантириш юқори коррозия, механик ва триботехник хоссаларга эга бўлган қоплама ҳосил қилишга имкон беради. Учқунлантириш режимида анодда турли хил интенсивликдаги кўп учқунланишлар кузатилади. Учқунли каналдаги температура 7000...20000 °C ни, босим эса 1000 МПа гача етади.

Бундай ҳолда қоплама элементлари орасида кимёвий реакция содир бўлиши, электролит компонентларининг ва шунингдек юқори коррозиябардошликка эга бўлган ноорганик пигментлар аралашмасининг ҳосил бўлувчи қоплама таркибига кириши учун анодда керакли режим ҳосил бўлади. Учқунли режимнинг афзалликларига яна шунингдек жараённинг кечиш вақтини камайишини, электролит ҳароратига қўйиладиган қатъий талабларнинг пастлиги, захарли бўлмаган электролитларда юқори сифатли қоплама олишни ҳам қўшиш мумкин.

Учқунли режимда кучланишнинг янада ошиши бу режимни микро ёйли режимга ўтишига сабаб бўлади, бу режимнинг ўзи эса микро ёйли оксидлантириш (МЙО) деб аталади. Микро-ёйли оксидлантириш ҳар доим ҳам қопланадиган қоплама сифатининг яхшиланишига сабаб бўлмайди, кўпинча бундай режимда ҳосил қилинган қоплама ёмон диэлектрик хоссалари билан ажралиб туради ва кўпинча бу режимда қопламанинг бузилиш ҳоллари ҳам кузатилади. Металларни ва қотишмаларни МЙО доимий ток зичлигида (галванис режим) ёки электродларда мавжуд доимий потенциаллар фарқида (потенциал-статик режим) амалга оширилади. Истиқболли йўналиш сифатида комбинатцияланган режимдан фойдаланиш ҳисобланади, мисол учун тушувчи қувват режими.

Жўмрак металларига оксиди металл-оксид-металл системасига кирувчи металлари киради, мусбат потенциалда жўмрак металларида структуралар ҳосил бўлади, бу структуралар ўзларининг вольтампер характеристикалари жиҳатидан п-р ўтишга мос келади. Бундай металлларга Al, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf, W, Bi, Sb, Be, Mg, U киради. Жўмрак металлари юзасида ҳосил бўладиган оксидлар анча юқори коррозиябардош хоссаларга эга бўлади. Мисол учун, титан юзасидаги оксид парда денгиз сувида шундай коррозиябардошликка эга бўлади-ки, бунда 4000 йилда қоғоз қалинлигидаги титан қатлами емирилиши мумкин. 4.11-расмда алюминий қотишмасини АМцМ оксидлантиришда қоплама қалинлиги ва кучланишнинг вақтга боғлиқлиги келтирилган. Кўриниб турибдики, қопламанинг юқори тезликда ўсишини сақлаб қолиш учун ҳосил бўлувчи кучланишни доимий ўсиб боришини таъминлаш керак.

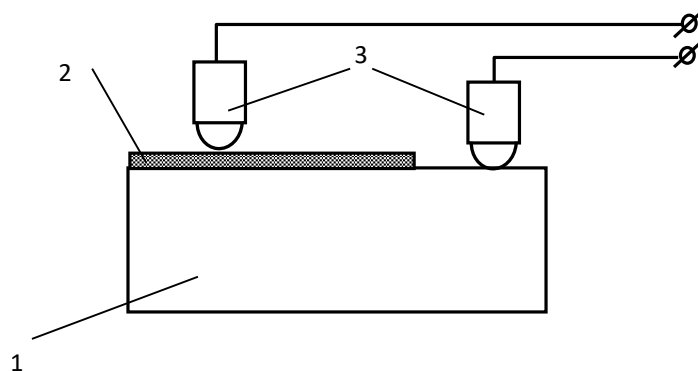


4.11-расмда алюминий қотишмасини АМцМ 10 % ли суюқ шишанинг сувдаги эритмасыда микро-ёйли оксидлантиришда қоплама қалинлиги (1) ва кучланишнинг (2) вақтга боғлиқлиги келтирилган.

4.6.3. Алюминий ва алюминий қотишмалари юзасыдаги оксид қопламаларнинг физик-механик ва кимёвий хоссалари

Алюминийни оксидлантиришда ҳосил бўладиган оксид қопламаларнинг физик-механик ва кимёвий хоссаларини кўриб чиқамиз. Учқунли режимда суюқ шиша, бур ава гексаметафосфат натрий нинг сувли эритмасыда 10 дақиқа давомида қоплама қоплаш олиб борилди. Ток зичлиги $0,03 \text{ А/см}^3$ ни ташкил этади, электролит ҳарорати $25...30 \text{ }^\circ\text{C}$ оралиқда ушлаб турилди.

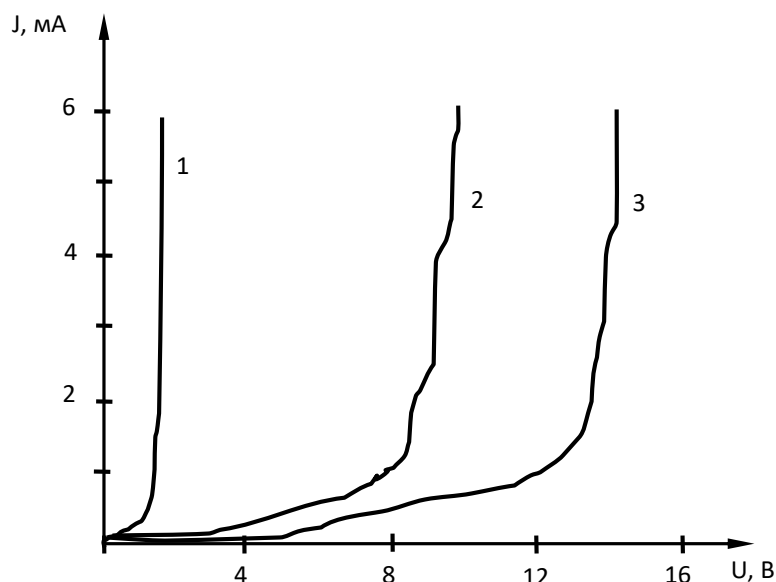
Қопламани электрик синов билан мустаҳкамликка текшириш очик ҳавода ГОСТ 9.302.79 га мувофиқ олиб борилди. Электрод оғирлиги 0,7 Н бўлиб, туташуш нуқтаси 3 мм бўлган бир ёғи металл асос билан туташадиган, бошқаси эса қопламада жойлашган эгрилик радиусига эга. Потенциалнинг ўсиши 20 В/с ни ташкил этди. Кучланиш қийматини натижаларга кўра 15-20 алоҳида ўлчамларда ҳисоблашди. Қопламанинг электр сиғимини 1000 Гц частотали ўзгарувчан токда ўлчашди. Ўлчаш аниқлигини ошириш учун вакумдаги қопламага $0,35...0,5 \text{ см}^2$ майдонли алюминийли контактлар пуркалди (4.12-расм).



4.12-расм. Қопламани электик бузилишга синаш схемаси: 1- намуна; 2- қоплама; 3-электродлар.

Коррозиябардошликни 3 % ли $NaCl$ эритмасида намунанинг анодли қутбланиши натижасида ёриқлар ҳосил бўлиш потенциали қийматига кўра ўлчанади. Ёриқлар ҳосил бўлиш потенциални аниқловчи потенциал динамик эгри чизиқлар потенциал стат П-5827М да расмга олинди. Потенциалнинг ўсиш тезлиги 40 мВ/с ни ташкил этди. Токнинг кескин ортган пайтда бузилиш кузатилди.

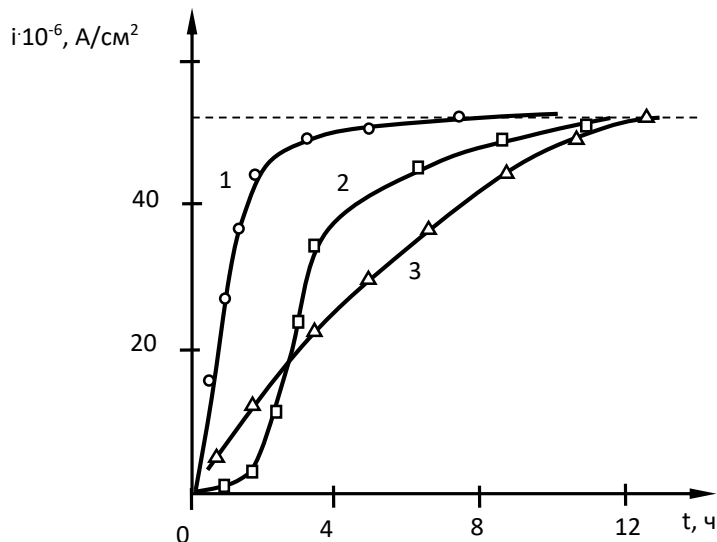
4.13-расмда оксид қопламанинг бузилиш потенциални аниқлаш мумкин бўлган потенциометрик эгри чизиғи келтирилган. Шунда 10 дақиқа давомида буранинг сувли эритмасида ҳосил қилинган қоплама 1,1 В потенциалда бузилади. Техник суюқ шишанинг сувли эритмасида ҳосил қилинган қоплама эса 10 В да бузилади, натрийнинг гексаметафосфатнинг сувли эритмасида эса – 13,3 В да бузилади. Умумий ҳолатда бузилиш кинетикаси ва қиймати хлор ионларининг концентратсияси, ҳарорат, потенциалнинг ўсиш тезлиги, ҳимоя қопламасининг тузилиши, таркиби, қалинлиги ва нуқсонлар мавжудлиги билан аниқланади. Галогенлар эритмасида бузилиш биринчи навбатда нуқсонли жойларда (ғоваклар, ёриқлар, юқори электр ўтказувчанликка эга жойлар ва бошқалар) содир бўлади.



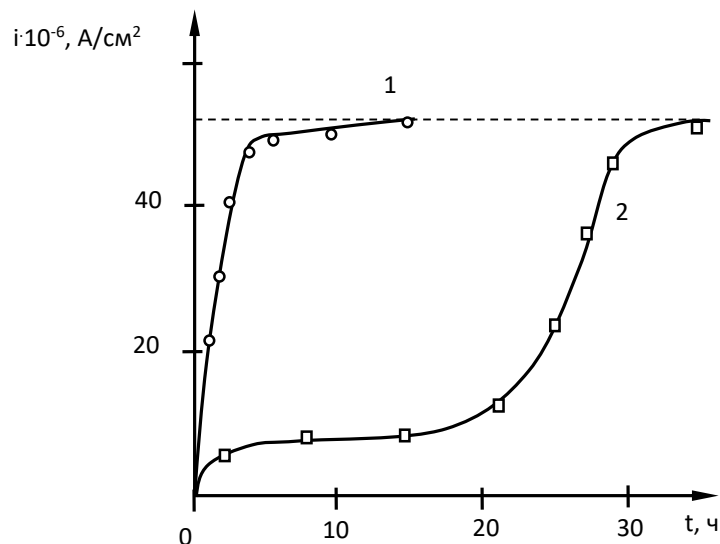
4.13-расм. 1-буранинг сувли эритмаси; 2- суюқ шиша; 3- натрий гексаметафосфатларда ҳосил қилинган оксид қопламали АМцМ дан тайёрланган намуналарни 3 % ли $NaCl$ эритмасида анодли қутбланишидаги потенциометрик эгри чизиғи.

Ҳақиқий эксплуатация шароитига яқин бўлган коррозия синовлари учун алюминий электрод ва бошқа конструкцион материаллардан тайёрланган электроддан иборат коррозия жупининг токини ўлчашди. Коррозия муҳит сифатида денгиз сувининг аналогини яъни $NaCl$ нинг 3 % ли эритмасини қўлланилди. Ишчи бўлмаган юза электролит билан контактлашмаслиги учун уни изоляцияловчи лак билан қоплашди. Электродлар орасидаги масофа 2 см ни ташкил этди. Ф136 туридаги мисроволтнаноамперметр ёрдамида ток ўзгартирилиб турилди.

4.14 ва 4.15-расмларда АМцМ қотишмасининг анод-учқунли қоплама ва пўлат 3 билан ҳосил қилган жуплигининг галванис-коррозия токи бўйича маълумотлар келтирилган. Кўриниб турибдики, суюқ шишанинг сувдаги аралашмасида (6.8-расм) олинган қоплама галванокоррозия токини бир неча соатлардан кейин пасайтиради. Натрий гексаметафосфатнинг сувдаги аралашмасида олинган қоплама қотишмани анча самарали ҳимоя қилади. Бундай ҳолатда галванокоррозия токи ҳимояланмаган металллар учун токнинг қиймати 30...40 соатлардан кейин етади (6.9-расм).

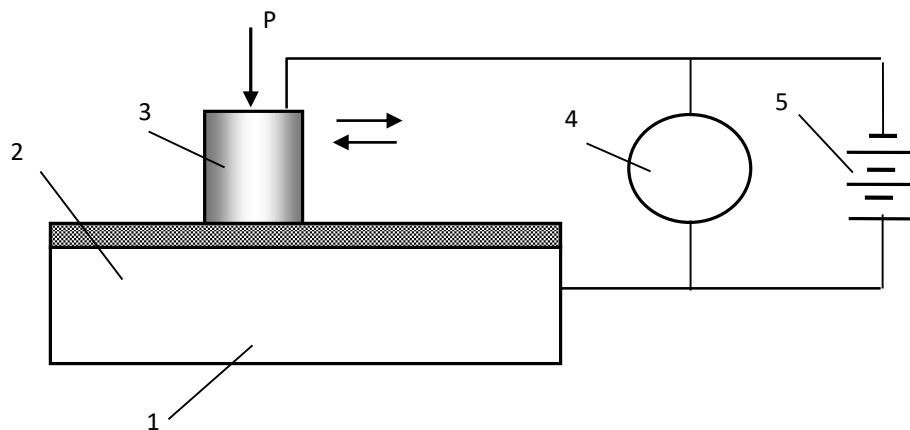


4.14-расм. Алюминий қотишмасининг оксид қоплама ва пўлат 3 жуфтлигининг галаваник токи: 1- АМЦМ; 2- Д16АМ; 3- АД1.



4.15-расм. Алюминий қотишмаси АМЦМ нинг оксид қоплама ва пўлат 3 жуфтлигининг галаваник токи: 1- буранинг сувли эритмаси; 2- натрий гексаметафосфатнинг сувли эритмаси.

Қопламанинг ейилишгабардошлиги ён юзани ишқаланишини таъминловчи ускунада аниқланади. Қопламали намуна 1 см қадамли 30,7 мин⁻¹ частота билан илгариланма-қайтма ҳаракат қилди, ён юзадаги юклама эса 0,23...1,0 кг ораликда ўзгарди. Қоплама ейилиш даври электр қаршиликнинг кескин тушишига кўра аниқланди, бу эса қаршилик ўзгариши режимида ишлайдиган вольтметрнинг оксид қопламали намуна ва ҳаракатланувчи намуна орасида ишга тушишини таъминлайди (4.16-расм).



4.16-расм. Оксид қопламани триботехник синаш схемаси: 1- намуна; 2- қоплама; 3-ён юзали намуна; 4- вольтметр; 5- ток манбаи.

Қопламанинг ейилишгабардошлиги қуйидаги кўрсаткич билан баҳоланади:

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

бу ерда P - нормал юкланиш; τ - синов муддати; a - намунанинг ишқаланувчи ён юзаси диаметри; h - ейилиш чуқурчаси чуқурлиги.

Ейилишгабардошликни кўрсатувчи α ейилиш тезлигига тескари бўлган қийматни кўрсатади, ейилиш тезлиги эса солиштирма нормал юкланишга боғлиқ. Суюқ шиша эритмасида ҳосил қилинган қоплама анча юқори ейилишгабардошликка эга бўлади ($\alpha = 6,5 \cdot 10^{15}$ Нс/м³). Ундан кейин эса натрий гексаметафосфат эритмасида ҳосил қилинган қоплама келади ($\alpha = 9,4 \cdot 10^{45}$ Нс/м³). Буранинг сувли эритмасида олинган қопламалар унақа катта фарқ қилмайди ($\alpha = 2,2 \cdot 10^{14}$ Нс/м³).

Кўриб ўтилган электролитларда ҳосил қилинган қопламалар мой ва сув ёрдамида хўлланади. Суюқ шишали сувли эритмада олинган қопламанинг юзасида кўз билан кўрса бўладиган нотекисликлар бўлади ва айрим гигроскопикликлар билан ажралиб туради.

Суюқ шишали эритмада ҳосил қилинган қопламада аморф фаза мавжуд бўлиб, унинг ҳосил бўлиши оксид қопламада SiO_2 миқдорининг кўп бўлиши билан изоҳланади. Бу фазанинг бўлиши қопламанинг юқори ейилишгабардош бўлишини таъминлайди.

4.6.4. Саноатда электрохимий оксидлантириш технологиясини қўллаш.

Сўнги йилларда электрохимий оксидлантириш технологияси иқтисодиёти ривожланган етакчи давлатларда кенг қўламда қўлланилмоқда, мисол учун США, Германия, Япония, Франция, Италия, СНГ давлатлари ва Россия. Электрохимий оксидлантириш орқали олинган қопламалар қуйидаги функционал хоссаларга эга бўлади: атмосферали, ишқорли ва денгиз коррозиясидан ҳимояланган, лак, бўёқ ва полимерлар қоплашда оралиқ қатлам

сифатида адгезион актив. Электродитларга махсус компонентларни қўшиш турли рангли гаммаларга эга бўлган оксид қопламаларни ҳосил қилиш ва улардан худди декоратция сифатида фойдаланиш имконини беради. электрохимий оксидлантириш бўйича катта изланиш ДВО РАН кимё институтида олиб борилган, бу институте бир қанча технологияларни ишлаб чиқган ва машинасозлик, самолётсозлик ва кemasозлик соҳаларига жорий қилган. 1990-йилдан бошлаб жанубий Сахалинскидаги СКБ САМИ ДВО РАН экспериментал заводидаги саноат зонасида қўллаш учун киритилди, 1993-йилда Красноярски шаҳридаги Радиотехника бирлашмасида шунга ўхшаш майдон ишга туширилди. Комсомолск-на-Амуре шаҳрида ОАОКнААПОда технологияни такомиллаштириш учун илғор изланиш ишлари олиб борилди.

Электрохимий оксидлантириш технологияси кимёвий оксидлантириш билан таққослаганда бир қанча афзалликларга эга бўлиб, улар қуйида келтирилган:

- Нисбатан кам технологик операциялар;
- Ишлаб чиқариш технологиясига (қуймакорлик, пайвандлаб, штампланган ва бошқалар) боғлиқ бўлмаган вентилли металлар қотишмаларидан тайёрланган заготовкаларга оксид қоплама қоплаш имконини беради;
- Тайёрланган универсал электродитлар битта электродитли ваннада турли материаллардан тайёрланган деталга ишлов бериш имконини беради;
- Лак ва бўёқ материаллари ва полимерларга нисбатан юқори адгезион активликка эга бўлган оралиқ қатламлар ҳосил қилади;
- Электрохимий оксидлантириш учун мўлжалланган электродитлар юқори барқарорлиги билан ажралиб туради;
- Бундай технологиядан саноатда фойдаланиш технологик жиҳозларни жойлаштириш учун нисбатан кам майдон талаб қилади;
- Оксид қопламаларни осонгина қайта тиклаш мумкин;
- Кимёвий оксидлантириш қараганда ишлаб чиқаришнинг юқори даражада экологик тозаллиги, заҳарли моддалардан фойдаланишни тақозо қилмайди ва гальваник қуйқумлар кам заҳарлилиги билан ажралиб туради.

4.7. Ионли имплантация усули билан юзаларни пухталаш.

Ионли имплантация бу нишонга ион ҳолатидаги атомларни киритиш жараёни бўлиб, бу атомларнинг энергияси уларнинг нишон юзасига сингиши учун етарли бўлади. Ионли имплантациядан самарали фойдаланиш орқали қопланган юза структураларнинг электр ва механик хоссаларини олдиндан белгилаш ва бошқариш мумкин. Ионли имплантация (ионли легирлаш) юзани пухталашнинг истиқболли йўналишларидан бири ҳисобланади, бунда пухталаниш юзани юқори энергияли ионлар билан бомбардировка қилиш орқали модификацияланган структура ҳосил қилиш ҳисобига содир бўлади. Ионли

имплантациядан саноатда ярим ўтказгич материалларни, металлларни ва қотишмаларни, керамика ва пластмассаларни легирлашда кенг фойдаланилади.

Имплантацияланувчи ионнинг модда қаттиқ жисм заррачалари билан таъсирлашуви унинг кинетик энергиясини доимий пасайиши ёки унинг тормозланишига сабаб бўлади. Ионнинг умумий ҳаракатланиш траекторияси йўлак узунлиги R деб аталади, ионнинг нишон юзасига перпендикуляр йўналишда тўхтагунга қадар ўтувчи масофаси йўлакнинг лойиҳаланган узунлиги R_p деб аталади. Қаттиқ жисмда ионларнинг ўтган масофаси уларнинг дастлабки энергияси ва массасига шунингдек ишлов берилаётган заготовканинг физик хоссаларига боғлиқ. Аморф ёки поликристалл майда донали структурали материалдаги ионларнинг ўртача ўтган масофаси қуйидаги формула орқали аниқлаш мумкин:

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

бу ерда R - ионнинг ўтган масофаси; E_1 - ионнинг дастлабки энергияси; M_1 - ионнинг масса сони; Z_1 - ионнинг атом рақами; M_2 - нишон атомининг масса сони; ρ - нишон материалнинг зичлиги.

Ўтилган масофанинг ионнинг дастлабки ҳаракати йўналишига проекцияси қуйидаги тенглик билан белгиланади:

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

бу ерда R_p - проекцион ўтилган масофа; b - ионнинг дастлабки энергияси ва ўртача ўтилган масофага боғлиқ бўлган параметр (дастлабки яқинлашишда $b = 1/3$ деб ҳисоблаш мумкин).

Проекцион ўтилган масофанинг қиймати одатда унча катта бўлмайди, $E \approx 1,0$ МэВ бўлганда $R_p \approx 1,0$ мкм.

Синган ионларнинг қаттиқ жисм чуқурлиги бўйлаб тарқалишини Гаусс функцияси орқали ифодалаш мумкин.

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

бу ерда D - нурланиш дозаси (бирлик юзага имплантация қилнган ионлар сони); h - чуқурлик.

Нурланиш дозаси имплантациянинг давом этиш вақтига ион оқимининг зичлигига боғлиқ, у қуйидаги формула билан аниқланади:

$$D = \frac{j \cdot t}{Z_n \cdot e} \quad (4.15)$$

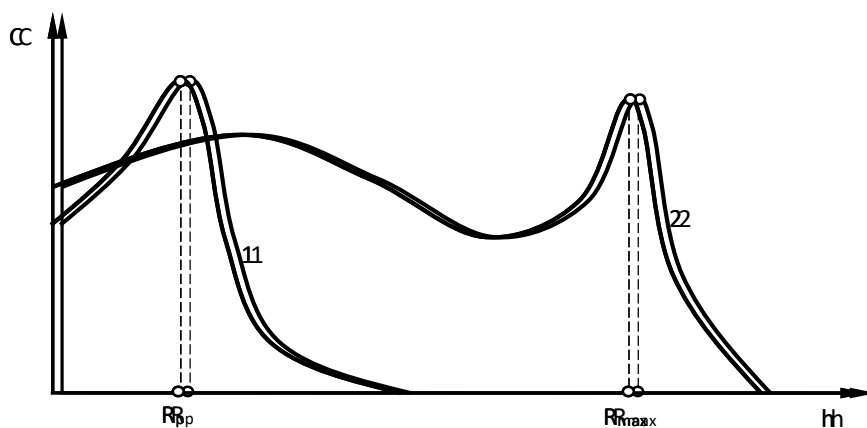
бу ерда j - ион оқимининг зичлиги; Z_n – атомнинг ионлашиш даражаси; e - элестрон заряди; t - нурланиш вақти.

(4.14) дан максимум ёйилувчанликни аниқлаймиз:

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

Имплаттацияланган элементларнинг ёйилувчанлик концентратсияси материал структураси ва кристалл тузилишдаги нуқсонлар зичлигига боғлиқ. 4.17-расмда турли хил кристалл структуралар учун ёйилиш эгри чизиқлари келтирилган. Кристалл панжарада доимо атомлар мавжуд бўлмаган йўналишлар бўлади, бундай каналлар юқори ион ўтказувчан бўлади. Бу каналлар бўйлаб ионларнинг тарқалиши ва тормозланиши унча муҳим эмас, шу сабабли имплаттацияланган элементлар қаттиқ жисмга проексион ўтилган масофадан кўпроқ чуқурликка кириши мумкин.

проекционный пробег.



4.17- расм. Имплаттацияланган элементларнинг ёйилувчанлик концентратсияси: 1- аморф ва поликристалл материаллар учун; 2- монокристалл учун

Ионнинг матритса кристалл панжарасига сингишида у ўзининг энергиясини матритса атомлари билан бўлган эластик тўқнашувлар ва шунингдек электронлар билан таъсирлашув ҳисобига йўқотади. Ионларнинг матритса атомлари билан тўқнашиш жараёнида уларнинг дастлабки энергияси ортади, ҳатто бу атомни кристалл панжарадаги ўрнидан силжитиш этади. Дастлабки урилган атом етарли даражада юқори энергияга эга бир неча килоэлектрон-вольт эга атом бутун бир урилишлар кетма-кетлигини бошлаши мумкин, бу эса матритсанинг катта миқдордаги атомларнинг силжиши демакдир. Ҳар бир урилган атом мустақил тўқнашувлар кетма-кетлигига сабаб бўлади. Ҳар бир тўқнашув натижасида атом силжийди ва бу силжишдаги кетма-кетлик силжиган атомнинг энергияси ундан кейинг атомни силжитиш учун етарли бўлгунга қадар давом этади. Каскаднинг урилувчи фазаси 10-13 с вақт тартибида ўсиб боради, бунда матритсада вакансия ва тугунлар орасидаги атомлар каби кристалл тузилиш нуқсонлари ҳосил бўлади.

Каскадга сарфланган атомлар энергияси бир неча элестрон-вольтга камайгандан кейин яъни силжишнинг дастлабки энергиясидан ҳам пасайгандан кейин нуқсонлар ҳосил бўлиши тўхтайди. Юқори зичликдаги нуқсонлар ҳосил бўлиши натижасида каскад худудида атомларнинг барқарор бўлмаган конфигурацияси ҳосил бўлади. Тугунлар орасидаги атомларнинг кўпчилиги вакансиялар яқинида қайта комбинатсияланган ҳажм чегарасида жойлашади. Френкел жуфтнинг бундай жойлашуви кристалл тузилишдаги нол ўлчамли нуқсонлар зичлигини бироз пасайтирадиган ўз-ўзидан қайта комбинатсияланишга сабаб бўлади. Ўз-ўзидан қайта комбинатсияланиш даври 10-12 с ни ташкил этади.

Кристалл тузилишдаги нол ўлчамли нуқсонларнинг зичлиги ҳатто ўз-ўзидан қайта кристалланишдан кейин ҳам етарлича даражада юқори бўлиб қолади, шу сабабли ҳосил бўладиган структура нотекислиги билан характерланади ва кимёвий потенциалнинг юқори градиентларига эга бўлади. Френкел жуфтнинг ўз-ўзидан қайта комбинатсиялашуви ва нотекис ҳолатнинг эластик энергияси таралиши натижасида юқори градиентли ҳароратли иссиқлик майдони ҳосил бўлади. Кимёвий потенциал ва ҳароратнинг градиентлари матритса ва аралашмалар атомларининг диффузион оқимиға сабаб бўлади, уларнинг чуқурлик бўйлаб нотекис тарқалишиға сабаб бўлади. Дастлабки урилаётган ионларнинг юқори энергиясида улар юза қатламда легирланган структура ҳосил қилади. Аралашмалар ва ионларни бомбардировка қилишдан ҳосил бўлган легирловчи элементлар биргаликда кристалл тузилишдаги нол ўлчамли нуқсонларнинг юқори концентрацияси ва қолдиқ микрокучланишларнинг юқори градиентлари фонида ионли имплантация билан ҳосил қилинган юза структурасининг хоссаларини белгилаб беради. Ион имплантация ёрдамида матритса элементлари ва ион оқим элементлари асосида янги буюмларни синтез қилиш мумкин.

Ионлар металл матрицаға сингишида модификацияланаётган материалнинг юза ости қатламидан атомлар учиб чиқади. Бу жараён ион-индукцион пуркаш деб аталади ва бу юза бўйлаб имплантацияланаётган атомлар сонининг чексиз ўсмаслиғига сабаб бўлади, маълум бит ҳолатларда тўйиниш режими содир бўлади, бу эса легирловчи элементларнинг максимал концентрациясини белгилаб беради.

Ион имплантациясида ионларнинг сингишидан ташқари юза қатламнинг чуқурлиги бўйлаб пухталаниш жараёни ва ўта чуқурликда имплантацияланган ионнинг пайдо бўлиши содир бўлади.

Ионли имплантация натижасида юза қатламнинг кимёвий таркиби ўзгаради, аралашма заррачалари ишлов берилаётган юзаға синғади, кристалл тузилишда нуқсонлар ҳосил бўлади, бу эса юзанинг микроқаттиқлиги ва ғадир-будурлигини оширади, ички сиқувчи кучланиш ҳосил бўлади. Санаб ўтилган ҳамма факторлар

юза бўйлаб имплантация қилинган элементнинг тарқалиши 3.1-расмда келтирилган концентрацион профилдан фарқ қилишига олиб боради. Нурланиш миқдори ошиб бориши билан максимум концентрация заготовка юзасида ҳосил бўлади.

Ион билан бомбардировка қилиш материалнинг қизишига сабаб бўлади. Қизиш температураси ион токининг зичлигига, ионлар энергиясига ва нишон материалнинг теплофизик характеристикаларига боғлиқ бўлади. Имплантация жараёнидаги максимал раван ҳароратни қўйидаги формула бўйича аниқлаш мумкин:

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

бу ерда T_0 - намунанинг дастлабки ҳарорати, К; U -тезлатувчи кучланиш; j - ион токининг зичлиги; ϵ - юзанинг нур таратиш қобиляти; $\sigma = 5,57032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ – Стефан-Болсман коэффиценти.

$U = 30 \text{ кВ}$ ва $j = 100 \text{ мкА/см}^2$ бўлганда конструкцион ва асбобсозлик пўлатлари ва қотишмалари учун ҳарорат $970 \text{ }^\circ\text{К}$ дан ошмайди. Юмшатишга олиб борувчи бундай юқори ҳароратлар фақат юпқа буюмларни имплантация қилишда қўлланилиши мумкин. Детал юза қатламини қиздиришдан легирланган қатламнинг қалинлигини оширишда фойдаланиш мумкин.

Кўпгина ҳолатларда ионли имплантация вакансияли микроғовакликлар ёки газ пуфаклари ҳосил бўлиши сабабли материалнинг кенгайишига сабаб бўлади, бу эса асосан инерт газларнинг ионларини имплантация қилишда кузатилади. Ионли легирлашнинг асосий афзаллиги бу метастабил фаза олиш ва ўта тўйинган қаттиқ эритмалар таркиб олиш имкониятини ўз ичига олади, бундай натижани бошқа юзага ишлов бериш методи орқали олиб бўлмайди.

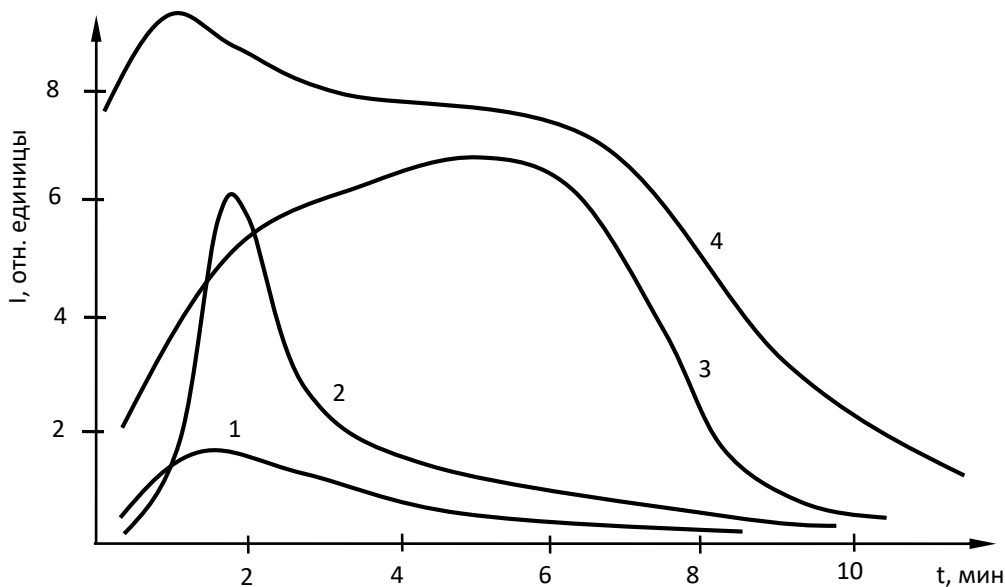
4.7.1. Имплантация режимларини имплантацияланувчи аралашмаларнинг тарқалишига таъсири

Имплантация режимлари деганда ишчи камерадаги босим, нурланиш энергияси ва дозаси, чуқурлиги ва имплантацияланувчи аралашмаларнинг тарқалиш характери тушунилади. Имплантация дозаси кимёвий реакцияларнинг ўтишини ва олинадиган механик хоссаларини (қаттиқлик ва даврий мустаҳкамлик) белгилаб беради.

Ишчи камерадаги босим камайиши билан имплантация самарадорлиги ошади. Бу қолдиқ газнинг босими пасайиши билан ионларнинг нейтраллашуви эҳтимоли ва уларнинг қолдиқ газ молекулалари билан тезлаштирувчи бўшлиқда тўқнашуви билан тушунтирилади. Натижада ионлар асосга катта энергия билан урилади ва катта чуқурликка имплантацияланади. Кичик энергияли ионлар ва нейтрал атомларнинг материал билан таъсирлашувида юзанинг қопланиши ёки осон кўчадиган қоплама ҳосил бўлади.

4.18-расмда TiV_2 (нишон) ва N (ишчи газ) ларнинг P6M5 пўлатида ишчи газнинг турли босимларида имплантацияланиши натижасида чуқурлик бўйлаб имплантацияланган Ti ионларининг тарқалиш боғлиқлиги келтирилган. Ионларнинг энергияси $\varepsilon = 50$ кэВ ва дозаси $\Phi = 5 \cdot 10^{17}$ ион/см² бутун тажриба давомида ўзгармас қолди. t вақт бу ўрганилаётган юзани Ar ионлари билан бомбардировка қилиш давомийлигини кўрсатади, бу бомбардировка материал юзасидаги айрим қатламларни кўчиради, шу сабабли t вақт юза қатламнинг чуқурлигини акс эттиради.

Олинган боғланишлардан шу маълум бўладики, камерадаги босим камайиши билан аралашмаларнинг имплантацияланиш чуқурлиги ва концентрацияси ортади. Шу сабабли имплантация жараёнини иложи борича паст босимларда ўтказиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бунда чекланишлар эса ион манбаининг барқарор ишлаши ҳисобланади, кичик босимларда нишонни буғланишини таъминловчи ёйли разряд ҳосил бўлмайди. Бундан ташқари камерадаги қолдиқ газнинг кичик босимларида диффузион жараёнлани тезлаштирувчи ва имплантация чуқурлигини оширувчи юқори ион токини олиш имконияти мавжуд эмас. Асбобсозлик пўлатларини самарали пухталаш учун қолдиқ газнинг зарур бўлган босими 20 МПа ни ташкил этади.

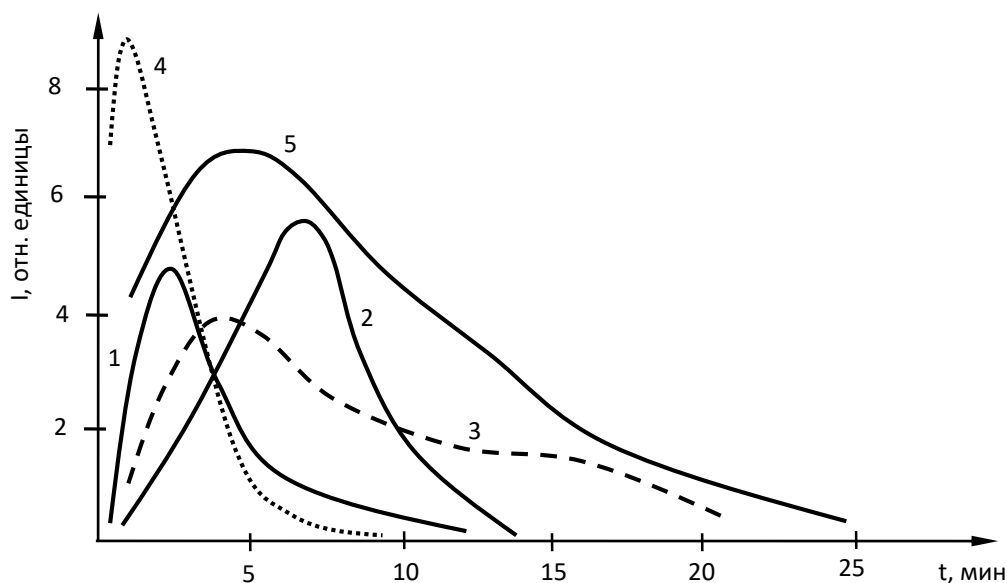


4.18-расм. P6M5 пўлатида имплантацияланган Ti ионларининг чуқурлик бўйича тарқалишига камера босимининг таъсири: 1- p= 40 МПа; 2- p= 27 МПа; 3- p=13 МПа; 4- p= 10,5 МПа.

Имплантацияланувчи ионларнинг энергияси имплантация чуқурлигини ва имплантацияланувчи аралашмалар концентрациясининг ўзгариш характери хам белгилаб беради. Кўпгина материаллар учун имплантация энергиясининг пастки чегараси 10 кэВ дан кам бўлмайди, бундан пастда эса намуна юзасининг тўзғтилиши ёки ион материалларидан иборат қоплама ҳосил бўлиши содир

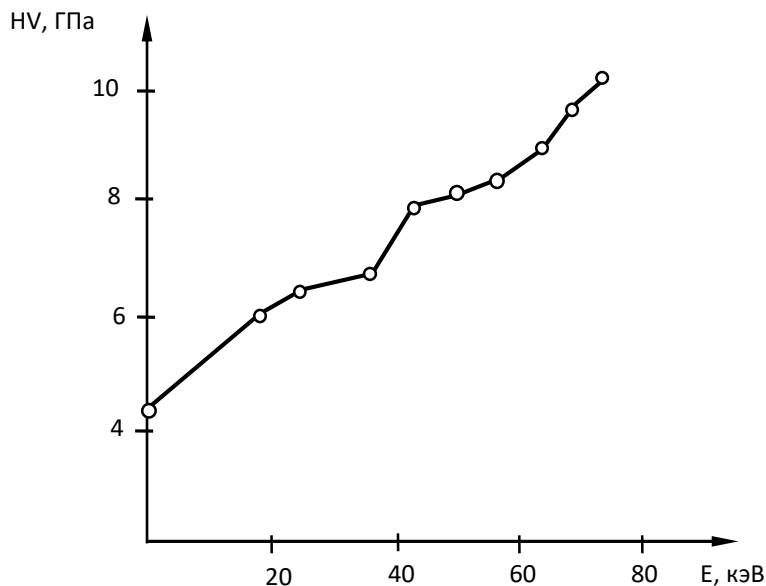
бўлади. Ионларнинг юқори энергияси технологик факторлар билан чегараланган. Бир томондан имплантация чуқурлиги урилувчи ионларнинг энергиясига пропорционал бўлади, шу сабабли ўта юқори волтли манбага эга бўлади, бошқа томондан кучланиш 30 кВ дан юқори бўлганда рентген нурланиш ҳосил бўлади, ва радиацион хавфсизлик бўйича қўшимча саволлар пайдо бўлади.

4.19-расмда Р6М5 пўлатидан тайёрланган намуналарда титаннинг тарқалиши келтирилган, бунда намуналар $\Phi=5 \cdot 10^{17}$ ион/см² доимий дозада ионли имплантация қилинади, лекин турли хил кучланишларда.



4.19-расм. Имплантация энергиясининг Ti ионларининг Р6М5 пўлатида тарқалишига таъсири: 1- $E=20$ кэВ; 2- $E=30$ кэВ; 3- $E=40$ кэВ; 4- $E=50$ кэВ; 5- $E=60$ кэВ

Келтирилган боғланишлардан шу маълум бўладики, имплантация энергияси ортиши билан юзадаги аралашмаларнинг концентрацияси ҳам ортади, лекин уларнинг бироз пасайиши тажриба қурилмасининг конструкцияси билан тушунтирилади. Имплантацияланадиган юзага ионлар билан бомбардировка қилишнинг концентрацион эгри чизиқлари носимметрик бўлади.



4.20-расм. Имплантация энергиясининг титан имплантацияси билан пухталанган А11Р3М3Ф2 пўлати юзасининг микроқаттиқлигига таъсири, бунда имплантация дозаси $\Phi = 5 \cdot 10^{17}$ ион/см²

Имплантация энергияси ортиши билан юзанинг микроқаттиқлиги ортади. Мисол сифатида 4.20-расмда титан имплантацияси билан пухталанган А11Р3М3Ф2 пўлати юзасининг микроқаттиқлиги келтирилган.

Имплантация дозаси пухталанган юза қатламнинг таркиби, структураси ва хоссаларига ионлар энергиясига қараганда кучлироқ таъсир қилади. Имплантациянинг кичик дозалари янги бўғланишлар синтезини таъминлаб беролмайди, имплантацияланувчи юза қатламнинг ўта тўйиниши юзанинг бузилишига сабаб бўлади, бунга радиацион зарарлар ортиб кетиши сабаб бўлади. Кўпинча қуйида кўрсатиладиган қонуният кузатилади. Имплантация дозаси ортиши билан чуқурлик бўйлаб аралашма ионларининг ҳосил бўлиши ортади, микроқаттиқлик ҳатто максимумдан ҳам ортиши мумкин. Имплантациянинг оптимал дозаси ион турига, пухталанувчи материалнинг таркибига, янги кимёвий боғланиш ҳосил бўлиши эҳтимолига ва ионнинг ҳосил бўладиган оптимал чуқурлигига кўра аниқланади.

4.7.2. Ионли имплантация қурилмаси

Ионли имплантация маҳсус ион-нурли қурилмаларда ўтказилади. Қўлланилиш мақсадига кўра улар лаборатория ва ишлаб чиқариш турларига бўлинади. Бундай қурилмаларга қўйиладиган талаблар турли хил бўлади. Илмий изланиш олиб бораётганда ишчи жисмнинг қисмини алмаштириш, ионлар энергиясини ўзгаритириш ва алоҳида узелларни замонавийроқ бўлганларига алмаштириш зарурияти туғилади. Қурилмалардан сериялаб ишлаб чиқаришда фойдаланганда қатъий белгиланган ишчи режимларга риоя қилинади ва қурилма юқори унумдорликка эга бўлиши ва ишончли ишлаши керак.

Қурилмаларга қўйиладиган муҳим талаблар қуйида келтирилган:

- Турли хил элементларнинг ионлари билан ишлаш имконияти;
- Ионлар тўпламининг юқори даражадаги бир жинслилиги ва унинг барқарорлиги;
- 2 дан 500 кэВ энергия диапазонларида ионлар тезлашувини таъминлаш;
- Дозани аниқ бошқариш ва ишлов бериш давомида унинг доимий ўзгармас бўлишини таъминлаш, ва шунингдек бир жинслилигини ва таъсирлашув майдонини;
- Нишон ва нурнинг аниқ ориентрланиши ва легирлаш бурчагининг ўзгартириш имконияти;
- Нишон ҳароратини бошқариш ва уни керакли даражада ушлаб туриш;
- Қурилма камерасида ўта юқори босимни ҳосил қилишни таъминлаш, бунда қолдиқ газ муҳити имплантация натижасига таъсир қилиши мумкин;
- Қурилмани конструкциялаш ва йиғишнинг модел принципига эгаллиги, бу эса унча катта бўлмаган қийинчилик билан алоҳида узелларни алмаштириш ва такомиллаштиришга имкон беради.

Ҳар қандай типдаги қурилма қуйидаги асосий узеллардан иборат бўлади: ион манбаи, масс-сепаратор, тезлатувчи бўлим, сканерловчи қурилма, қабул қилувчи камера ва вакуум системага эга бўлади. Бу узеллар шундай жойлаштирилган-ки қурилмадан горизонтал ёки вертикал фойдаланиш мумкин бўлсин. Ҳозирги кунда 10 тадан ортиқ хорижий ионли имплантация (имплантерлар) қурилмалари мавжуд. Бундай хорижий қурилмалар 3 та типга бўлинади: ИЛУ, <<Везувий>> ва <<Иолла>>.

ИЛУ типдаги қурилма электромагнит масс-сепараторли ҳисобланади ва тезлаштирилган ионларни қаттиқ жисм билан таъсирлашув жараёнини экспериментал ўрганиш учун фойдаланилади. Бу қурилмалар ионлар оқимининг юқори токга эга эканлиги билан ажралиб туради. Уларнинг орасида ИЛУ-4 энг йириги ҳисобланади, унинг оғирлиги деярли 10,0 т ни, қуввати эса 45 кВт ташкил этади ва уни жойлашуви учун 57 м² майдон талаб қилинади.

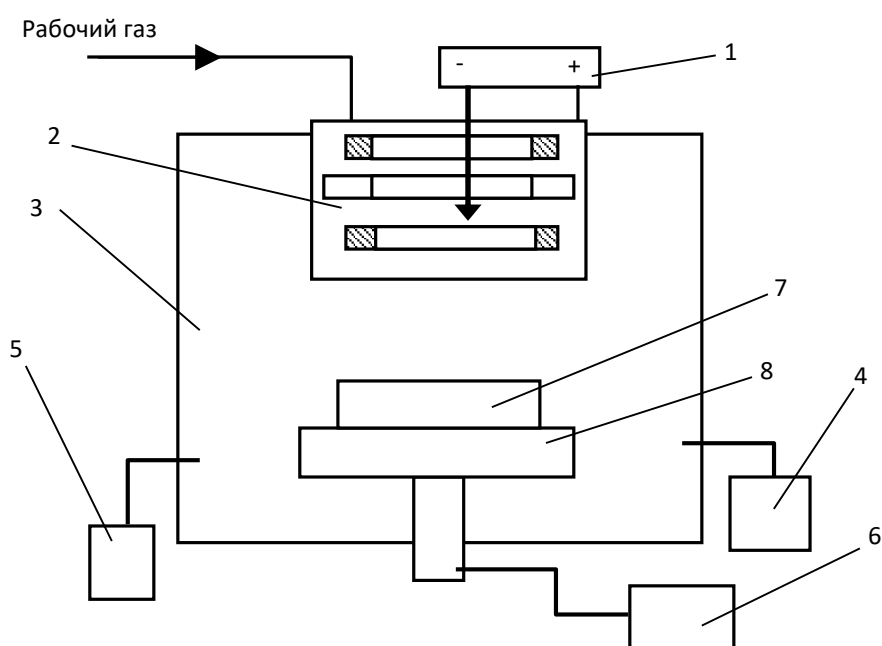
<<Визувий-1>> типдаги универсал қурилма бор ва фосфор билан легирлаш учун мўлжалланган. Бу қурилмада ионларни тезлатувчи трубкада 200 кэВ энергиягача бир поғонали тезлатиш принциpidан фойдаланилади. Разрядли камерада электронлар оқими камера ва ажралувчи элестрон орасидаги электр майдон ёрдамида эмиссия тешиги орқали ажралиб чиқади. Кейин эса электрон оқим фокусировка учун битта электростатик линза вазифасини бажаради. Қурилмада сестор типдаги электромагнит сепаратор мавжуд бўлиб, у ионларни масса сони бўйича 1 дан 120 а.е.м. гача ажратишга имкон беради. Фосфор ионларининг максимал токи 200 мкА, бор учун эса 20 мкА ни ташкил этади.

Қурилманинг оғирлиги 9,5 т, қуввати эса – 55 кВт, уни жойлашиши учун зарур бўлган майдон 37 м² ни ташкил этади.

Учинчи турдаги <<Иолла>> қурилмаси кичик габаритли эканлиги билан ажралиб туради. Бундай қурилмалардан лаборатория шароитларида ва сериялаб ишлаб чиқаришда фойдаланиш мумкин. <<Иолла-2>> қурилмасида битта зарядли ионларнинг энергиясини 20 дан 80 кэВ гача ўзгартириш мумкин. Ионларнинг массаси 80 а.е.м. гача бўлган гуруҳга ажралиши доимий магнит майдонда содир бўлади, камера ичидаги вакуум 10⁻⁴ Па ни ташкил этади.

Юқорида санаб ўтилган саноат ион имплантация қурилмаларидан ташқари маҳсус қурилмалардан фойдаланилади, улардан фақат маълум бир деталларга ишлов беришда фойдаланилади. 4.21-расмда Микрокриоген техникасида кенг қўлланиладиган металлополимер материалларни ионли имплантация қилиш учун мўлжалланган УИН-1 маҳсус қурилмасининг схемаси келтирилган. УИН-1 қурилмаси конструкцион ва ишлаш принципи жиҳатидан бошқа одатий саноат қурилмаларидан фарқ қилмайди, уни фарқли томони унинг ўлчамлари ва ишлов бериладиган деталнинг қайсики микрокриоген техникада ишлатиладиган конструкцион ўзига хослиги билан боғлиқ. Бу қурилманинг асосий узеллари бу ионларнинг плазмали манбаи 2 ва ионли имплантация камераси 3 ҳисобланади.

Ионларнинг плазмали манбаида алмаштира бўладиган нишон жойлашган бўлиб, у детал материалига имплантацияланадиган кимёвий таркибнинг ионлар манбаи ҳисобланади. Ионлар манбаи умумий корпусга ўрнатилган катод ва анод орқали таъминланади. Газлар плазмасини олиш учун ионлар манбаига газ бўшлиғи уланади.



4.21-расм. Ионли имплантация учун мўлжалланган УИН-1 куриламасининг схемаси: 1- таъминот блоке; 2- фокусировка системасига эга ионлар манбаи; 3- вакуум камера; 4, 5- вакуумни таъминловчи система; 6- таъминот блоке; 7- детал; 8- стол.

Курилмани ишга туширишдан олдин унда вакуум ҳосил қилинади, кейин эса вакуум насосда ишчи газ киритилади ва 10^{-2} Па босимдаги газнинг динамик барқарорлигига эришилади. Кейин эса катод ва анод потенциаллар фарқини юзага келтирувчи таъминот манбаи ёқилади, бунда электр разряд ҳосил бўлади. Разряд газнинг электронлар ва ионлар ҳосил бўлиши билан ионлашувига сабаб бўлади. Қўшимча равишда электр майдон билан тезлаштирилган заррачалар кирувчи газни ионлайди, яъни уни плазмага айлантиради. Газ плазмаси тезлашади ва нишон томонга йўналади. Стол 8 ва нишон ўртасидаги юқори кучланишли манбани 6 ни қўшганда тезлатувчи электр майдон ҳосил бўлади. Натижада нишонда ионлар оқими ҳосил бўлади, ва кейин эса детал юзасига ионли имплантация жараёни бошланади.

4.7.3. Ионли имплантация ёрдамида ўзгартирилган юзанинг физик-кимёвий ва механик хоссалари

Ионли имплантация юза хоссаларини ажойиб равишда бошқариш усулини намоёни қилади, шу сабабли ундан коррозиябардошликни, ейилишгабардошликни ва қаттиқликни оширувчи метод сифатида фойдаланилади. Шунини қайд қилиш керак-ки ионли имплантациядан асосан тайёр деталларга ишлов беришда фойдаланилади ва ҳеч қандай қўшимча тугалловчи ишлов беришни талаб қилмайди.

Коррозия бу материал юзасининг бузилиш эффекти ҳисобланади. Антикоррозион элементларнинг ионлари (Ni^+ , Cr^+ , Al^+ , Nb^+ , Cu^+ , Pb , As , Sb va boshqalar) юзадаги электрокимёвий жараёнларни камайтиришга имкон беради. Металл ионлари билан биргаликда ноёб газларнинг (He , Ar , Ne va boshqalar) ионлари ҳам қўлланилади. Легирловчи элементларнинг ионлари сифатида эса платина гуруҳидаги элементлар (Pt , Pd , Ru , Re) қўлланилади, бу элементлар эса конструкцион пўлат ва қотишмаларнинг пассивлашувчанлигини ва коррозиябардошлигини оширади. Палладий билан имплантация қилинган титаннинг коррозиябардошлиги 10^4 баробар ошади. Юзани ионли имплантация орқали легирлаш асосан коррозион дарз кетишни камайтириш мақсадида қўлланилади, бунда юзада қотишмалар ва бирикмалар ҳосил бўлади, улар эса ўзларини электрокимёвий боғланишда худди металлургик усулда олинган қотишмалар каби тутати. Шунингдек юзани ионли имплантация усули билан легирлаш қиммат турадиган металлларни тежашга имкон беради. Ионли имплантация методи Fe-Ta системасидаги ноодатий қотишмаларни синтез қилишга имкон беради. Бу эса пўлатларнинг коррозиябардошлигини темирнинг аморфлашиши ҳисобига ортишига имкон беради.

Юзада коррозион муҳитда содир бўладиган электрохимий жарраёнларнинг кинетикасига кимёвий актив элементларнинг сингиши ва имплантация жарраёнида ишлаб чиқариладиган радиацион нуқсонларнинг ҳосил бўлиши таъсир қилади. Ионли бомбардировка ҳисобига структура пухталигининг йўқолиши анча сифатли бўлган қоплама ҳосил бўлишини енгиллаштиради. Шу билан бирга коррозиябардошликка радиацион таъсирлашув натижасида ҳосил бўладиган майда донали фазалар кристалл панжарасининг бузилиши ҳам таъсир қилади. Маълумки, сиқувчи кучланиш коррозион бузилишга бўлган қаршилиқни оширади, чўзувчи кучланишлар эса пўлатларнинг бундай турдаги коррозияга таъсирчанлигини оширади.

Металл ва қотишмаларнинг коррозияси юзадаги тўғридан-тўғри кимёвий таъсирлашувлар ёки доналар чегаралари бўйлаб диффузия орқали содир бўлади. Ионли бомбардировка натижасида кристалллар ўлчамининг ва уларнинг йўналишининг ўзгариши коррозия жарраёнининг кинетикасига жиддий таъсир қилади. Оғир ионлар билан катта дозали нулантиришда юза қатламнинг аморфлашув жарраёни қотишманинг пассивлашувига самарали таъсир қилишини қайд этиш жоиз.

Нурланишнинг катта дозаларида аморф қатламлар ҳосил бўлади. Бу жарраённи янада аниқроқ кўриб чиқамиз. Имплантацияланувчи ионларнинг массаси ва ҳароратига боғлиқ бўлган нурланиш дозаси ортиши билан тартибсиз жойлашган алоҳида зоналар ортиб кетади ва маълум қалинликдаги аморф қатлам ҳосил бўлади, бу қатламда панжаранинг узок тартиби бўлмайди. Кристалл тузилишдаги нуқсонлар зичлиги ионнинг атом рақами, ҳарорати, энергияси, дозаси ва каналлашув эффектига боғлиқ. Паст ҳароратларда (125 °К гача) аморф структуранинг ҳосил бўлиш характери имплантацияланувчи ионларнинг массасига боғлиқ эмас. Имплантация қилинаётган ионлар токининг катта зичликларида нишон материали қиздирилади, бу эса аморфизатсия дозасини оширади.

Аморф қатламнинг ҳосил бўлишининг характери белгиси бу нишон рангининг ўзгариши ҳисобланади. Бу асосан ярим ўтказгич юзасида сезилади. Кремний нур таратади, галлий эса қораяди. Аморф фаза ўзини намоиш қилиши мумкин, қачонки совуқ намунани нам атмосферага қўйганда, бунда сув парлари намунанинг нурланган юзасига конденсацияланади. Бу аморф структуранинг анча юқори иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти билан характерланади ва ионли имплантация билан пухталанган юза структурасининг бир жинслилик даражасини баҳолашнинг билвосита усули ҳисобланади.

Ионли имплантация жарраёнида ҳосил бўладиган кристалл тузилишдаги мураккаб радиацион нуқсонлар микроқаттиқликка катта таъсир қилади. Радиацион нуқсонлар ва аралашмаларнинг атомларининг таъсирлашуви микроқаттиқликка унча катта таъсир қилмайди. Инерт газларнинг атомлари

билан имплантация қилинганда анча юқори микроқаттиқлик кузатилади, пўлатларнинг микроқаттиқлиги эса тўйиниш дозасига боғлиқ бўлади.

Микроқаттиқлиги ўзгарган қатлам чуқурлиги 3 та тартибда бўлади ва ионларнинг ўтган масофасини оширади. Бундай эффект термодиффузия ва кимёвий потенциалларнинг юқори градиентли майдонларидаги диффузияси қонуниятига кўра содир бўладиган бомбардировка жараёнида имплантацияланган атомларнинг радиацион-кучайтирилган диффузияси билан белгиланади.

Азотнинг катта дозаси билан нурлантиришда микроқаттиқликнинг ортиши металлларнинг нитридлари ҳосил бўлиши билан тушунтирилади. Худди шундай ҳолат пўлатга бор ва углерод ионларини имплантация қилинганда кузатилади, бунда улар кристалл панжаранинг тугунлари орасига жойлашади.

Ишқаланиш коэффициентини юқори энергияли ионларни (In^+ , Sn^+ , Mo^+ , Pb^+ , Mo^+ + S^+) ва бошқа элементларнинг ионларини юзага 880...900 кэВ энергияда имплантация қилиш орқали камайтириш мумкин. Бунинг натижасида юза қатламида юқори антифрикцион хоссаларга эга бўлган кимёвий бирикма ҳосил бўлади. Ar^+ ва N^+ ионларининг сингишида ишқаланиш коэффициенти камаяди, бу эса антифрикцион кимёвий бирикмалар ҳосил бўлиши билан боғлиқ эмас. Бунда кристалл тузилишдаги радиацион бузилишларнинг ортиши юзани оксидланиши ва оксид қопламалар ҳосил бўлишига сабаб бўлувчи актив марказлар ҳосил қилади.

Пўлат ва қотишмаларнинг ейилишгабардошлигини ошириш учун енгил (B^+ , C^+ , N^+) ва оғир (Ti^+ , Ar^+ , Mo^+ , W^+ , Cd^+) ионлардан фойдаланилади. Ионли имплантация методи орқали ейилишгабардошликни 1,5 ... 20,0 баробар ошириш мумкин.

Зангламас пўлатларни титан ионлари билан имплантация қилганда уларнинг ейилишгабардошлиги шу тартибда ортади. Пўлатларга енгил ионларни сингдириш ейилишгабардошликни аралашмалар атомлари (карбидлар, нитридлар, боридлар) билан бирикмалар ҳосил қилиш ҳисобига ошириш имконини беради. Яна шунингдек ейилишгабардошликнинг ортиши радиацион нуқсонлар, структура ўзгаришлари, метастабил аморф фазаларнинг ҳосил бўлиши ва шу кабилар натижасида ҳосил бўладиган ички кучланишларнинг ортиши билан тушунтирилади.

C^+ , N^+ ва Cu^+ ионлари билан имплантация қилишда иккиламчи фазалар ҳосил бўлиш ҳисобига толиқиш мустаҳкамлиги ортиши кузатилади.

Титан қотишмаларини кремний ва аргон ионлари билан имплантация қилишда унинг микроқаттиқлиги ва толиқиш мустаҳкамлиги ортади. Ион токининг зичлиги ортиши билан $j=10$ мкА/см² микроқаттиқлик максимумга етади, кейин эса бир текис пасаяди, бунда унинг микроқаттиқлиги ортган миқдорининг 20 % дан пастга тушмайди. Микроқаттиқлик ва чидамлилиқнинг ортиши радиацион

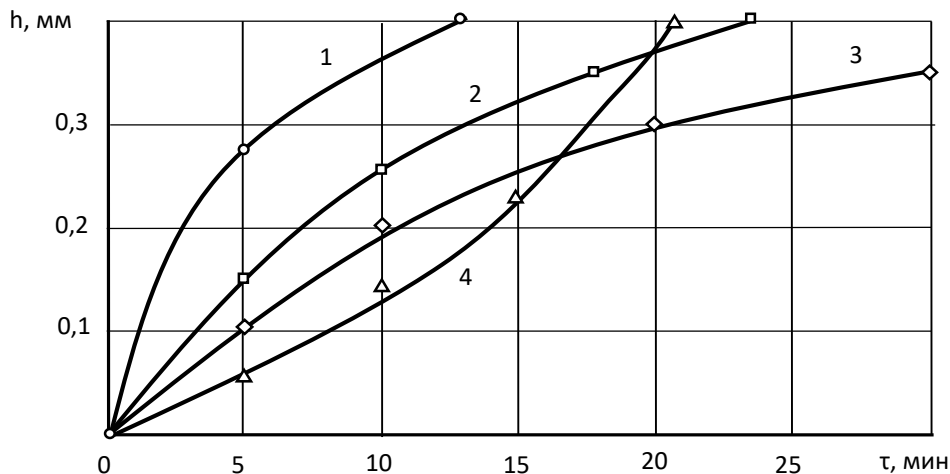
нуқсонларнинг ортиши билан тушунтирилади, бунда улар дислокацияларни тўсувчи энергетик тўсиқ вазифасини бажаради, ва шунингдек бу хоссалар кремнийнинг титан билан ҳосил қиладиган бирикмаси ҳисобига ҳам ортади. Кремний ва аргон ионлари билан қопланиш жараёни сабабли юза микрорелефининг силлиқланиши жараёни материалнинг толиқиш хоссаларига ионли имплантациянинг ижобий таъсирини кўрсатади.

4.7.4. Юзага ионли имплантация орқали ишлов бериш технологияси

Ионли имплантация натижасида юзада легирланган қатламнинг ҳосил бўлиши юқорида айтиб ўтилганидек ўта мураккаб жараён бўлиб, у ўз ичига кўп физик-кимёвий ва структуравий механизмларни олади. Юзада талаб қилинадиган хоссаларга боғлиқ ҳолда ионли имплантация технологиясини ҳосил бўлиш механизмини тарқалиши ва юза структурасининг ўсиши бўйича қуйидаги кўринишларга ажратиш мумкин:

- Легирланиш ҳисобига юзанинг пухталаниши ва кристалл тузилишда юқори зичликдаги нуқсонларнинг ҳосил бўлиши;
- Имплантация қилинган кимёвий элемент атомларининг сингиши ҳисобига юза градиентли структураларнинг ҳосил бўлиши;
- Ион- кучайтирилган аралашуш ҳисобига модификацияланган юзанинг ҳосил бўлиши;
- Олдиндан қопланган қатламнинг диффузион пайвандланиши ҳисобига юпқа қатламли қоплама ҳосил бўлиши.

Ионли имплантация қаттиқликни оширувчи технология сифатида юзани пластис деформациялаш ёки бошқа усуллар билан юзасини пухталаб бўлмайдиган, унча катта бўлмаган ишчи юзага эга кесувчи асбоблар ва машина деталларини пухталаш учун қўлланилади. Кам углеродли пўлатларни азот ионлари билан имплантация қилишда пухталанган қатламнинг чуқурлиги 35...70 мкм га етиши мумкин. Пухталанган қатламнинг тузилиши қуйидагича бўлади. Энг устки қатламнинг қалинлиги 2...5 мкм ни ташкил этиб, у γ^1 -фаза (Fe_4N) ва ϵ -фаза ($\text{Ti}_{2\text{N}}$) дан иборат бўлади. Унинг остида диффузион қатлам жойлашади. Диффузион қатламнинг структураси ҳам бир жинсли бўлмайди, унинг устки қатламида азотли аустенитнинг парчаланиш қолдиқлари зонаси жойлашади, ундан кейин эса нитрид игналаридан иборат феррит қатлами бўлади. Юза қатламнинг пухталаниш даражаси материалнинг кимёвий таркибига боғлиқ бўлади. Хром миқдори ортиши билан легирланган пўлатларни қаттиқлиги азот билан ионли имплантация қилишдан кейин ортади.



4.22-расм. 12X18Н10Т пўлатини йўнишда Р6М5 дан ясалган кескичнинг ейилиши: 1- пухталанишсиз; 2- Ti^+ ; 3- W^+ ; 4- MoC_2^+

Бундай технологиядан леги рланган пўлатларни, қаттиқ қотишмаларни ва ўта юқори қаттиқликдаги материалларни пухталашда фойдаланилади. 4.22-расмда ионли имплантациядан кесувчи асбобларда фойдаланишнинг самарадорлиги келтирилган. Кўриниб турибдики, стандарт термик ишлов беришдан ўтган Р6М5 тезкесар пўлати юқори қаттиқлик ва ейилишгабардошликка эга бўлади.

Ионли имплантация орқали юзани ўзгартириш технологияси ҳар қандай элементларнинг қотишмаларини олиш имконини беради. Юза қатлами бўйлаб легирловчи кимёвий элемент концентрациясининг тарқалиши юзада имплантацияланган атомларнинг тўпланиши орқали, кейин эса эса уларнинг диффузия ҳисобига янада чуқурроққа сингиши ҳисобига, кристалл тузилишдаги нуктали нуқсонларнинг ҳосил бўлиши ҳисобига кучайтирилган ионли бомбардировка қилиш орқали содир бўлади. Ион-кучайтирилган диффузия коэффициенти иссиқлик диффузияси коэффициентида катта бўлади. Ионли бомбардировка натижасида ҳосил бўлган кристалл тузилишдаги радиацион нуқсонларнинг юқори зичлиги билан имплантацияланган атомларнинг концентрацион профилини қуйидаги диффузион тенглик орқали назарий ҳисоблаш мумкин:

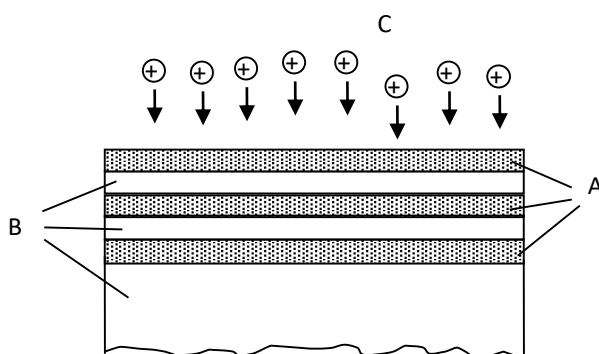
$$\frac{\partial C_a}{\partial t} = D_a \frac{\partial C_a}{\partial X^2} + D_{ar} \frac{\partial C_r}{\partial X^2} + g_a(X) \quad (4.18)$$

бу ерда C_a - имплантацияланувчи атомларнинг концентрацияси; C_r - радиацион нуқсонларнинг концентрацияси; D_a - имплантацияланган атомларнинг матритсага диффузияланиши коэффициенти; D_{ar} - радиацион нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда сингиган атомларнинг диффузиясини белгиловчи диффузион параметер; t - вақт; X - масофа кординатаси; $g_a(X)$ - матрицада легирловчи атомларнинг ва кристалл тузилишдаги нуқсонларнинг ҳосил бўлиши тезлиги.

Ионли имплантацияда ҳароратнинг юқори градиентларга кўтарилиши гетероген диффузиянинг ортишига сабаб бўлади. Натижада легирловчи элементларни матритсанинг чуқур қатламларидан юза қатламига тўпланиши содир бўлади. Пулатни титан билан ионли имплантация қилиш унинг таркибида углерод концентрациясини ортишига сабаб бўлади.

Легирловчи элементлар атомларини металл матритсага ионли имплантация қилиш усулида бир қанча камчиликлар мавжуд. Бундай усулда легирловчи атомларнинг белгиланган концентрациясидан ортиқ ҳолда олиш имкониятини бермайди, бунда 30 % дан ортмайди. Бу чегара нисбатан юқори бўлиши мумкин, агар айрим технологик вазифалар кўриладиган бўлса, кўпинча ярим ўтказгич технологиялар вазифаси. Нурлантириладиган матритсада кимёвий ва структуравий ҳолатни кучли ўзгартириш муҳим бўлган ионли имплантация металлургиясида легирловчи атомларнинг концентрациясини кенг чегараларда ўзгартириш талаб қилинади. Бунга элементларни ионли аралаштириш орқали эришиш мумкин.

Ҳар қандай элементларнинг метастабил қотишмалари ва деярли ҳар қандай таркибда олишга имкон берадиган методларнинг асосий схемаси 4.23-расмда келтирилган.



4.23-расм. Тезлаштирилган ионлардан фойдаланган ҳолда метастабил қотишма ҳосил қилиш схемаси.

Ишлов бериладиган матритса юзасига А ва Б материалларнинг қопламалари қатлам-қатлам қилиб қопланади ва С элементнинг ионлар оқими билан нурлантирилади. А, Б ва С элементлар талаб қилинадиган таркибдаги қотишма олишга имкон берадиган ҳолатга кўра ва компонентларнинг нисбатига кўра танланади. Алоҳида қатламнинг қалинлиги 10...20 нм дан ошмаслиги керак, умумий қалинлик эса 100 нм дан ошмаслиги керак. Ионли аралаштиришнинг самарадорлиги ионлар оқимининг энергиясига боғлиқ бўлиб, унинг чегаравий қиймати 300 кэВ дан ошмаслиги керак.

Ионли-кучайтирилган аралаштириш технологияси ўхшаш диффузион пайвандлаш орқали қопланган юпқа қатламли қоплама ҳосил бўлади. Бундай ҳолатда бир нечта қатламлар ўрнига битта нисбатан қалин бўлган қалинлиги 10 мкм гача бўлган қатлам қопланади, бу қатлам эса ионли бомбардировкага

учрайди. Қоплама ва асос чегарасидаги ионли-кучайтирилган диффузия нисбатан пухта оралик қатлам ҳосил бўлишига сабаб бўлади.

4.7.5. Ионли имплантация кесувчи асбобнинг турғунлигини оширувчи метод сифатида

Ионли имплантация машинасозликда юзанинг ейилишгабардошлигини оширувчи метод сифатида кенг қўлланилади. Ионлар таркиби қуйидаги шарт-шароитга кўра танланади. В, С, N ионларини имплантация қилиш қаттиқликни, ейилишгабардошликни, даврий мустаҳкамликни оширади, бу эса матритса материалнинг боридлари, карбидлари ва нитридлари ҳосил бўлиши билан тушунтирилади. ТК группасидаги инструментал қаттиқ қотишмаларнинг микроқаттиқлиги ва чидамлилигининг ортиши уларга Al ва N ионларини имплантация қилишда кузатилади.

Ионли имплантация учун элементлар танлашда ҳосил бўлиши мумкин бўлган кимёвий бирикмаларни ҳисобга олиш керак. Р6М5 пўлатини титан ва азот билан ионли имплантация қилиш тезкесар пўлатнинг ишлаш қобилятининг йўқолишига сабаб бўлади. Бу қуйидагича тушунтирилади. Мураккаб темир-вофрамли карбид тезкесар пўлатнинг юқори эксплуатацион хоссаларга эга бўлишини таъминлаб беради. Титан углеродга қараганда кучли газсизлантирувчи ҳисобланади, шу сабабли Ti ва N ионлари билан имплантация қилиш натижасида тезкесар пўлат юзасида қуйидаги реакциялар кетади:



Титаннинг мураккаб карбидлари ва сианидлари ҳосил бўлиши темир асоснинг мўртлашуви ва тезкесар пўлатнинг кесиш хоссаларининг пасайишига сабаб бўлади.

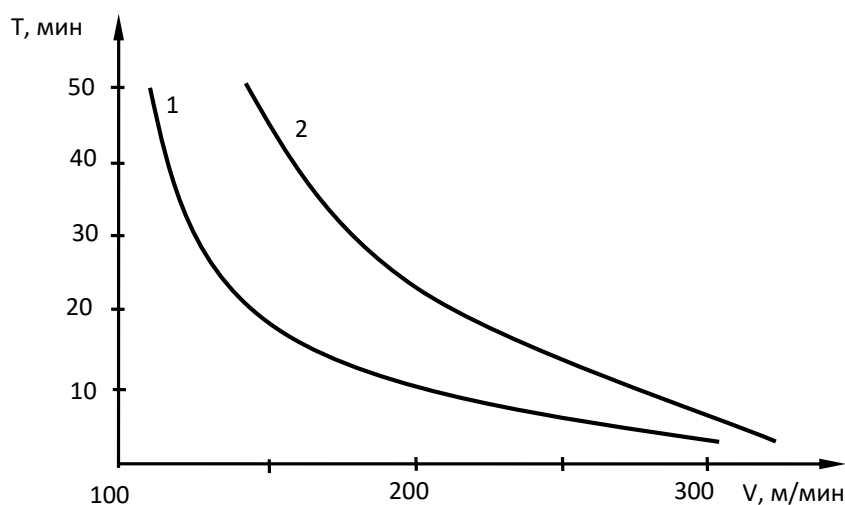
Пухталашнинг самарали усули бу титан диборид (TiB_2) ва азот билан имплантация қилиш ҳисобланади. Пухталанган юза структурасининг ўсиши янги кимёвий бирикмаларнинг синтезлашуви билан бирга содир бўлади, бор карбиди ва нитриди ҳосил бўлиш реакцияси қуйидагича:



Олинган бирикмалар юқори қаттиқлик, ейилишгабардошлик, иссиққа чидамlilik ва иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлади, бу эса имплантацияланган асбобга юқори кесиш хоссаларини беради. Келтирилган бирикмалардан ташқари волфрам ва кобальтнинг боридлари ҳосил бўлиши мумкин, улар эса юқори иссиққабардошликка ва бу элементларнинг карбидлари ва нитридлари билан таққослаганда юқори қаттиқликка эга бўлади.

Ионли имплантацияланган кесувчи асбобнинг юза структураси ишқаланишнинг кичик коэффиценти билан фарқ қилади. Бу эса кесиш кучини ва ҳароратини пасайтиради, ва натижада буюмнинг ишлов берилган юзаси ғадир-будурлиги камаяди. Буларнинг ҳаммаси кесувчи асбобнинг турғунлигини

таъминлайди. Турғунлик деганда асбобнинг руҳсат этилган ейилиш қийматиғача ишлаш вақти тушунилади. 9.8-расмда турли ионлар билан имплантация қилинган Т15К6 дан тайёрланган токарлик кескичлари билан ШХ15СГ пўлатини йўнишдаги уларнинг турғунликлари боғлиқлиги келтирилган.



4.24-расм. ШХ15СГ пўлатини йўнишда Т15К6 дан тайёрланган кескичнинг турғунлигининг кесиш тезлигига боғлиқлиги: 1- имплантация қилинмаган кескичлар; 2- Al ва N ионлари билан имплантация қилинган

VI. АМАЛИЙ МАШҒУЛОТЛАР МАЗМУНИ

1-амалий машғулот: Пухталашнинг технологик методларининг умумий характеристикаси ва классификацияси. Шар ёки ролик билан пухталаш

Ишнинг мақсади: Юзани пластик деформациялаш ёрдамида (шарик ёки роликни ишлов берилаётган материалга эзиш) ташқи қатламини физик –механик ҳоссаларини ўзгартириш.

Қурилма, асбоб-ускуналар ва анжомлар: Токарлик винтқирқиш дастгоҳи, учки қисмида шарик ёки ролик бўлган асбоб, лупа, штангенциркул, пўлат ёки бошқа рангли метал, мой.

НАЗАРИЙ МАЪЛУМОТ.

Материалнинг деформацион пухталанишга мойиллиги кўпгина факторларга боғлиқ, асосан, кристалл панжара турига, структура, легирловчи элементлар ва қўшимчалар контсентрациясига, шунингдек деформатсиялашда полиморф ўзгаришга мойиллигига ҳам боғлиқ. Шунда ГЦК кристалл панжарага эга кристаллографик структура ГЦУ га қараганда кўп сирпанувчи текисликларга эга бўлиши мумкин, ГЦУ фақат битта сирпанувчи текисликка эга, ОЦК кристалл панжарага эга бўлган металлар кўп миқдордаги сирпанувчи системаларга эга бўлади. Сирпаниш системалари қанчалик кўп бўлса, материалнинг деформацион пухталанишга бўлган мойиллиги шунча юқори бўлади.

Деформацион пухталанишнинг миқдорий технологик характеристикаларидан бири пухталаниш даражаси (деформациялашда қаттиқликни нисбатан ортиши) ҳисобланади ва у қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\psi = \frac{\Delta HV}{HV} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

бу ерда ΔHV - деформациялашда қаттиқликни ортиши; HV - дастлабки ҳолатдаги қаттиқлик.

Пухталаниш даражаси қанчалик юқори бўлса, пўлат шунчалик юмшоқ бўлади. Шунда тобланмаган пўлатнинг юзасини деформациялаш унинг қаттиқлигини 100 % дан ортиққа ошириши мумкин, тобланганда эса фақатгина 10...15 % га ортиши мумкин. Қаттиқликни ошириши пўлатнинг деформацияланадиган структурага эгаллигига боғлиқ. Энг юқори деформацион пухталанишга мойиллик феррит структуралар учун, энг кичиги эса перлит ва сорбит структуралар учун хосдир. Аустенит деформацияланганда у қисман мартенситга айланади, бу эса қаттиқликни оширади. Мартенситнинг деформацион пухталаниши дислокация зичлигининг ортиши, қолдиқ аустенитнинг мартенситга айланиши ва юқори дисперс карбид заррачаларнинг ажралиб чиқиши билан боғлиқдир. 3.3- расмда углеродли ва легирланган пўлатларнинг турли хил структуравий ҳолатда пластик деформациялангандаги қаттиқлигининг нисбатан ортиши кўрсатилган.

Пластик деформация натижасида структуранинг ўзгариши ва ички ютилган энергия структурага боғлиқ бўлган механик ва физик хоссаларни кескин ўзгартиради. Айниқса пухталиқ билан боғлиқлари кучли ўсади ва пўлат қотишмаларнинг пластиклик хоссалари пасаяди. ГЦК кристалл панжарага эга бўлган қотишмалар ОЦК панжарага эга бўлганларига нисбатан бир неча баробар интенсив пухталанади. Пластик деформация электр қаршилиқни оширади, коэрситив кучни пасайтиради, шунингдек материал зичлигини камайтиради.

Деформацион пухталанган металлнинг ҳолати термодинамик барқарор эмас, ва уни қиздириш жараёнида унда унинг эркин энергияси ўзгаришига сабаб бўладиган жараёнлар содир бўлади. Бу жараёнлар уларнинг активлаштирувчи энергия ўсиши бўйича ривожланади ва қуйидаги тартибда:

- Нуктали нуксонлар ва уларнинг оқимини дислокациялар ва вакансияларни тугунлар орасидаги атомлар билан боқловчи чегаралар диффузияланиши, кристалл панжарада нуктали нуксонлардан иборат гуруқларнинг ҳосил бўлиши;
 - Дислокацияларнинг оддий ва кўндаланг сирпаниши билан тарқалиши, бу эса қарама-қарши дислокация қисмларининг бузилиши ва дислокацион сиртмоқларнинг торайиши билан боради;
 - Дислокацияларни сирқаниши орқали қайта тақсимланиши, бу эса дислокациялар силжишини дислокациялар деворининг бузилиши ёки сочилиши билан бирикишига ва уларнинг кристаллографик ориентрланишига сабаб бўлади;
 - Кичик бурчакли чегараларнинг ҳосил бўлиши;
 - Кичик бурчакли ва доналар орасидаги чегараларнинг деформацияланган матритсага нуксонларни ютиш билан кўчиши;
 - Қайта кристалланган доналарни бўлувчи ва сўнгиларини йириклаштирувчи катта бурчакли чегараларнинг кўчиши.

Материалга, деформация ва қиздириш босқичларига боғлиқ ҳолда ҳамма кўрсатилган жараёнлар навбати билан содир бўлиши ёки бирданига содир бўлиши мумкин. Ички захира энергиясининг иссиқлик кўринишида ажралиши билан кечадиган деформацияланган металл структурасидаги катта ўзгаришлар кристалл панжарада ва дислокацияда нуктали нуксонларнинг йўқолиши ва қайта тақсимланиши билан боғлиқ.

Юзани пластик деформациялаш усулларидаги фарқалар ва хилма-хилликка қарамасдан уларнинг ҳаммасини 4 та гуруҳга бўлишимиз мумкин ва бу гуруҳлар 3.3-жадвалда келтирилган.

1. Юзани пуансон билан статик деформациялаш - зарб билан пресшлаш, штамплаш ва бошқалар. Бундай ишлов беришнинг характерли хусусияти ён юзаси силлиқ ёки фигурали пуансон билан юзани деформациялаш ҳисобланади. Бунда юзадаги микро нотекиликлар асосий нормал кучлар ҳисобига деформацияланади.

2. Юзани (микро нотекиликлар) асбобни ўқ (тешикларни шлифлаш, кирялаш, ва бошқалар) бўйлаб ва кўндаланг бўйлаб ўзгартириш орқали деформациялаш. Бундай операцияларда шунингдек юза қатлам деформацияланаётганда нормал кучлар билан биргаликда ишқаланиш кучлари ҳам ҳосил бўлиб, улар асбобни жойини ўзгартириш вақтида ҳосил бўлади.

3. Юзани ролик ёки шар (юмалаб ишқаланиш ҳисобига деформацияланиш) билан чиниқтириш. Бу гурукга деталларни ролик, шар билан ишлов бериш, думалатиб ишлов бериш каби усуллар киради. Ролик ёки шарик ишлов берилаётган деталга текканда сиқувчи кучланиш ҳосил бўлади, бунинг натижасида металл пласти деформацияланади, бу эса унинг шаклини деформациялаётган асбоб шаклига киришига ундайди. Бунда юзадаги нотекиликлар текисланади. Шарик билан деформациялаётганда зарурий пухталаниш ва юзанинг текисланишига нормал кучлари қиймати кичик бўлганда эришилади.

4. Юзанинг динамик пухталаниши (зарралар оқими билан ишлов бериш, шарлар билан пухталаш, юзани зарб билан ишлаш, ротацион сиқиш ва бошқалар). Бундай ҳолатда юза қатламининг пухталаниш даражаси ва унинг қаттиқлиги бир-бирига тегувчи жисмларнинг массаси, уларнинг ҳаракатланиш тезлиги ва бошқа асбобнинг (шарик, заррачалар, урилувчи ва бошқалар) ишлов берилаётган юзага урилиш энергиясини аниқлаб берувчи факторларга боғлиқ.

Пухталанишни ўтказишдан асосий мақсад бу юза қатламининг толиқишга бўлган ҳаршилигини ва қаттиқлигини ортириш ва уларда ички йўналган кучланишларни ҳосил қилиш, асосан сиқувчи кучланишларни, яна шунингдек юзадаги нотекиликларнинг тартибланишини ҳам оширишдир. Пластик деформациялаш орқали юзани самарали пухталаш асосан машина деталларига ишлов беришнинг сўнги технологик босқичлари бўлган тик билан кесиш ёки абразив асбоб билан ишлов бериш босқичлари ўрнига сўнги технологик босқич сифатида қўлланилади. Унча қаттиқ бўлмаган деталларга ишлов беришда юзани динамик ишлов бериш усули орқали пластик деформациялаш самаралидир, бунда зарб билан таъсир қилувчи асбоблар, ултратовушли ёки импульсли чиниқтиришдан фойдаланилади.

ЮПД усулларининг классифика цияси	Жараённинг характеристикалари	Ишлов берилган юзанинг сифати		Қўлланиладиган методлар
		Ишлов бериш аниқлиги даражаси	Юза ғадир- будурлиги, Ra , мкм	
1	Юзани статик деформациялаш (пуансон билан)	7...8	1,25...0,32	Зарб билан сиқиш, штампллаш
2	Юзани (микро нотекисликлар) асбобни ўқ бўйлаб ва кўндаланг бўйлаб ўзгартириш орқали деформациялаш	6...7	0,63...0,08	Цилиндрсимон ва шаклли тешикларни сайқаллаш, цилиндрсимон ва шаклли профилларни кир्याлаш ва бошқалар.
3	Юзани ролик орқали чиниқтириш (думалаб ишқаланиш ҳисобига деформацияланиш) Юзанинг динамик пухталаниши			Ташқи ёки ички юзаларни шариклар ёки роликлар орқали чиниқтириш, роликлар орасида чиниқтириш, резбалар, тишли қилдираклар ва бошқаларга думалатиб ишлов бериш ва калибрлаш. Шариклар билан пухталаш, юзани зарб билан сиқиш, ротацион сиқиш.

			Заррачалар оқими билан ишлов бериш.
--	--	--	-------------------------------------

Ишлов берилаётган материал юзасининг қаттиқлиги ва пластик деформациялаш чуқурлиги пухталаш босқичлари, материалнинг физик-механик хоссалари, структураси ва кимёвий таркибига боғлиқ. Юза қаттиқлигига энг катта таъсирни ишлов берилаётган материал билан контактда бўлишида асбобнинг нисбий босими кўрсатади. Нисбий босим чиниқтириш ёки текислашни кучайиши, деформацияланаётган элемент ёки детал геометрияси, ишлов берилаётган материалнинг физик-механик хоссаларига кўра аниқланади. Чиниқтириш ва сайқаллашда дастлабки нисбий босимни Бринелл (қБ) бўйича қаттиқликка тенг деб қабул қилиш мумкин.

Чиниқтириш ва думалатиб ишлов бериш роликлар ёки шариклар ёрдамида амалга оширилади, бунда юмалаб ишқаланиш ва ишлов берилаётган детал юзасида босим хосил бўлади. Чиниқтириш асосан ташқи юзаларга ишлов беришда қўлланилса, думалатиб ишлов бериш эса ички юзаларга қўлланилади. Деформацияловчи инструмент ва детал ўртасидаги контакт зонадаги кучланишнинг бирор қийматида кучланишнинг интенсивлиги оқувчанлик чегарасини оширади, бунинг натижасида юзадаги нотекисликлар пластик деформацияланади, яна шунингдек юза қатламнинг структураси ва физик-механик хоссалари ўзгаради. Деталларни ҳажмий деформацияланиши унча сезиларли эмас.

Деформацияловчи элементлар ва деталларнинг илгариланма ва айланма ҳаракатларининг комбинацияси цилиндрик, ясси ва шаклланган юзаларни пухталаш имконини беради. 3.4-расмда чиниқтиришнинг асосий технологик схемалари келтирилган, булар стандарт металл кесувчи дастгоҳларда осон амалга оширилади.

Роликлар легирланган пўлатлар (ШХ15, ХВГ, 9ХС, 9Х), углеродли асбобсозлик пўлатлари (У10А, У12А), тезкесар пўлатлар (Р6М5, Р9К5) ва қаттиқ қотишмалар ВК8 дан тайёрланади.

Чиниқтириш ва думалатиб ишлов бериш босқичлари шундай танланадики, юзанинг берилган сифат параметрларига битта уринишда эришилсин, чунки қайта уринишлар юза қатламининг қўшимча деформацияланишига ва бу эса юза қатламнинг емирилишига сабаб бўлиши мумкин.

Тезлик ишлов бериш сифатига сезиларли таъсир қилмайди ва талаб қилинадиган самарадорликка, мавжуд қурилмалар ва деталларнинг конструкцион хусусиятларига кўра танланади. Кўпинча тезлик $V=30\dots150$ м/мин ни ташкил этади. Чиниқтириш кучи ишлов беришдан кўзланган асосий мақсад ва пухталанаётган қатлам чуқурлигига боғлиқ. Пухталанган деталнинг максимал чидамлилигини таъминлаб берадиган оптимал куч қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$P_{\sigma} = 10 \cdot \left(50 + \frac{D_{\sigma}^2}{6} \right) \quad (2.2)$$

бу ерда D_{σ} -деталнинг пухталанаётган юзаси диаметри.

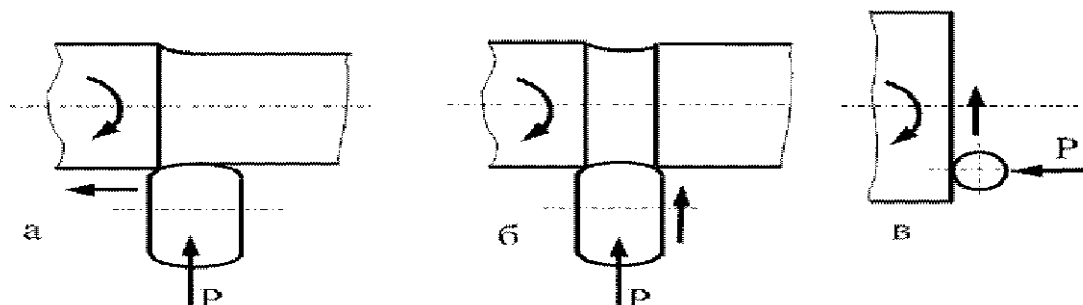
h_H чуқурликдаги пухталанган қатлам ҳосил бўлишини таъминловчи куч қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$P_H = 2h_H^2 \sigma_m m^2 \quad (2.3)$$

бу ерда σ_T - детал материалнинг оқувчанлик чегараси; m - тўқриловчи коэффитсиент, бу коэффицент контактлашувчи юзаларнинг нотекистикларини ҳисобга олади,

$$m = 1 + 0,07 \left(\frac{1}{\frac{1}{\rho_p} + \frac{2}{D} + \frac{1}{R_{\sigma}} - \frac{1}{R}} \right) \quad (2.4)$$

бу ерда ρ_p -ролик профилининг радиуси; R_{σ} -ўқ кесими бўйлаб детал радиуси; R - контакт ҳудудида детал профилининг радиуси (цилиндрик юзалар учун $P=\infty$); D - ўқ кесим бўйлаб ролик диаметри.



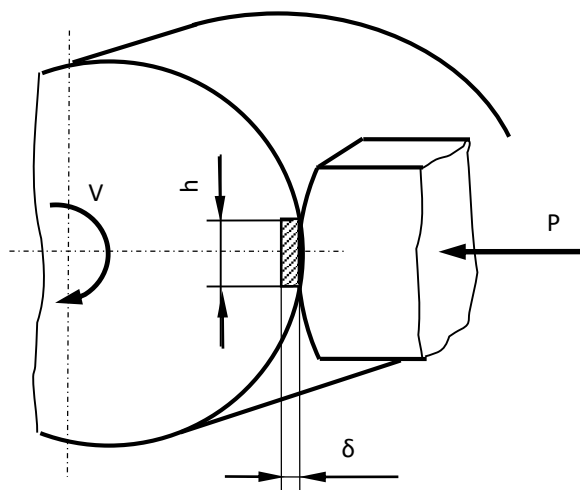
2.1-расм. Чиниқтиришнинг асосий технологик схемалари: а- бўйлама сурилувчи ролик; б- кўндаланг сурилувчи ролик; в- ён юза шарлари; г- шлицлар

2-амалий машғулот: Махаллий пластик деформациялаш усули ёрдамида ишлов бериш. Электромеханик пухталаниш.

Контактлашувнинг актив зонасида ютиладиган иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидаги формула билан аниқланади:

$$Q_m = (PVf + \eta UI) \cdot k\mu \quad (3.2)$$

бу ерда μ - иссиқликнинг тарқалиш коэффициентини, деталга олиб кетиладиган иссиқлик оқимининг улушини ҳисобга оладиган; k - контактлашувнинг актив зонасида ютиладиган иссиқлик оқимини ҳисобга олувчи коэффициент.



3.2-расм. Контактнинг актив зонасининг схематик кўриниши
Иссиқликнинг контактлашувчи жисмлар ўртасида тарқалиши коэффициенти μ қуйидаги боғланиш билан ифодаланади:

$$\mu = \frac{\lambda_d \sqrt{a_d}}{\lambda_d \sqrt{a_d} + \lambda_n \sqrt{a_n}} \quad (3.3)$$

бу ерда λ_d ва λ_n - ҳарорат ўтказувчанлик коэффициентлари; λ_d ва λ_n - мос равишда детал ва асбоб иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари;

Электромеханик ишлов беришнинг турли босқичлари учун k коэффициентни экспериментал аниқлаш шуни кўрсатдики, у қуйидаги чегараларда бўлади $k=0,23 \dots 0,26$.

Контактлашувнинг актив зонасида ютилган иссиқлик оқими унинг температурасини оширади, шу сабабли иссиқлик мувозанатидан чиқишни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$(PVf + \eta UI) \cdot k\mu = \frac{hb\delta\gamma \cdot cT}{t} \quad (3.4)$$

бу ерда γ - детал материалнинг зичлиги; b - солиштира иссиқлик сиқими; T - контактлашувнинг актив зонасидаги қиздириш температураси; t - пухталовчи асбобнинг детал билан таъсирлашув вақти; δ - контактлашув узунлиги.

Актив зона чегараларида контактлашув жараёнини давомийлиги куйидагича аниқланади:

$$t = \frac{h}{V} \quad (3.5)$$

(2.30) ва (2.29) ларни ҳисобга олган ҳолда куйидагини оламиз:

$$\delta = \frac{\mu k(PVf + \eta UI)}{bc\gamma NT} \quad (3.6)$$

δ катталик пухталанган қатлам қалинлигига богълик, киздириш температураси эса юқори зичликка эга бўлган дислокатсияли структура ўсиши учун оптимал ҳарорат босқичларини таъминловчи вазиятлардан танланади. киздириш температураси қайта кристалланиш температурасини оширмаслиги керак. Нормал босим кучи куйидаги ифодадан аниқланади:

$$P = hb\sigma_s \quad (3.7)$$

бу ерда σ_s - материалнинг пласти деформацияга қаршилик кўрсатиши.

Амалий ҳисоблашлар учун материалнинг пластик деформацияга қаршилик кўрсатишидан экспериментал маълумотларни аппроксимация қилиш орқали олинган аналитик богъланишларда фойдаланиш мумкин. Анча кенг тарқалган богъланиш бу Андреева-Тюленева богъланишидир:

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

бу ерда σ_0 - $\xi=1$, $\varepsilon=0,1$ ва $T=1000^0$ бўлганда асосий деформацияга қаршилик кўрсатиш; ξ -пластик деформация тезлиги; ε -пластик деформация даражаси; к, а, б, -эмпирик коэффициентлар, 3.7- жадвалда айрим пўлатлар учун қийматлари берилган.

Пухталовчи чиниқтириш ёки шар билан сайқаллашдаги пластик деформацияланиш даражаси куйидаги формула билан аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{d}{D} \quad (3.9)$$

бу ерда D- сиқилувчи шарнинг диаметри; d- пухталанувчи юзадаги чуқурча диаметри.

Мураккаб шаклли пухталовчи элементда пласти деформацияланиш даражаси куйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$\varepsilon = \frac{1}{R_{pr}} \sqrt{\frac{F_0}{\pi}} \quad (3.10)$$

бу ерда F_0 -из юзаси; $R_{пр}$ -пухталовчи элементнинг келтирилган эгрилик радиуси.

Келтирилган радиус қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$\frac{1}{R_{pr}} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_n} - \frac{1}{R_o} \quad (3.11)$$

бу ерда - R_p пухталовчи элемент кўндаланг эгрилик радиуси; R_n - пухталовчи элемент профилининг эгрилик R_d радиуси; R_o - детал радиуси.

Пластик деформация тезлиги қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$\xi = \frac{V}{h} \varepsilon \quad (3.12)$$

3.1-жадвал

Андреева-Тюленева формуласи учун ҳисоблаш коэффициенти

Po'lat markasi	k	σ_o , MPa	a	b	c
1. EP487	0,839	491	0,132	0,06	-5,47
2. ХН75МВТУО	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 спп	0,960	99,7	0,124	0,167	-2,54
12. 3 кр	0,885	77,9	0,135	0,164	-2,80
13. 35GC	0,975	89,6	0,136	0,187	-2,79
14. пўлат 5	0,917	89,5	0,144	0,208	-3,35
15. пўлат 45	1,0	87,4	0,143	0,173	-3,05
16. пўлат 65G	1,007	72,7	0,166	0,222	-3,02
	0,948	78,3	0,159	0,197	-2,87
	1,057	70,0	0,173	0,180	-3,26
	0,945	48,1	0,198	0,074	-3,85
	1,01	79,6	0,137	0,22	-4,07
	0,975	87,5	0,130	0,170	-3,62

17.	U7A				
18.	U12A				
19.	33A				
20.	SHX15				
21.	40X				

Электрмеханик пухталашда ишлов бериш тезлиги ишлов берилаётган материалга боғлиқ ҳолда $V=10\dots 60$ м/мин чегарада олинади.

Бўйлама узатиш С пухталовчи асбоб (индентор) ишчи юзасининг кенглиги б га боғлиқ бўлиб, қопланиш коэффициентни ҳисобга олган ҳолда ҳисобланади, қопланиш коэффициент эса қуйидаги формула билан аниқланади:

$$k_p = \frac{b}{S} > 1,0 \quad (3.13)$$

Электромеханик ишлов беришдан сўнг юзанинг пухталаниш даражаси структуранинг дастлабки ҳолати, электр қиздириш босқичларига, сирпаниш тезлигига (ёки чиниқтириш) ва контактлашувдаги босимга боғлиқ.

Материалнинг дастлабки структураси ва кимёвий таркиби юза пухталанишини таъминлашда муҳим рол ўйнайди. Дисперстик даражаси ва кимёвий таркиб электр ўтказувчанлик, иссиқлик сиқими, иссиқликдан кенгайиш коэффициент ва материалнинг бошқа физик-механик ва теплофизик хоссаларига таъсир қилади. Бу эса ўз навбатида қиздириш ва совутиш тезлиги даражасини, температуре градиент, термик ва қолдиқ кучланишлар қийматини, шунингдек диффузион жараёнларнинг активлигини таъминлаб беради. Жуда дисперс структурага эга бўлган металлларнинг электр ва иссиқлик ўтказувчанлиги паст бўлади. Шу билан бирга бундай структурали металл катта иссиқлик сиқимига эга ва микрizonaлардаги термик кучланишларга сабаб бўла олади. Катта сиқиш куч оқимларида доналар чегараларида ёки қовакларда юқори температуре хосил бўлади. Бу ҳолат деталларни метал билан тўлдириш ва металланиш орқали қайта тикланганда хосил бўладиган юза қатламларига ишлов беришда муҳим аҳамият касб этади, бундай қатламлар кўп қоваклик ва кристалл тузилишдаги ҳажмий нуқсонларга эга бўлади. Жуда юқори электр қаршилиққа эга бўлган микроструктура юқори температураларда ток зичлигининг ўзгармаслигини таъминлайди. Бундай ҳолатда электрмеханик ишлов бериш тобланган структура ва пухталанишни ошириш жиқатидан олганда анча самарали бўлади. Материалнинг кимёвий таркиби фазовий ва структуравий ўзгариш температураларига таъсир қилади, бу эса тобланадиган ва пухталанувчи

структураларни ўсишини ва уларнинг барқарорлигини белгилаб беради. Электрмеханик ишлов беришда совутиш тезлиги иссиқлик ўтказувчанлик жараёнлари орқали аниқланиши ва анъанавий тоблалашдаги совутиш тезлигидан келиб чиқадиган қийматларни қабул қилиши мумкин, бунда ҳосил бўладиган мартенсит структуранинг характерли томони шундаки, унда игнасимон структура бўлмайди.

Таркибдаги углерод миқдорининг 0,6 % гача ошиши электрмеханик ишлов бериш пухталанган юза қатламнинг қаттиқлигини оширади, углерод миқдори яна оширилса, қаттиқлик *HRC 65...67* даги барқарор ҳолатни эгаллайди. Бунда пухталанган қатламнинг қаттиқлиги деярли тобланган структураникидан ошади. Бу актив қаршилиқнинг ортиши, тоблалаш температурасининг пасайиши, анча бир жинсли бўлган аустенит структуранинг механик майдаланиш ва бошқалар ҳисобига ўсиши билан боғлиқ мураккаб жараёнлар орқали тушунтирилади.

Контактлашув босими ортиши билан аустенит доналаридаги мартенсит ниналарининг ўсиши секинлашади, бунда мартенсит марказларининг ҳосил бўлиш тезлиги уларнинг ўсиш тезлиги нисабатан ортади, бу эса ўта майда дисперс структурали микроструктура олиш имконини беради.

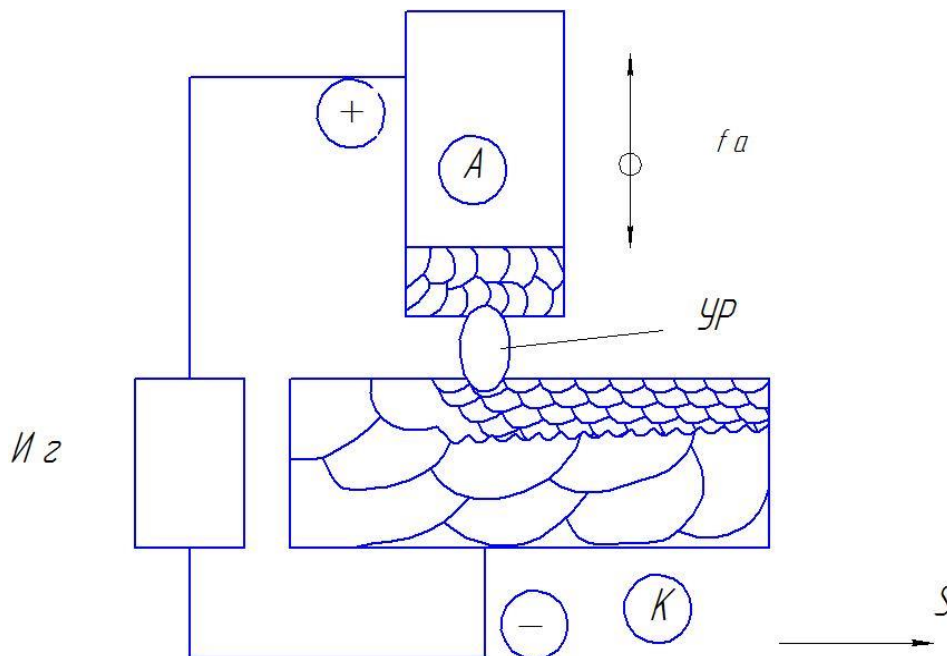
3-амалий машғулот: Электручқунли, лазер нури ёрдамида, детанацион усул билан, плакерлаш билан пухталаш технологиялари

Ишнинг мақсади: Ёйилишга бардош электручқунли қопламаларни қоплаш технологик режимларини ўрганиш, аниқлаш ва ВК, ТК электродлари материали билан оптимал режимларни солиштириш.

Қурилма, асбоб-ускуналар ва анжомлар: Ёйилишга чидамли электручқунли қоплама қоплаш қурилмаси ЭЛФА-548, ВК, ТК электрод материаллар комплекти, аналитик торози.

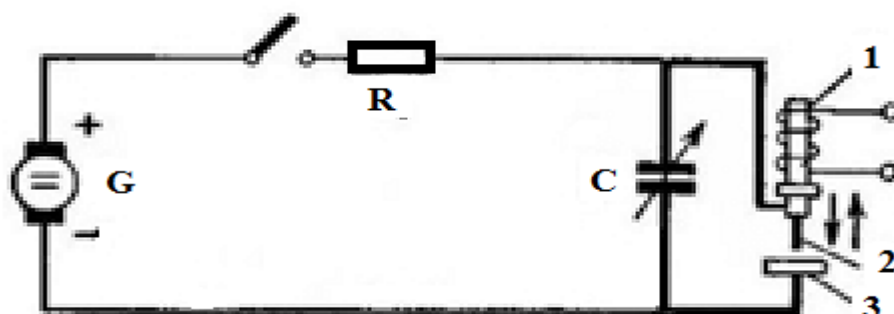
Назарий маълумот.

Электручқунли ёйилишга чидамли қоплама қоплаш Электр эрозия ходисасига асосланган бўлиб, газ мухитида импульсли разряд ҳосил бўлганда анод (асбоб) ва катод (детал) орасида материални қутибли ўтишидир. (рис.4.1). Электручқунли ёйилишга бардош қопламани қоплаш жараёни электр разрядини учқунли формада амалга ошади.



4.1–расм. Электручқунли ишлов бериш жараёни умумий схемаси:

ИГ– импульс генератори, УР– учқун разряди, f_a – электродни вибрация частотаси, С– суриш, А– анод, К– катод.



4.2– расм. Электручқунли ейилишбардош қоплама қоплашнинг принципиал схемаси:

1- Вибратор якори; 2- пухталовчи электрод; 3- пухталанувчи детал; Г- доимий ток манбаи; R- мосланадиган қаршилик; C- конденсатор.

Бир разряддан ўтадиган анод материали миқдори жуда оз. Шунинг учун катод–деталда керакли қалинликдаги ва юзадаги қатлам ҳосил қилишда анод катод билан доимий коммутацияда бўлиши керак. Бу эса анодни катод юзасидан бир неча марта юришини талаб қилади (4.2– расм).

Электручқунли ейилишбардош қопламалрни қоплаш самарадорлиги 0,5 дан 20 см²/мин га тенг. Ҳосил қилинаётган қоплама қалинлиги 0,01 – 0,2 мм оралигида бўлади.

Турли хил материалларнинг мавжудлиги боиси электр учқунли қоплама қоплаш билан деталлар юзаси хоссасини турли механик, термик, электр, термоэмиссион ва бошқа хоссаларга эга бўлган қатлам олиш мумкин.

Электр учқунли қоплама қоплашда нафақат анод ва катод орасида материални ўтиши, айти пайтда локал участкаларда импульс разряди ҳосил қилган юқори босим, ҳарорат, юқори тезликдаги қизиш ва совуш таъсирида микрометаллургик жараёнлар, фаза ва структура ўзгаришлари ҳам содир бўлади.

Разрядни энергетик параметрларни ва уни амалга ошириш шароитини кенг кўламда ўзгартириш билан ейилишбардош қопламаларни физик–кимёвий ва механик, эксплуатацион хоссаларини ҳосил қилиш мумкин.

ВК ва ТК электродлардан электручқунли ейилишбардош қопламалар қоплаш очик ҳавода ЭЛФА –548 саноат қурилмасида амалга оширилади. Асос материали сифатида пўлат 45, У8 материллари ишлатилиб, уларнинг ўлчамлари 20x30x10 мм.

Катодга кўчиб ўтган материал массаси ёки анод эрозияси аналетик торзида (аниқлиги 10^{-4} г) аниқланади. Бунинг учун анод эрозияси ва катод оғирлиги йиғиндилари ($tfma=\Sigma$) ва ($tfmk=\Sigma$) аниқланади. У ўз навбатида андан катодга материал ўтишининг интенсивлиги ва қалинлигини вақт бирлиги ичида ўзгаришини кўрсатади. Шу асосида кесувчи асбобни ёки машина детални электручқунли пухталаш технологик режимлари аниқланади. Бундан ташқари анодни йиғинди ва солиштирма эрозияси, ҳамда катодга массани ўтиши электрод юзасида дефектларни (кучланиш, иккиламчи структура ва фаза таркибини ўзгариши) ўзгариш динамикасини кўрсатади.

ИШНИ БАЖАРИШ ТАРТИБИ.

1. Ўқитувчи ёки лаборат ёрдамида қурилмани тузилиши ва ишлаш принципи, ҳамда техника хавфсизлиги билан танишиш.
2. Ўқитувчи ёки лаборат ёрдамида электручқунли қоплама қоплаш режимларини танлаш.
3. Электродлар ёрдамида аниқланган режимлар асосида қоплама қоплаш ва уни ҳар минутда анод ва катодни аналетик торозида ўлчаб туриш.
4. $tfma=\Sigma$) ва ($tfmk=\Sigma$) боғланишини куриш.
5. Ўтиш коэффициентини импульс энергиясига ва легирлаш вақтига боғлиқлик графигини куриш.
6. Ҳар бир электрод материални электручқунли ейилишбардош қоплама қоплашнинг оптимал режимларини аниқлаш.
7. ВК ва ТК электрод материаллари учун ўтиш коэффициенти $tfma=\Sigma$) ва ($tfmk=\Sigma$) боғланишни солиштириш.

8. Қилинган ишлар бўйича ҳисобот ёзиш.

4- амалий машғулот: Вакуум- плазмали, электрохимёвий қопламалар қопламалар ва ионли имплантациялаш усуллари билан юзаларни пухталаш. Лазерли термопухталаш

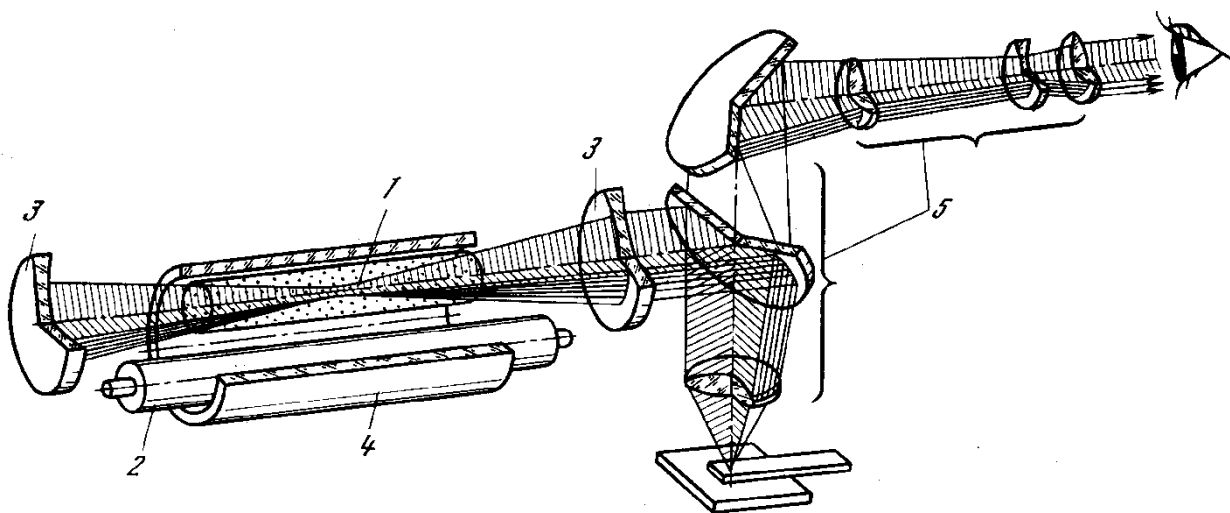
Ишнинг мақсади: Лазер нури ёрдамида юзаларга юпқа қатламли қопламаларни қоплаш технологияси билан танишиш ва детал юза сифатини назорат қилиш.

Лаборатория иши учун зарур асбоб-ускуналар: Қоплама қоплаш лазер қурилмаси КВАНТ-16, кукун материал, лупа.

НАЗАРИЙ МАЪЛУМОТ

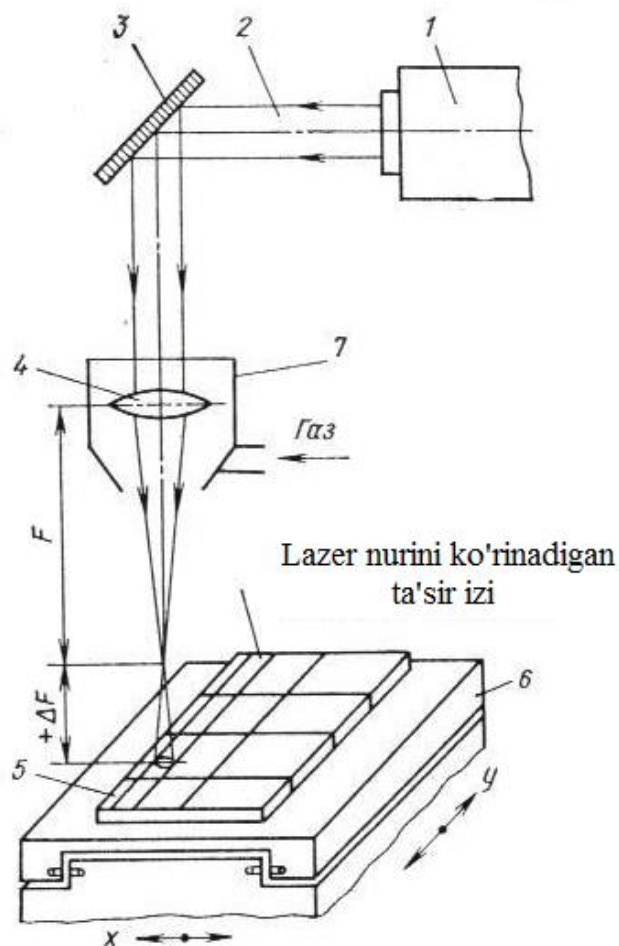
Лазер ёрдамида қоплаш – бу эритиб қоплама қоплаш усули бўлиб, бунда детални қиздириш учун лазер нурланиш энергияси қўлланилади.

Қаттиқ жисмли технологик лазер – бу цилиндрик ўзак шаклидаги рубин кристалл; ялтиратиб кумушланган юзалари оптик нур қайтаргичлар бўлиб ҳисобланади. Ўзакнинг чиқиб турувчи қисми ёруғлик нурлари учун қисман шофоф. Пушти рангли рубин Al_2O_3 , хром атомлари ташкил этади, уларнинг ҳар бири учта энергетик даражаси мавжуд. Нурланувчи трубканинг ксенон лампа чакнашида хром атомлари ёниб юқори энергетик даражаси билан тавсифланади. Тахминан 0,05 микро дақиқадан кейин қизил рангли фотонларни тартибсиз нурлатиб уйғонган атомларнинг бир қисми аввалги



7.1- расм. Лазерли қоплама қоплаш чизмаси:

1 – фаол мухит ўзаги; 2 – дамлаш лампаси; 3 – резонатор кўзгулари; 4 – ёритгичнинг кўзгули цилиндри; 5 – пайвандланаётган деталнинг фокуслаш тизими ва пайвандлаш жараёнини назорат қилиш.



7.2- расм. Лазерли қоплама қоплаш схемаси.

энергетик ҳолатига қайтади. Кристалл бўйлаб нурлаётган бу фотонларнинг айрим қисмлари, янги фотонларни нурланишини кўзғатади. Бошқа йўналиш бўйлаб тушаётган фотонлар ён текисликлар орқали кристаллни тарқ этади. Қизил фотонлар оқими кристалл ўзаги бўйлаб ошиб боради. Улар навбатма навбат шишали ён томонлар чегарасида акс этади, токи уларнинг тезлиги кристаллнинг ярим шафоф ён текислиги чегарасидан ўтиб ташқарига чиқишга етарли бўлмаганча. Натижада кристаллнинг чиқиш томонидан когерент монохроматик нурланиш кўринишида қизил ёруғлик оқими нурланади.

ИШНИ БАЖАРИШ ТАРТИБИ

1. Ўқитувчи ёки лаборант ёрдами билан лаборатория қурилмасида ва техника хавсизлиги қоидалари билан танишиш.
2. Ўқитувчи ёки лаборант ёрдами билан лазер пухталаш қурилмасининг режимларини ўрнатиш.
3. Ўрнатилган режимларда детал сиртига лазер нури ёрдамида ишлов бериш.
4. Ишлов берилган юзани микроскопда назорат қилиш.

5. Қопланган юзанинг қаттиқлигини қаттиқлик ўлчаш асбобида ўлчаш.

6. Қилинган иш бўйича ҳисобот ёзиш.

Вакуумда пухталаш технологияси

Ишдан мақсад: Вакуум қурилмаси ишлаш принципи билан танишиш ва унда қоплама қоплаш усули билан танишиш.

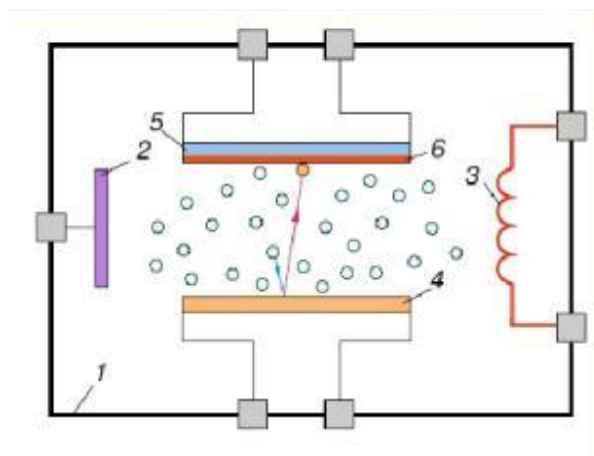
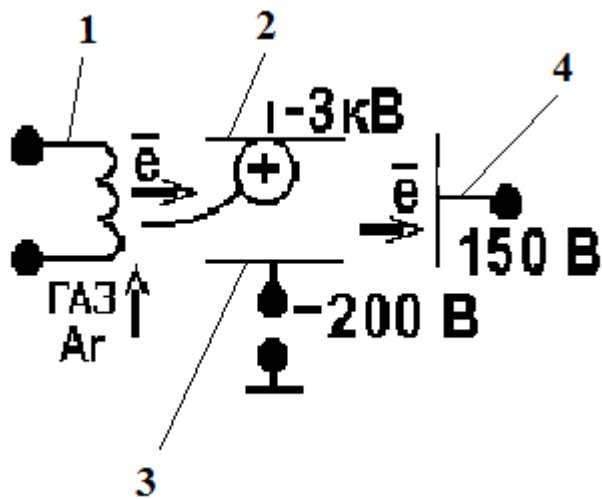
Иш бўйича керакли жихозлар ва приборлар: Вакуум қурилмаси, аргон газы, пуркаш материали.

Хавфсизлик техникаси: Ишни бажариш мобайнида умумий техника хавфсизлиги қоидаларига амал қилиш талаб этилади

Назарий маълумотлар

Ион-плазма бузадиган амаллар материаллари (ва шунга мос равишда бузадиган амаллар) кенг электрон қурилмалар ишлаб чиқаришда ишлатилади. Плазма мақсадни бомбардимон қиладиган ионлар манбаи сифатида ишлатилади. Бир қатор электрофизик ускуналарда материалларни қайта ишлаш 0,5 дан 10 кВгача бўлган кучланиш ва бир неча ампергача бўлган оқимдаги вакуум камерасида ёниб турган нурли оқим плазмаси ёрдамида амалга оширилади. Пуркаладиган материаллар (мишень) салбий салоҳият остида бўлиши муҳим, бу эса сиртни ионлар билан бомбардимон қилиш имконини беради. Инерт газлар (кўпинча аргон) ишлайдиган газлар сифатида ишлатилади. Ион билан ишлов бериш яхши сифат кўрсаткичларига эга, аммо барча газ тушириш тизимларига хос хусусиятларга эга.

Кўпчилик газни тўкиш пуркаш тизимлари 1-10 Па босимида ишлайди. Бундай юқори босимда пуркаш жараёни этарли даражада самарали эмас. Юқори босимда ионлар газга кучли тарқалади. Бунга кўшимча равишда, молекулаларнинг паст диапозони ва ёқларнинг полимеризатсияси туфайли пуркаш қоплама материалдан фойдаланиш мумкин эмас. Буларнинг барчаси газ босимини пасайтириш зарурлигига олиб келади. Чиқарилиш паст босимда чиқмаслиги учун газ ионланишининг самарадорлигини ошириш учун кўшимча электрон манбага эга бўлиш керак. Шаклда 10.1 - электронни чиқариш учун термал катод билан ион-плазма тупуриш диаграммаси.



10.1-расм. Электронни чиқариши учун термал катод билан ион-плазма пуркаш схемаси.

Система термокатод 1, нишондан 2, асос 3, анод 4 дан иборат. Системада 10^{-2} Па босим ҳосил қилишда унга инерт газни (кўпроқ аргон) киритилади. Тизимда катод ва анод кучланишига иссиқлик кучланиши қўлланилганда оқим пайдо бўлади. (Тизим радиолампа сифатида ишлайди). Электронлар газни ионлаштиради ва газ ионларини ишлаб чиқаради. Мақсад 2 учун кучланиш қўлланилганда, ионлар мақсадни бомбардимон қилиб, ундан материални уришади. Материаллар 3 субстратига пўскўртўлўр. Субстрат устида филм газ миқдорини камайтириш учун кичик салоҳияти (200 В) озикланади. 10 кВ гача бўлган тезлашув кучланишлари билан nm / min даги в тезлиги қуйидаги формула бўйича ҳисобланади:

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

где: J - плотность тока (A/m^2), N -число Авогадро $N=6 \cdot 10^{23}$, ρ - плотность материала kg/m^3 .

Тизимнинг муҳим кўрсаткичи унинг газ тежамкорлиги ҳисобланади, чунки тизим элементларидан чиқарилган барча газ ва газ вакуум насослари билан

помпаланиши керак. N газ иқтисодиёти N^+ ионларининг n газ атомларининг умумий сонига нисбати.

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

Оддий шароитларда газ атомларининг сони $2,6 \cdot 10^{19}$ $1/\text{см}^3$ ни ташкил қилади.

Ион-плазма билан пуркаш пайтида ионланиш коэффициенти 10% га етиши мумкин.

Тадқиқот қисми

Тажрибалар одатдаги вакуумли УВМ типдаги қурилмаларда олиб борилади. Таркибий жиҳатдан тизим паст катодда жойлашган бўлиб, бу элементларнинг совишини осонлаштиради ва катоднинг ўзгаришини соддалаштиради. Электродларнинг ўзаро жойлашуви тизимнинг жорий кучланиш хусусиятларига катта таъсир қилади, натижада ўрнатиш электродларни ҳаракатлантириш имкониятини таъминлайди. Қурилманинг жорий кучланиш характеристикалари юқори кучланишли нурланиш зарядига асосланган манбанинг жорий кучланиш хусусиятларидан сифат жиҳатидан фарқ қилмайди.

Ҳисобот мазмуни

1. Вакуумни ўрнатиш схемасини беринг. Қарама-қарши босим сезгичлари ва вакуум насослари уларнинг ишлаш доирасини кўрсатади.
2. Ион-плазма қопламасининг афзалликлари ва камчиликларини айтиб беринг.
3. Ион-плазма билан қоплаш мосламасининг электр таъминотининг схемаси билан битта диаграммасини келтиринг.
4. Нишоннинг темирдан уриш тезлигини ҳисобланг.
5. Камерадаги газ миқдорини камайтириш учун ион-плазма пуркаш схемасини беринг.
6. Анодда 150 В кучланишда, $3/2$ даражадаги қонунга асосланиб, катод ва анод орасидаги бўшлиқнинг оқим-кучланиш характеристикасини ҳисобланг.
7. Ионларни тупуриш механизмларининг расмларини беринг.
8. 1 А зарядсизланиш оқимида ва газ оқими тезлиги 10^{-4} торр / с га тенг бўлган газ самарадорлигини (%) ҳисобланг.
9. Газ босимининг 1 учун мўлжалланган кучланишига нисбатан мақсадли токнинг бир нечта юқори сифатли ток кучланиш характеристикаларини беринг; 0,1; 0,01 Па.
10. Тажрибада ишлатилганлардан ташқари газ ионланишининг мумкин бўлган усулларини кўрсатинг.

VII. КЕЙСЛАР БАНКИ

“Кейс-стади” методи

«Кейс-стади» - инглизча сўз бўлиб, («case» – аниқ вазият, ҳодиса, «stadi» – ўрганмоқ, таҳлил қилмоқ) аниқ вазиятларни ўрганиш, таҳлил қилиш асосида ўқитишни амалга оширишга қаратилган метод ҳисобланади. Мазкур метод дастлаб 1921 йил Гарвард университетида амалий вазиятлардан иқтисодий бошқарув фанларини ўрганишда фойдаланиш тартибида қўлланилган. Кейсда очик ахборотлардан ёки аниқ воқеа-ҳодисадан вазият сифатида таҳлил учун фойдаланиш мумкин. Кейс ҳаракатлари ўз ичига қуйидагиларни қамраб олади: Ким (Who), Қачон (When), Қерда (Where), Нима учун (Why), Қандай/ Қанақа (How), Нима-натижа (What).

1-КЕЙС: Вазиятли масалалар!

1-ВАЗИЯТ

“Материалшунослик ва янги материаллар технологияси” йўналиши тингловчилари учун металларга ишлов берувчи асбобларга ҳар томонлама оптимал қаттиқ қотишмалар маркасини танлашда кўп ҳолларда юзаки таҳлиллар орқали хатоликларга йўл қўядилар. Лекин буни маълумотнома ва ҳозирги ишлаб чиқаришни талаблари орқали қиёслаб, солиштирганда тўғри чиқади.

Муаммоли вазият: Нима учун тингловчилари оптимал қаттиқ қотишмалар маркасини танлашда кўп хатоликларга йўл қўядилар?

2-ВАЗИЯТ

Ҳозирги вақтда барча Қуйма биметалл композицион материалларга юқори талаблар қўйилаётган вақтида, айниқса қишлоқ хўжалигида ерга ишлов берувчи асбоблар учун материаллар танлашда ишлаб чиқарувчилар ўзлари имкониятларидан келиб чиқиб, турли материалларни танлайдилар. Лекин фермерлар бу ерга ишлов берувчи асбобларни сотиб олганларидан кейин жуда кўп ҳолларда ушбу асбоблар узоқ муддат ишламайдилар. Натижада яна бошқа маблағ сарфлайдилар. Нима сабабдан фермерлар оптимал материал таркибларидан иборат ерга ишлов берувчи асбобни тўғри танлай олмайдилар?

Тингловчилардан қуйидагилар талаб қилинади?

1. Сабаб вариантларни келтириш.
2. Вазиятни ечмларини келтириш.
3. Нима сабабдан шундай ҳолатлар бўлишини изоҳлаш.

VIII. ГЛОССАРИЙ

(маъруза матнида учрайдиган асосий тушунчаларнинг ўзбек ва инглиз тилларидаги шарҳи)

Термин	Ўзбек тилидаги шарҳи	Инглиз тилидаги шарҳи
Ликвидус	Ликвидус чизиғидан юқорида қотишма буткул суюқ ҳолатда бўлади.	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.
Феррит	Углероднинг α - темирга сингдирилган каттик эритмаси	Ceramic oxide materials composed of both divalent and trivalent cations (e.g., Fe_2 and Fe_3), some of which are ferrimagnetic.
Аустенит	Углероднинг γ – темирга сингдирилган каттик эритмаси	Face-centered cubic iron; also iron and steel alloys that have the FCC crystal structure.
Перлит	Таркибида 0,8 % углерод мавжуд бўлган феррит ва цементитнинг механик аралашмаси	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.
Мартенсит	Углероднинг α - темирдаги ўта тўйинган сингдирилган каттик эритмаси	A metastable iron phase supersaturated in carbon that is the product of a diffusionless (athermal) transformation from austenite.
Амморф структура	Аниқ элементга тўғри келадиган атомларнинг фазода нотўғри тартибсиз жойлашуви	Having a noncrystalline structure.
Антифрикцион графит	Жуда кичикишқаланиш коэффициентига эга бўлган графит	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.

Аллотропия, полиформизм	Металларда температура таъсирида кристалл панжарасининг ўзгариши	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
Изотропия	Хоссаларнинг ҳар хил юналишда бир хиллиги	Having identical values of a property in all crystallographic directions.
Анизотропия	Хоссаларнинг турли йўналишларда бир хил эмаслиги	Exhibiting different values of a property in different crystallographic directions.
Адгезия	Юзалари тегиб турган турли жисмларнинг ўзаро бирикиб қолиши	substance that bonds together the surfaces of two other materials (termed adherends).
Вакансия	Одатда кристалл панжарадан атом ёки ион чикиб кетган жой.	A normally occupied lattice site from which an atom or ion is missing.
Дислокация	Металлнинг атомлар силжиган (сирпанган) соҳаси билан силжимаган соҳаси орасидаги чегара	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.
Винтсимон дислокация	Параллель текисликлар бир бирига нисбатан спираль ҳосил қилиб силжиши натижасидаги кристаллларнинг чизикли нуқсонлари	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.
Диффузия	Тўйинтирувчи элементларни детал сиртидан ичкарига кириши	Mass transport by atomic motion.
“Наноматериал”	Элементларни шу ўлчамли заррачалари асосида олинган материал	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.
Бронза	Таркибини асосан мис ва қалай ташкил этган қотишма; бронзалар таркибида алюминий кремний, никель ва ҳ.к. бўлиши мумкин.	A copper-rich copper-tin alloy; aluminum, silicon, and nickel bronzes are also possible.
Диэлектрик	Электризацияловчи материаллар гуруҳига тегишли ҳар қандай модда.	Any material that is electrically insulating.
Валентли электронлар	Атомлар аро боғланишларни ҳосил қилишда иштирок этадиган юқори энергияли электронлар	The electrons in the outermost occupied electron shell, which participate in interatomic bonding
Деформацион пухталаниш	Рекристалланиш ҳароратидан паст ҳароратда пластик деформациялаш натижасида юмшоқ материалларни мустаҳкамлиги ва бикрлигини ошириш	The quantity of mass diffusing through and perpendicular to a unit cross-sectional area of material per unit time.
Дифракция (рентген нурлари)	Кристалл атомларини рентген нурлари оқимини интерференцияси	Constructive interference of x-ray beams scattered by atoms of a crystal.
Антикоррози он қоплама	буюмларни ташқи муҳитнинг зарарли таъсиридан ҳимоялаш ва кўркамалаштириш мақсадида сиртига	A thin layer of coating on the surface to protect and decorate products from the harmful effects of the environment

	қопланадиган юпка қатлам	
Вакуум	босими атмосфера босимидан анчагина паст бўлган, идишга қамалган газ ҳолати, қамалган газ ҳолати	The pressure is much lower than atmospheric, the state of the captured gas, the state of the captured gas
Гальваник қоплама	металл буюмлар юзасига электролитик усулда бир неча мкм дан мм нинг ўндан бир неча қисмигача қалинликда қопланган қатлам	A layer of electrolytic coating on the surface of metal parts with a thickness of several microns to several tens of millimeters
Ҳимоя қопламаси	деталларни ҳаво кислороди ёки бошқа емирувчи муҳитлар таъсиридан сақлаш мақсадида сиртга берилган ҳимоя қоплама	Protective coating applied to the surface to protect parts from exposure to atmospheric oxygen or other aggressive media
Алюминлаш	пўлат маҳсулотларнинг сиртини коррозия ва ташқи муҳит таъсиридан ҳимоя қилиш учун алюмин билан диффузион тўйинтириш	Diffusion saturation of aluminum to protect the surface of steel products from corrosion and environmental impact
Никеллаш	пўлат маҳсулотларнинг сиртини никель билан диффузион тўйинтириш	Diffusion saturation of the surface of steel products with Nickel
Хромлаш	пўлат маҳсулотларнинг сиртини ейилишбардошлигини ошириш учун хром билан диффузион тўйинтириш	Diffusion saturation with chromium to increase the surface viscosity of steel products

Мислаш	пўлат, рух, алюминий буюмлари сиртига мис қошлаш	Copper plating on the surface of steel, zinc, aluminum products
Мустахамлик	Ташқи куч таъсирида бузилмаслик, бузмасдан кучни ушлаб туриш.	The protection of power does not collapse under the influence of an external force,
Металл қошлаш	махсус аппаратда суюқлантирилган металлни сиқилган ҳаво ёрдамида пуркаб буюм сиртини турли металллар билан юпқа қилиб қошлаш	Spraying of liquefied metal in a special apparatus using compressed air to thinly cover the surface of the product with various metals
Пуркаб қошлаш	буюмларни ташқи муҳитидан ҳимоялаш йўли билан пухталаш, ишдан чиққанларини тиклаш мақсадида уларнинг сиртига суюқ ёки кукун ҳолидаги металллар, пластмассалар ва бошқа металлларни сиқилган ҳаво оқимида пуркаб қошлаш	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
Пухталаниш	пластик деформация натижасида металл мустахамлиги ва каттиқлиги ортиши	Increasing the strength and hardness of the metal as a result of plastic deformation

IX. АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

I. Ўзбекистон Республикаси Президентининг асарлари

1. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. – Т.: “Ўзбекистон”, 2017. – 488 б.
2. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз. 1-жилд. – Т.: “Ўзбекистон”, 2017. – 592 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Халқимизнинг розилиги бизнинг фаолиятимизга берилган энг олий баҳодир. 2-жилд. Т.: “Ўзбекистон”, 2018. – 507 б.
4. Мирзиёев Ш.М. Нияти улуғ халқнинг иши ҳам улуғ, ҳаёти ёруғ ва келажак фааровон бўлади. 3-жилд.– Т.: “Ўзбекистон”, 2019. – 400 б.
5. Мирзиёев Ш.М. Миллий тикланишдан – миллий юксалиш сари. 4-жилд.– Т.: “Ўзбекистон”, 2020. – 400 б.

II. Норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар

6. Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси. – Т.: Ўзбекистон, 2018.
7. Ўзбекистон Республикасининг 2020 йил 23 сентябрда қабул қилинган “Таълим тўғрисида”ги ЎРҚ-637-сонли Қонуни.
8. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июнь “Олий таълим муассасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сонли Фармони.
9. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февраль “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-сонли Фармони.
10. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 20 апрель "Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2909-сонли Қарори.
11. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 май “Ўзбекистон Республикасида коррупцияга қарши курашиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5729-сон Фармони.
12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 август “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг узлуксиз малакасини ошириш тизимини жорий этиш тўғрисида”ги ПФ-5789-сонли Фармони.

13. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 21 сентябрь “2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-5544-сонли Фармони.
14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 8 октябрь “Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида” ги ПФ-5847-сонли Фармони.
15. 15.Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 29 октябрь “Илм-фанни 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги ПФ-6097-сонли Фармони.
16. 16.Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг 2020 йил 25 январдаги Олий Мажлисга Мурожаатномаси.
17. 17.Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 23 сентябрь “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш бўйича қўшимча чоратадбирлар тўғрисида”ги 797-сонли Қарори

III.Махсус адабиётлар

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. Сайдахмедов Р. Х. Наноструктурные покрытия и современные методы обработки материалов: монография / Р. Х. Сайдахмедов, К. К. Кадырбекова, А. И. Камардин; ред. Э. О.Умаров; МВи ССО РУз, ТГТУ, АндМИ. - Ташкент: Фан, 2012. - 200 с.
4. Сайдахмедов Р. Х. Наноструктурные покрытия и современные методы обработки материалов: монография / Р. Х. Сайдахмедов, К. К. Кадырбекова, А. И. Камардин; ред. Э. О.Умаров; МВ и ССО РУз, ТГТУ, АндМИ. - Ташкент: Фан, 2012. - 200 с.
5. Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 2001. 240с.
6. Поверхностный слой и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах /Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 520 с.
7. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронов В.К. Физические основы пластической деформации. – М.: Металлургия, 2002. 584 с.
8. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов, - М.: Металлургия, 2013. 495 с.

9. Грязнов Б.Г., Зинкин А.Н., Прудников В.В., Стасенко В.П. Технологические методы повышения долговечности машин микрокриогенной техники. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 272 с.
10. Быковский Ю.А., Неволин В.Н., Фоминский В.Ю. Ионная и лазерная имплантация металлических материалов. – М.: Энергоиздат, 1999. 240 с.
11. Кагаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. 319 с.
12. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. – М.: Машиностроение, 2014. 296 с.
13. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. – М.: Машиностроение, 2011. 320 с.

Интернет сайтлари

- <http://www.Ziyonet.uz>
- <http://www.Ref.uz>
- <http://www.TDTU.uz>
- www.gov.uz – Ўзбекистон Республикаси ҳукумат портали.
- www.lex.uz Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.
- www.satbask.ru– научные статьи и учебные материалы;
- www.bilim.uz