

Дўстов Х.Б.

## КОРРОЗИЯДАН ҲИМОЯ ҚИЛИШ



**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**Дўстов Ҳ.Б.**

## **КОРРОЗИЯДАН ҲИМОЯ ҚИЛИШ**

**Ўқув қўлланма**

Шарқ-Бухоро 2019

**Коррозиядан химоя қилиш. Ўқув қўлланма. Ҳ.Б.Дўстов. Ўзбекистон**  
Республикаси олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги.

Такризчилар:

Бухоро муҳандислик-технология институти,  
“Нефт-газкимё саоти технологияси”  
кафедраси профессори, т.ф.д.:

Фозилов С.Ф.

“Бухоро нефтни қайта ишлаш  
заводи” МЧЖ бош технологи

Худайбердиев А.Ж

Ўқув қўлланма 5321400 – “Нефт-газкимё саноати технологияси” таълим йўналиши фан дастурлари асосида ёзилган. Қўлланмада металллар коррозиясининг назарий асослари, коррозия кўринишлари, машина ва жиҳозларнинг коррозион емирилишига конструктив факторларнинг таъсири, металллар ва қотишмаларнинг коррозион тавсифлари, нометалл материаллар ва химоя қопламалари, кимёвий ҳамда нефт-газ соҳаси ишлаб чиқариш машина ва жиҳозларини коррозиядан химоя қилиш усуллари тўғрисида маълумотлар баён этилган.

Ўқув қўлланма олий ва ўрта махсус ўқув юртларининг нефт-газ саноати технологиялари, кимёвий технологиялар, машинасозлик йўналишлари бўйича таҳсил олаётган талабалар, шунингдек муҳандис-техник ходимлари учун мўлжалланган.

Ўқув қўлланма Бухоро муҳандислик-технология институти илмий кенгашининг қарорига асосан (10.07.2019 йилдаги № 8 мажлис баённомаси) чоп этишга тавсия қилинган

## Сўз боши

Ишлаб чиқариш ҳамда техника ва технологияларнинг ҳозирги замон ривожланиш суръати конструкцион материалларнинг чидамлилиги, мустаҳкамлиги ва коррозиябардошлилигига юксак талабларни қўяди. Шу боис, муҳандис-технологлар, механиклар ҳамда саноат соҳалари бўйича етук мутахассислар тайёрлашда коррозия фанининг роли ортиб бормоқда. Шу билан бир қаторда, ҳозирги вақтда коррозия фани бўйича ўзбек тилида ёзилган ўқув адабиётларининг тақчиллиги яққол сезилмоқда. Мавжуд ўқув адабиётлари эса 20-25 йил олдин ёзилган бўлиб, илм-фаннинг, техника ва технологияларнинг охириги ютуқларидан сезиларли даражада орқада қолган. Юқоридаги мулоҳазаларни инобатга олган ҳолда муаллиф ушбу ўқув қўлланмани яратишга жазм этди.

Ўқув қўлланма муаллифнинг кўп йиллик илмий ва педагогик тажрибалари асосида тўпланган материаллар, Республикамиздаги ва хорижий олимлар томонидан яратилаётган замонавий конструкцион материаллар ва уларнинг коррозион бардошлиги борасида олиб борилган изланишларнинг натижалари асосида ёзилди.

Электрохимёвий ва коррозион фанларининг ҳозирги замон ривожиди катта ҳисса қўшган Россиялик олимлар: академиклар – А.Н.Фурумкин, В.Е.Казаринов, Я.М.Колотыркин, профессорлар – Г.А.Тедорадзе, Н.Т.Кудрявцевларнинг илмий ишлари ҳам қўлланмада ўз аксини топган. Шунингдек, профессорлар – И.В.Семенова, Г.М.Флорианович ҳамда к.ф.н. А.В.Хорошиловлар томонидан тўпланган материаллар ҳам ўқув қўлланма учун асос қилиб олинган.

Қўлланма охириги йилларда кимё-технология ва машинасозлик йўналишлари талабалари учун ўзбек тилида ёзилган дастлабки адабиётлардан бири саналиб, давлат таълим стандартларининг компоненти ҳисобланган коррозия курси дастурига тўла мос келади.

Коррозия курси мустақил фан сифатида нефт-газ, кимё-технология, металлургия, материалшунослик каби кўпгина йўналишларнинг ўқув режасига киритилган. Бу курсларнинг ўқув дастурлари бир-бирига яқин бўлиб, кўпгина умумий мавзуларни ўз ичига олади. Шу сабабли ягона ўқув қўлланмасини яратишни муаллиф ўз олдида мақсад қилиб қўйди.

Ўқув қўлланмаси тўрт қисмдан ташкил топган. Биринчи қисм газ ва суюқлик муҳитида кечадиган коррозия жараёнларининг назариясига бағишланган. Материалларни баён этишда физикавий кимё, электрохимё ва термодинамикани ўрганишда олинган билимлар асос қилиб олинган. Металларнинг газ коррозияси ва унинг физик-химёвий қонуниятлари, кинетикаси, коррозиянинг бу турига ички ва ташқи факторларнинг таъсири, шунингдек металларнинг электрохимёвий коррозиясига бағишланган маълумотлар ўрин олган.

Кўп ҳолларда коррозион емирилиш характери ва тезлигига металллар ва қотишмаларнинг фазавий ҳамда кристалл структураси ҳал қилувчи рол ўйнайди. Иккинчи қисмда ўқувчилар табиий ва технологик муҳитларда кечадиган коррозиянинг асосий кўринишлари, металллар коррозион бардошлигини синаш усуллари, машина ва жиҳозларнинг коррозион емирилиш суръатига конструктив факторларнинг таъсири билан танишадилар.

Ўқув қўлланманинг учинчи қисми бир қатор металллар ва қотишмалар, шунингдек нометалл материалларнинг коррозион тавсифларига бағишланган. Органик бирикмалар асосидаги коррозиябардош полимер материаллар, оддий полимеризацион ва мураккаб поликонденсацион пластик массалар тўғрисидаги материаллар ҳам ушбу қисмда берилган.

Нефт-газ ва кимё саноати машина ва жиҳозларини юпқа сирт қопламалари ёрдамида, электрокимёвий ҳамда коррозион муҳит агрессивлигини пасайтириш орқали коррозиядан ҳимоя қилиш усуллари тўртинчи қисмда ёритилган.

Мазкур ўқув қўлланма кимё-технология, нефт-газ, машинасозлик, асбобсозлик, энергетика, металлургия, гидротехника соҳалари олий ўқув юртлари ва техника университетларининг талабалари учун мўлжалланган. Шунингдек қўлланма саноат корхоналарининг муҳандис-техник хизматчилари, лойиҳалаш институтларининг мутахассислари, илмий тадқиқотчи ва илмий ходимларнинг ўз малакаларини ошириши учун ҳам яхши манба сифатида фойдали бўлиши мумкин.

Муаллиф қўлёзмани батафсил ўқиб чиқиб, унинг мазмуни ва моҳиятини ҳамда яратилишида қилинган меҳнатларни ижобий баҳолаган, қўлланманинг мукамал бўлишида ўзларининг қимматли маслаҳатларини берган Бухоро давлат университети, “Кимё” кафедраси профессори, к.ф.д. Б.Б.Умаровга, Бухоро муҳандислик-технология институти, “Нефт-газкимё саноати технологияси” кафедраси профессори, т.ф.д. С.Ф. Фозиловга, “Бухоро нефтни қайта ишлаш заводи” МЧЖ бош технологи А.Ж. Худайбердиевга чуқур миннатдорчилик билдиради.

Коррозия ва унинг таъсир кўлами жуда кенглиги, янги композицион ва конструкцион материалларнинг яратилиши, коррозия турлари ҳамда фан, техника ва технологияларнинг ривожланиб бораётганлиги туфайли коррозиядан ҳимоя қилиш усуллариининг доимий янгиланиб бораётганлиги сабабли бу соҳадаги барча маълумотларни мазкур китобга киритишнинг имконияти чекланган. Шу сабабли китобхонлар томонидан қўлланмадаги камчиликларни бартараф қилишга қаратилган барча фикр ва мулоҳазаларни муаллиф самимият билан қабул қилади ўз миннатдорчилигини изҳор қилади.

## І ҚИСМ.

# МЕТАЛЛАР КОРРОЗИЯСИ НАЗАРІЯСІНИНГ АСОСЛАРИ.

## І БОБ.

### ФАНГА КИРИШ.

#### 1.1. “Коррозиядан химоя қилиш” фанининг мақсад ва вазифалари

Ушбу фан олий ўқув юртларининг 5321400 – “Нефт-газкимё саноати технологияси” таълим йўналиши Давлат таълим стандартида киритилган «Коррозиядан химоя қилиш» фанини ўрганувчи талабалар учун мўлжалланган.

Фаннинг асосий мақсади — талабаларда табиий ва ишлаб чиқаришнинг барча соҳаларида конструкцион материалларни танлаш ва уларни коррозиядан химоя қилиш бўйича ресурс тежамкор ечимларни асослаш ва тадбиқ этиш бўйича билимлар тизимини шакллантиришдан иборат.

Табиий ва ишлаб чиқариш шароитларининг, ташкилий-бошқарув структуралари характерининг, меҳнат жараёнлари ўзига хослигининг фарқланиши дифференциаллансада, коррозиядан муҳандислик химоялашни таъминловчи, асос бўлиб хизмат қиладиган қуйидаги йўналишларининг ягона илмий методологиясини ишлаб чиқиш зарур:

- материалларни турли шароитларда ишлатиш пайтида юз берадиган қайтар ва қайтмас деградация жараёнларини таҳлил қилиш;
- умумий ва локал зарарларни миқдорий баҳолаш;
- объектларнинг ҳолати тўғрисидаги маълумотларни олиш усуллари, воситалари ва мезонларини меъёрлаш;
- коррозияга чидамли материалларни яратиш ва танлаш;
- металлларни коррозиядан химоя қилиш бўйича комплекс тадбирларни ишлаб чиқиш;

“Коррозиядан химоя қилиш” курси комплекс фан бўлиб, фундаментал табиий ва умумқасбий фанлани ўзлаштиришдан олинган билимларга таянади.

“Коррозиядан химоя қилиш” фанини ўрганиш натижасида талаба қуйидагиларни билиши зарур:

- электр ўтказувчи газ ва суюқ муҳитларда коррозия жараёнлари назариясининг асослари;
- техноген и антропоген факторлар таъсири остида бўлган конструкцион материаллар хоссаларининг ҳолати ва ўзгариши тўғрисида умумий маълумот;

- қуриш ва ишлаб чиқариш фаолиятида конструкцион материалларга коррозия таъсир этувчи асосий манбалар, уларнинг сифат ва миқдорий характеристикалари, жиҳозлар ишончилигини ташхислаш йўллари ва усуллари, коррозия таъсирининг оқибатлари;
- материалларни коррозиядан комплекс ҳимоялашни таъминлаш концепцияси;

Ушбу билимларни қўллаган ҳолда талаба:

- коррозия жараёнларининг бориш қонуниятларига ташқи ва ишлаб чиқариш муҳитларининг таъсир қилиш характерини баҳолай олиши;
- конструкцион материалларни танлай олиши;
- қурилмалар конструкцияси ҳамда жиҳозлар ва транспорт коммуникацияларини атроф муҳитнинг коррозия таъсиридан ҳимоялаш тадбирларини асослаб бера олиши лозим.

## **1.2. Металлар коррозиясига қарши кураш муаммоларининг ижтимоий, иқтисодий ва экологик жиҳатлари.**

Ҳозирги пайтда Ер шаридаги аҳоли сони вақт ўтиши билан ортиб бормоқда. 1850 йилда у 1,2 млрд. кишини, 1950 йида эса 2,5 млрд. кишини ташкил этган бўлса, 2000 йилга келиб бу кўрсаткич 5 млрд кишидан ортди. Ўз навбатида инсониятнинг эҳтиёжлари ҳам мутаносиб равишда эмас, балки жуда юқори темплар билан ортиб бормоқда.

Узлуксиз ортиб бораётган бундай эҳтиёжни фақатгина ишлаб чиқаришни жадал ривожлантириш ҳисобига қондириш мумкин. Охирги ярим аср мобайнида планетамиздаги аҳоли сони 1,6 мартага ортган бўлса, асосий ишлаб чиқариш ҳажми 2,5 марта ортган. Ишлаб чиқаришни ташкил қилиш, йўлга қўйиш ва амалга ошириш учун эса қурилмалар, жиҳозлар, коммуникациялар ва замонавий машиналар зарур бўлади. Буларнинг барчасини металл, қотишма ва композицияларсиз тасаввур қилиш қийин. Улар қора ва рангли металл қотишмаларидан, табиий ва сунъий кийевий бардошли материаллардан ҳамда композициялардан тайёрланади. Вақт ўтиши билан коррозия туфайли улар эскиради, емирилади ва яроқсиз ҳолга келади. Бу эса нафақат иқтисодий зарар, балки глобал экологик катастрофаларга олиб келади.

Металл буюмлар, жиҳозлар, конструкциялар ва қурилмаларнинг коррозиясидан планетамиз бўйича кўриладиган зарар мисли кўрилмаган рақамларни ташкил қилади. Масилан биргина Америка Қўшма Штатларида коррозия туфайли кўриладиган зарар йилига 300 млрд долларни ташкил қилади, бу эса мамлакат миллий даромадининг 6% ни ташкил қилади.

Россия Федерациясида коррозия туфайли ҳар йили металл фонди умумий массасининг 12% йўқолади, бу эса йиллик ишлаб чиқариладиган металлнинг 30% демакдир. *Бундай улкан бевосита зарардан ташқари яна жуда катта*

*билвосита зарарлар ҳам муқаррардир. Уларга металл жиҳозлар қувватининг йўқолиши, авариялар туфайли уларнинг мажбурий тўхтатишдан кўриладиган зарарлар, шунингдек кўпинча экологик катастрофаларга олиб келувчи авария оқибатларини бартарафлаш учун кетадиган харажатлар ва бошқалар киради. Коррозия муаммоларининг долзарблиги қуйидаги уч асосий жиҳатлари билан аниқланади:*

- 1) инсон ҳалокатига ва атроф муҳитнинг ифлосланишига олиб келувчи катастрофа ва аварияларнинг олдини олиш мақсадида турли объектлар (АЭС объектлари, самолётлар, кемалар, бинолар, коммуникация ва узатиш тизимлари ва б.) ишончлилигини ошириш;
- 2) захиралари чекланганлигини ҳисобга олган ҳолда дунё миқёсида металл ресурсларини (металл фондини) тежаш ва сақлаб қолиш;
- 3) барча турдаги машиналар, резервуарлар, қувур ўтказгичлар, кўприклар, темир йўллар ва ҳ.к. коррозияси туфайли кўриладиган моддий ва иқтисодий зарарларни камайтириш;

### **1.3. Асосий тушунча ва атамалар**

Металлар ва қотишмалардан тайёрланадиган барча машина ва жиҳозлар табиий ёки технологик муҳитларда эксплуатация жараёнида коррозияга маҳкумдир.

Коррозия латинча сўздан олинган бўлиб «corrodere» — емирилиш деган маънони англатади. *Металл ва қотишмаларнинг ташқи муҳит билан ўзаро таъсирлашиши натижасида ўз-ўзидан емирилиш ҳодисаси металлларнинг коррозияланиши дейилади.*

Бундай ўзаро таъсир асосида ташқи муҳит билан кимёвий ва электрокимёвий реакция, баъзида эса механик таъсир ётади. *Металларнинг бундай муҳит таъсирига қаршилик кўрсата олиш қобилияти материалларнинг бардошлилиги ёки кимёвий қаршилиги дейилади. Коррозияга учраётган металл — коррозияланувчи металл, коррозия жараёни кечаётган муҳит эса — коррозион муҳит дейилади.*

Коррозия натижасида металлнинг хоссалари ўзгариб, кўпинча унинг функционал характеристикалари ёмонлашади. Металл коррозияга учраганда қисман ёки тўла емирилади. *Металл билан коррозияловчи муҳитнинг ўзаро таъсирлашуви натижасида ҳосил бўладиган кимёвий бирикмалар коррозия маҳсулотлари дейилади.* Коррозия маҳсулотлари оксид плёнчалари, металл тўпони ёки занг кўринишида металл сиртида қолиши мумкин. Уларнинг металл сирти билан адгезия даражасига боғлиқ ҳолда турли ҳоллар бўлиши мумкин. Масалан, темир қотишмалари сиртида занг юмшоқ уқаланиб кетадиган пўк қават ҳосил қилади, коррозия жараёни эса металл ичига чуқур тарқалиб, тешиб ўтувчи яра (язва) ва тешик ҳосил қилиши мумкин. Аксинча, алюминий оксидланганда унинг сиртида яхлит, зич оксид плёнка ҳосил бўлиб,



уни емирилишдан сақлайди. *Коррозия – физик кимёвий жараён бўлиб, унинг кечиш қонуниятлари гетероген системаларнинг умумий термодинамик ва кинетик қонунлари асосида аниқланади.* Коррозиянинг ички ва ташқи факторлари мавжуд. Коррозиянинг ички факторлари металлнинг табиати, тузилиши (таркиби, структураси ва б.) ва коррозия тезлигига таъсирини характерлайди. Ташқи факторлар эса ташқи коррозион муҳит таркибининг таъсирини ва коррозиянинг бориш шароитини (ҳарорат, босим, потенциал ва б.) аниқлайди.

*Коррозиядан ҳимоя қилиш деб, металл коррозиясини камайтириш ёки тўхтатиш учун амалга ошириладиган жараён ёки қўлланиладиган воситаларга айтилади.*

#### **1.4. Коррозия жараёнларининг синфланиши**

Коррозия жараёнларини қуйидаги аломатлар бўйича синфланади:

- металлнинг ташқи муҳит билан таъсирлашиш механизми бўйича;
- коррозион муҳит турлари ва жараённинг кечиш шаротлари бўйича;
- коррозион емирилиш характерига кўра;
- коррозион муҳит билан биргаликда металлга таъсир этувчи бошқа қўшимча таъсир турлари бўйича;

Коррозия жараёнининг бориш механизми бўйича табиатда металлнинг **кимёвий** ва **электрокимёвий** коррозияси мавжуд.

**Кимёвий коррозия** — металлнинг оксидланиши ва муҳит оксидловчи компонентининг қайтарилиши бир вақтда ва бир актда борадиган металлнинг ташқи муҳит билан ўзаро таъсир жараёнидир. Ўзаро таъсирлашиш маҳсулотлари фазовий ажралмасдир.

**Электрокимёвий коррозия** — металлнинг коррозион муҳит (электролит эритмаси) билан ўзаро таъсир жараёни бўлиб, бунда металл атомларининг ионлашуви ва коррозион муҳит оксидловчи компонентининг қайтарилиши турли актда кечади ва уларнинг тезлиги электрод потенциалига боғлиқ бўлади.

Коррозион муҳит турига ва кечиш жараёнининг шароитига кўра коррозия бир неча турларга бўлинади. Қуйида уларнинг асосийларини санаб ўтамиз.

**Газ коррозияси** — металлнинг намлик минимал (одатда 0,1 % дан кўп бўлмаган) ёки юқори ҳароратда бўлган газ муҳитидаги кимёвий коррозиясидир. Коррозиянинг бу тури кимё ва нефткимё саноатида энг кўп учрайди. Газ коррозияси сульфат кислотасини олишдаги олтингугурт диоксидининг оксидланиш босқичида, аммиакни синтез қилиш пайтида, азот кислотаси ва водород хлоридини олишда, органик спиртлар олиш ва нефтни крекинглаш ҳамда бошқа жараёнларида учрайди.

**Атмосфера коррозияси** — металлнинг ҳаво атмосферасида ёки исталган намли газ муҳитда юз берадиган коррозиясидир.

*Ер ости коррозияси* — металлнинг ер ости ва тупроқ муҳитидаги коррозияси.

*Биокоррозия* — турли микроорганизмлар фаолияти таъсирида берадиган коррозия.

*Контакт коррозияси* — берилган электролитда турлича стационар потенциалга эга бўлган металллар контакти туфайли юз берадиган коррозия тури.

*Радиацион коррозия* — радиоактив нурланиш оқибатида рўй берадиган коррозия.

*Ташқи ток таъсиридаги коррозия* — ташқи ток манбаи туфайли кечадиган коррозия.

*Дайди тоқлар коррозияси* — дайди тоқлар туфайли юз берадиган коррозия.

*Кучланиш остидаги коррозия* — коррозион муҳит ва механик кучланишларнинг бир вақдаги таъсири оқибатида юз берадиган коррозия. Агар кучланиш чўзувчи бўлса, у металлнинг ёрилишига (чатнашига) олиб келиши мумкин. Коррозиянинг бу тури айниқса, механик кучланишлар таъсири остида бўлган металл конструкциялари (ўқлар, рессоралар, автоклавлар, буғ қозонлари, турбиналар ва б) учун жуда хавфли ҳисобланади.

Агар металл буюмлар даврий равишда такрорланувчи циклик чўзувчи кучланиш таъсири остида бўлса, улар *коррозион чарчаш*га дучор бўладилар. Бунда металл чарчаши чегарасининг пасайиши юз беради. Бундай коррозияга кўпинча автомобил рессоралари, канатлар, прокатловчи станокларнинг валлари, кривошип-шатун механизмлари, тебранма дастгоҳлар ва бошқалар учрайди.

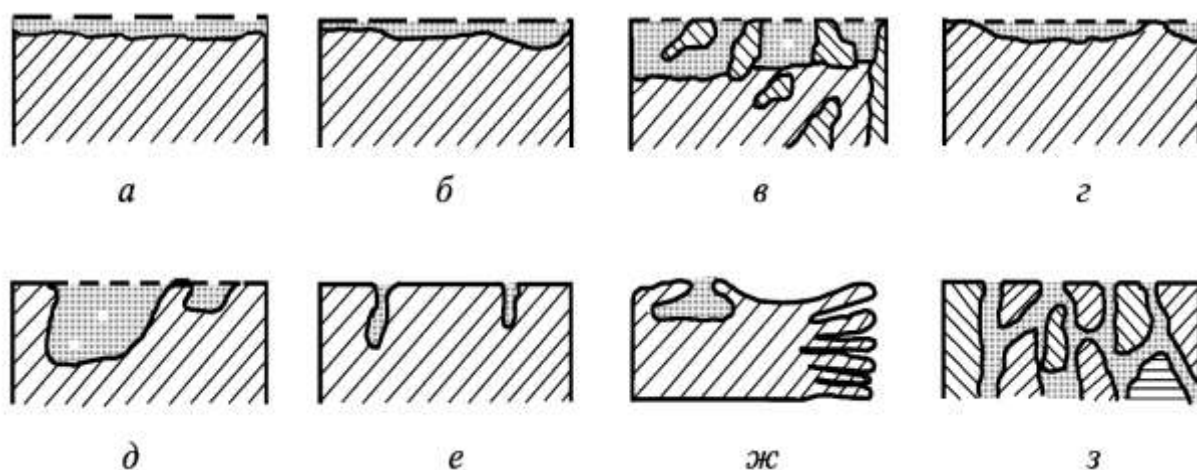
*Кавитацион коррозия* — ташқи муҳитнинг бир вақтдаги коррозион ва зарбли таъсири туфайли металлнинг емирилиши.

*Фреттинг-коррозия* — ташқи муҳитнинг бир вақтдаги коррозион ва титратиш таъсири туфайли металлнинг коррозияланиши.

Ишқаланиш ёки титраш туфайли юз берадиган коррозияни конструкцион материалларни тўғри танлаш, ишқаланиш коэффицентини камайтириш, копламаларни қўллаш ва ҳ.к. орқали бартарафлаш мумкин.

Металлар ва қотишмалар сиртида юз берадиган ўзгаришларнинг характериға кўра ҳам коррозион емирилишлар бир неча турларға бўлинади (1.1-расм).

*Коррозия яхлит* дейилади агарда у металлнинг бутун сиртини эгаллаган бўлса (1.1-расм, *а* ва *б*). Яхлит коррозия *текис* дейилади агарда жараён металлнинг бутун сирти бўйлаб бир хил тезликда борса (1.1-расм, *а*) ва *нотекис* дейилади агарда жараённинг тезлиги металл сиртининг турли нуқталарида турлича бўлса (1.1-расм, *б*). Текис коррозияни ҳавода узоқ вақт



**1.1-расм. Металлар ва қотишмалар сиртида юз берадиган коррозия кўринишлари.**  
*a* – яхлит текис; *б* – яхлит нотекис; *в* – сайланган-структуравий;  
*z* – доғли; *д* – яралар; *е* – нуқталар (питтинг); *ж* – сирт ости; *з* – кристаллараро;

вақт ишлатилган темир қувурлар сиртида кузатиш мумкин.

*Сайланган коррозияда* (1.1-расм, *в*) қотишманинг бир структуравий ташкил этувчиси ёки бир компоненти емирилади. Бундай коррозияга чўяннинг графитлашувини ёки жез (латун)нинг рухсизланишини мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

*Маҳаллий (локал) коррозия* металл сиртининг алоҳида жойларини қамраб олади (1.1-расм – *z*, *д*, *е*). Маҳаллий коррозия металл ичига унча чуқур кетмаган алоҳида доғлар (1.1-расм, *z*), металл ичига анча ботган чиғанок кўринишидаги емирилиш – яралар (1.1-расм, *д*) ёки металл ичига чуқур кетган нуқталар (питтинглар) (1.1-расм, *е*) кўринишида бўлиши мумкин. Биринчи кўриниш масалан, денгиз сувида қолган жезда ҳосил бўлади. Яралар шаклидаги коррозия тупроқда жойлашган пўлатда, питтинглар эса дегиз сувидаги хромникелли аустенит пўлатларида кузатилади.

*Сирт ости коррозияси* (1.1-расм, *ж*) металл сиртида бошланиб, кейинчалик унинг ичига чуқурроқ кириб тарқалади. Коррозия маҳсулоти металлнинг бўшлиқларида йиғилиб қолади. Коррозиянинг бу тури металл буюмларнинг бўртишига ва катламларга ажралишига олиб келади.

*Кристаллараро коррозия* металл доналарининг чегараси бўйлаб емирилиши (1.1-расм, *з*) билан характерланади. Бунда металл доналари орасида уваланиб кетадиган (пўк) чидамсиз коррозия маҳсулотлари ҳосил бўлади. Коррозиянинг бу тури шу билан хавфлики, бунда металлнинг ташқи кўриниши ўзгармайди, лекин у мустақамлиги ва эластиклигини йўқотади, мўрт бўлиб қолади. Бундай коррозияга хромли ва хромникелли пўлатлар, никелли ва алюминийли қотишмалар учрайди.

Ёриқли коррозия металл тирқишларида, прокладкалар остида, резбали бирикмалар ва бошқа шунга ўхшаш жойларда буюмларни емиради.

## 1.5. Коррозия кўрсаткичлари.

Коррозия тезлиги жараённинг маълум бир кўрсаткичи ( $y$ ) билан вақт орасидаги боғланишни ўрганиш орқали аниқланиши мумкин. Коррозиянинг  $\tau$  вақт momentiдаги ҳақиқий ёки оний дифференциал тезлиги кўрсаткичдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиласига  $\frac{\partial y}{\partial \tau}$  тенг. Кўпинча амалда жараённинг  $\tau$  вақт momentiдаги ўртача интеграл тезлиги, яъни  $\frac{\Delta y}{\Delta \tau}$  аниқланади. Коррозия жараёнининг энг кўп ишлатиладиган кўрсаткичлари: чуқурлик, масса ўзгариши, ҳажм ўзгариши, механик кўрсаткичлари бўлиб ҳисобланади.

*Чуқурлик кўрсаткичи* ( $K_h$ ) металлнинг вақт бирлиги ичида коррозия эмирилиш чуқурлигини характерлайдиган катталиқдир (масалан, мм/йил). Шунингдек бу катталиқ металл сиртида ҳосил бўладиган коррозия маҳсулоти (плёнкаси) қалинлигининг вақт бирлиги ичидаги ўзгаришини ҳам ифодалаш мумкин (мм/йил).

*Массавий кўрсаткич* ( $K_m^\pm$ ) коррозия туфайли металл массаси ўзгаришининг металл сирти ва вақтга бўлган нисбати билан ўлчанадиган катталиқдир (г/(м<sup>2</sup>·соат)):

$$K_m^\pm = \frac{m}{S \cdot \tau}$$

Бу кўрсаткич манфий бўлади агарда металлнинг массаси  $\tau$  вақтдан сўнг ўлчангандан сўнг камайса ва аксинча  $\tau$  вақтдан сўнг ўлчанганда унинг массаси ортган бўлса бу катталиқ мусбат бўлади.

Агарда металл коррозияси маҳсулотининг таркиби маълум бўлса, масса ўзгаришининг мусбат кўрсаткичини унинг манфий шаклига қуйидаги формула билан қайта ҳисоблаш орқали ўтказиш мумкин:

$$K_m^- = K_m^+ \frac{n_{\text{ок}} \cdot A_{\text{Ме}}}{n_{\text{Ме}} \cdot A_{\text{ок}}},$$

Бу ерда  $K_m^-$  ва  $K_m^+$  — мос равишда коррозия кўрсаткичининг манфий ва мусбат кўрсаткичлари;  $A_{\text{Ме}}$  — металлнинг атом массаси;  $A_{\text{ок}}$  — оксидловчининг атом массаси;  $n_{\text{Ме}}$  — металлнинг валентлиги;  $n_{\text{ок}}$  — оксидловчининг валентлиги;

*Металларнинг текис коррозияси*да манфий масса кўрсаткичидан коррозиянинг чуқурлик кўрсаткичига ўтиш мумкин:

$$K_{\text{П}} = \frac{K_m^- \cdot 8,76}{\rho_{\text{Ме}}},$$

бунда  $\rho_{\text{Ме}}$  — металлнинг зичлиги (г/см<sup>3</sup>).

*Коррозиянинг ҳажмий кўрсаткичи*  $K_v$  коррозия жараёнида металлга ютилган ёки ундан ажралган ва нормал шароитга келтирилган  $\Delta V$  газ ҳажмининг металлнинг бирлик сиртига ва бирлик вақтга бўлган нисбати билан ўлчанадиган катталиқдир (см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·соат)):

$$K_V = \frac{\Delta V}{S\tau}$$

*Коррозиянинг механик кўрсаткичи* коррозия жараёни вақтида металл маълум бир механик кўрсаткичининг %ларда ифодаланган ўзгаришини кўрсатади. Масалан *мустаҳкамлик кўрсаткичи* ( $K_\sigma$ ) учун:

$$K_\sigma = \frac{\Delta\sigma_\tau}{\Delta\sigma_{\tau_0}}$$

$\sigma_\tau$  –  $\tau$  коррозия вақтида чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасининг ўзгариши;  
 $\sigma_{\tau_0}$  – коррозиягача бўлган чўзилишдаги мустаҳкамлик чегарасининг қиймати.

*Электр қаршилиги ўзгаришининг кўрсаткичи* юпқа металл листларини ўрганишда ўчоқ кўрсаткичи тушунчасидан фойдаланилади. Ўчоқ кўрсаткичи  $K_N$  – металл сиртидаги коррозия ўчоғлари сонининг сирт бирлиги ва вақт бирлигига бўлган нисбати билан ўлчанадиган катталиқдир ( $1/(m^2 \cdot соат)$ ):

$$K_N = \frac{N}{S \cdot \tau}$$

### Назорат саволлари

1. Фаннинг асосий мақсад ва вазифалари нималардан иборат?
2. “Коррозиядан ҳимоя қилиш” фанини ўрганиш натижасида талаба нималарни билиши ва амалда қўллаш олиши зарур?
3. Коррозиядан кўриладиган зарарларнинг асосий кўринишларини айтинг.
4. Коррозия туфайли қандай йўқотишлар бўлади?
5. Курилмалар, жиҳозлар ва транспорт коммуникацияларининг ишдан чиқишига нималар сабаб бўлади?
6. “Коррозия” сўзининг маъносини айтинг ва унга таъриф беринг.
7. Коррозия жараёнлари қайси аломатлари бўйича синфланади?
8. Коррозия гомоген ёки гетероген жараёнларнинг қайси бирига киради?
9. Кимёвий ва электрокимёвий коррозияларга таъриф беринг.
10. Коррозион муҳит турига ва кечиш жараёнининг шароитига кўра коррозия қандай турларга бўлинади?
11. Металлар ва қотишмалар сиртида юз берадиган ўзгаришларнинг харақтерига кўра коррозион емирилишлар қандай турларга бўлинади?
12. Коррозия жараёнининг асосий кўрсаткичларини санаб беринг?

## II БОБ

### МЕТАЛЛАРНИНГ ГАЗ КОРРОЗИЯСИ.

#### 2.1. Газ коррозияси жараёнларининг умумий тавсифи.

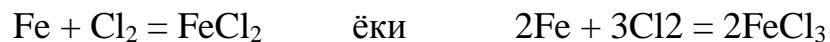
Электр ўтказувчи эритмалар бўлмаганда газларнинг металл билан контактида газ коррозияси кечади. Табiiй шароитларда газ коррозияси кам учрасада, технологик жараёнларда, айниқса металлургия ва кимё саноати ишлаб чиқаришида етарлича кўп учрайди.

Одатда газ коррозияси кимёвий механизм бўйича кечади.

*Металларнинг газ коррозияси деб агрессив муҳит компонентлари билан металлнинг таъсирлашув нуқтасида бир актда ва бир вақтда, гетероген кимёвий реакция қонуниятларига бўйсинувчи ўз-ўзидан борадиган оксидланиш-қайтарилуш жараёнига айтилади.*

Кимёвий коррозия жараёнида металл қайтарилувчи сифатида қатнашиб, электрон беради ва оксидланади. Агрессив муҳит компоненти оксидловчи, электронлар донори ролини бажаради. Реакция жараёнида у қайтарилади. Оксидловчилар сифатида  $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$  ва б. бўлиши мумкин.

Мисол. Саноат миқёсида хлор ва водороддан водород хлоридини синтез қилиш жараёни  $1000-1200\text{ }^\circ\text{C}$  ҳароратда амалга оширилади. Бу жараён металл печларида амалга оширилганлиги сабабли печларнинг ички юзаси газ коррозиясига учрайди. Хлор ва водород миқдорига боғлиқ ҳолда газ аралашмасида куйидаги реакциялар боради:



Бу жараёнларда темир қайтарилувчи сифатида, хлор эса оксидловчи иштирок этиб, металл сиртида оксидли плёнка ҳосил бўлади.

Кимёвий механизм кўпинча газ коррозияси жараёнларида ва суюқ ноэлектролит муҳитларда амалга ошади.

Кўпгина жараёнлар учун кимёвий коррозия боришининг асосий шarti металл сиртида сув пардасининг бўлмаслиги ҳисобланади. Бу талабни куйидаги шартлардан бирига риоя қилингандагина бажариш мумкин:

- реакцияга киришувчи газларнинг намлиги минимал (одатда 0,01 % дан ошмаган) бўлиши керак;
- металл ва газ контакти металл сиртида конденсация амалга ошмайди-ган, “шудринг нуқтаси”дан юқори ҳароратларда бўлиши керак;
- металл қутбсиз органик бирикмалар муҳитида бўлиши керак.

Технологик жараёнларда газларнинг коррозион фаоллигини камайтириш мақсадида кўпинча уларни қуритиш босқичи киритилади.

Юқори ҳароратли газ коррозиясининг вужудга келиши ҳарорат интервали билан аниқланади. Пастки чегара металл сиртида буғнинг конденсацияланиш ҳароратига мос келади. “Шудринг нуқтаси” деб аталувчи бу ҳолат сув

буғларининг парциал босимиға боғлиқ. Атмосфера босимида ҳаво учун бу ҳарорат 240-250 °С ни, иссиқлик электростацияларидан чиқаётган газлар учун 90-100 °С ни ташкил қилади.

“Шудринг нуктаси”дан юқори ҳароратларда кимёвий газ коррозия соҳаси бошланади.

Юқори ҳарорат чегараси металлнинг *иссиқликка чидамлилиги* ва *иссиқликка мустаҳкамлиги* каби хоссалари билан аниқланади.

*Иссиқликка чидамлилик* металлнинг юқори ҳароратда газлар коррозия таъсирига қаршилик қила олишини характерлайди.

*Иссиқликка мустаҳкамлиги* юқори ҳароратли газлар таъсирида тегишли механик хоссаларини, мустаҳкамлигини ва сирпанишга қаршилигини сақлаб қолиш қобилиятини аниқлайди.

Металл иссиқликка чидамли, лекин мустаҳкам бўлмаслиги ва аксинча иссиқликка мустаҳкам аммо иссиқликка чидамлилиги бўлмаслиги мумкин.

Масалан, иссиқликка мустаҳкам пўлатларни 700° С, алюминий ва мис қотишмаларини — 400-450 °С, кўрғошин қотишмаларини — 150 °С ҳароратгача эксплуатация қилиш мумкин. Самарали мужассам, 1000° С гача иссиқликка ҳам чидамлилиги, ҳам мустаҳкам бўлган композицияларга никел – хром қотишмалар тизими орқали эришиш мумкин.

Металларнинг оксидловчи муҳит билан юқори ҳароратлардаг ўзаро таъсири жуда кўп кимёвий жараёнларда учрайди.

Мисол. Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун олтингугуртли хом ашёни куйдириш, азотли бирикмаларни олишда  $\text{CH}_4$  метанни конверсиялаш, азот кислотаси олишда аммиакни оксидлаш жараёнлари 700-800° С ҳароратларда олиб борилади. Водород хлориди  $\text{HCl}$  ни синтез қилиш жараёни эса 1000-1200°С ҳароратда кечади. Бундай мисолларни жуда кўп плакелтириш мумкин.

Келтирилган мисолларнинг барчасида қурилмаларнинг ишчи сирти агрессив газ муҳити билан таъсирлашиб, метал сиртида оксидли ёки тузли бирикмаларнинг ҳосил бўлишига олиб келади.

## **2.2. Металлар структураси ва унинг коррозия жараёнларига таъсири.**

Сирт бирикмаларининг ҳосил бўлиши, уларнинг металлга адгезияси ва хоссалари коррозия жараёнига таъсир қилади. Ўз навбатида бу кўрсаткичлар металлнинг структураси ва таркибига боғлиқ.

Металлар асосан кристалл тузилишга эга. Кристалл панжара тугунларида мусбат зарядланган ионлар жойлашган бўлиб, электронлар металлда эркин ҳаракатланади.

Кристалл панжара атомлари қатъиян даврий жойлашган идеал кристалллардан фарқли ҳолда, реал кристалларда доимо дефектлар деб

аталувчи структура мунтазамлигининг бузилиши кузатилади. Реал металл конструкция материалларда идеал кристалл ҳолатнинг бузилишига металлнинг кристалланишидаги номувозанат шароитлар, унинг таркибида легирловчи ва қўшимча элементларнинг бўлиши, кристалл панжара деформацияси, буюмларни тайёрлаш жараёнидаги механик, термик, радиацион ва бошқа факторларнинг таъсири асосий сабаб бўлади.

Ҳозирги вақтда металл конструкция материалларнинг дефектларини синфлашнинг бир неча усуллари мавжуд:

- морфологик аломатлари бўйича — ташқи, ички, жорий қилинган, бириктирилган ва б.;
- келиб чиқишига (генетик аломатларига) кўра — қуйилган, пайвандланган, термик, деформацион, коррозион ва б.;
- структуравий аломатлари бўйича — ёриқлар, ковакчалар, ортиқча фазалар, металлмас аралашмалар, донадорлик чегаралари ва б.;
- геометрик ўлчамлари бўйича — макро- ( $> 1$  мм), микро- ( $\sim 200$ - $1000$  мкм) ва субмикро- ( $\sim 0,1$ - $200$  мкм) дефектлари;
- геометрик тузилиш аломатлари бўйича — нуқтавий, чизикли, икки ўлчамли ва б.;

Кристалл панжара дефектлари металлнинг белгиланган муҳим хоссаларини ўзгартиради, унинг кимёвий ва электрокимёвий характеристикаларига таъсир қилади. Металл сиртига чиққан структуравий дефектлар юқори реакция қобилиятга эга бўлиб, коррозиянинг энг биринчи ўчоғи ҳисобланади. Биржинслиликдан четлашишнинг исталган кўриниши ҳам кимёвий, ҳам электрокимёвий коррозияни кучайтиради.

Нуқтавий дефектнинг тўрт асосий кўриниши мавжуд:

- вакансиялар;
- эгаллаган ва сингиган қўшимча атомлар;
- дислокацияланган атомлар;
- Френкеля дефектлари.

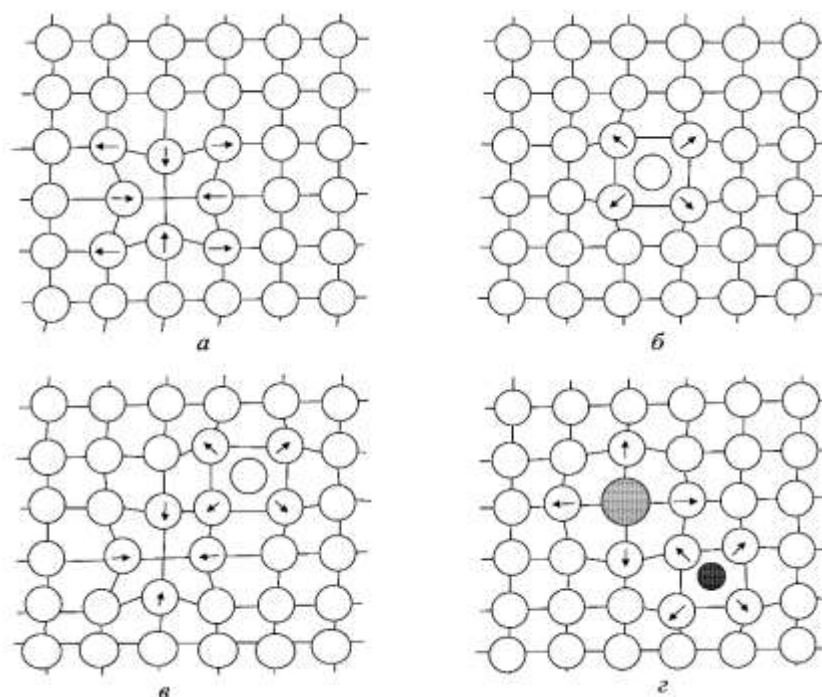
*Вакансиялар* (2.1, а - расм) энг кўп учрайдиган нуқтавий дефектлардан ҳисобланиб, кристалл панжарадаги бўш тугунлар ҳисобланади. Бундай дефектларни *дислокацияланган* (2.1, б-расм) — ўзининг асосий мувозанат ҳолатидан тугунлар орасидаги бўш жойга силжиган металл атомлари ҳам ҳосил қилади. Дислокацияланган атомлар асосан ҳажми катта бўлган бўшлиқларда жойлашади, чунки бу ҳолда кристалл панжара минимал деформацияланади.

Вакансияларнинг ҳосил бўлиши атомлар дислокацияси билан бир вақтда амалга ошиши мумкин. Бундай ҳолларда Френкел дефектлари дейиладиган жуфт дефектлар ҳосил бўлади (2.1, в-расм).

Конструкция материаллар турига кирадиган техник жиҳатдан тоза металллар структурасида доимо *эгаллаган* ва *киритилган* қўшимча атомлар



мавжуд бўлиб (2.1,  $z$ -расм), нафақат физикавий балки кимёвий табиатга эга бўлган дефектлар учрайди.



**2.1-расм. Кристаллардаги нуқтавий дефектларнинг кўринишлари.** *a* – вакансия; *b* – дислокация; *v* – Френкел дефекти; *z* – қўшимча киритилган атомлар; Стрелкалар билан атомларнинг кристалл панжарадаги силжиш йўналишлари кўрсатилган.

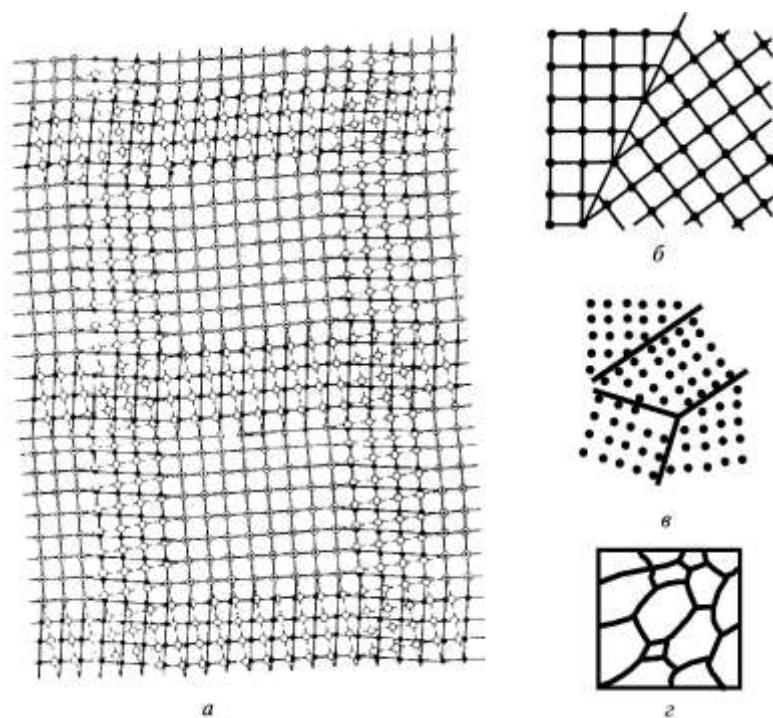
Қўшимча *эгаллаган* атомлар кристалл панжарадаги асосий металл атомларини силжитган ҳолда кристалл панжара тугунларида жойлашиб олади. Қўшимча *киритилган* атомлар кристалл панжара тугунлари билан чегараланган бўшлиқда жойлашади (2.1,  $z$ -расм). Қотишмаларнинг ҳосил бўлишида эриган ва асосий металл атомларининг диаметрлари нисбати 0,59 ошмаган ҳолда киритилган атомлар пайдо бўлади.

Легирлаш жараёнида легирловчи компонент ионлари қаттиқ эгалланган ва силжитувчи эритмалар ҳосил қилиб, асосий металл атомлари кристалл панжарасига кириши мумкин.

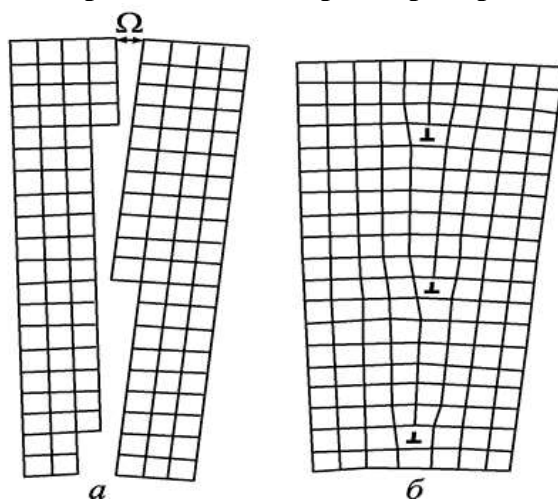
Дислокациялар туфайли кристалл панжарада чизикли Бир ўлчамли дефектларни ҳосил қилади. Дислокациялар совитилаётган металлнинг қотиш жараёнида ва металлга механик ёки бошқа ташқи таъсирлар туфайли вужудга келади. Конструкцион материалларда дислокациялар яхлит тўрлар ҳосил қилади. Металл буюмларни тайёрлаш шароитига қараб улардаги дислокациялар зичлиги  $10^3 - 10^4 \text{ см}^{-2}$  дан (яхши қиздирилган материалларда)  $10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-2}$  гача (пластик деформацияланган материалларда) бўлиши мумкин. Поликристалл материалларда дислокацияларнинг ўртача зичлиги  $10^6 - 10^8 \text{ см}^{-2}$  ни ташкил қилади.

Кристалл панжарадаги текислик ва сирт дефектларига (2.2 ва 2.3-расмлар) турлича ориентирлашган соҳалар — доналар (2.2 *а, в, з*-расм), блоклар (2.2 *б*-расм), қўшалок кристалларни (2.2 *б*-расм), шунингдек турли упаковки атом қатламларини ажратувчи чегаралар мисол бўла олади.

Чегараларнинг турлари ориентирланиш йўналиши орасидаги  $\Omega$  бурчак орқали (2.3 *а*-расм) фарқланади.  $\Omega$  бурчакнинг қиймати одатда блоклар учун 0,01 рад ( $\sim 1^\circ$ ) ни ташкил қилса, доналар учун у ўнлаб градусгача бўлиши мумкин.



2.2-расм. Оддий куб панжарада чегараларнинг кўриниши. *а* – бурчалиш чегараси; *б* – когерент қўшалок чегара; *в, з* – катта бурчак остида жойлашган ориентирлашган доналар чегаралари (*з* – умумий кўриниш).



2.3-расм. Кичик бурчакли чегараларнинг ҳосил бўлиши. *а* – турлича ориентирлашган икки кристаллнинг жойлашиши; *б* – кичик бурчакли чегара;

Металл конструкцион материалларнинг асосий қисми ишлаб чиқариш технологияси кўп босқичли ва ишлаб чиқариладиган материалнинг хусусиятлари билан боғлиқ бўлган эритиб-қуйиш орқали амалга оширилади.

Металлар ва қотишмаларни эритиб-қуйиш жараёнининг умумий томонларидан бири – рудали материалларни ва хом ашёларни қийин эрийдиган компонент эриш температурасидан ҳам юқори ҳароратгача қиздириш, кейинчалик қотиш температурасигача, сўнгра эса уй ҳароратигача совутишдир.

Менделеев даврий системасидаги элементларнинг эриш температураси билан тартиб рақами орасидаги боғланиш графиги 2.4-расмда келтирилган.

Қотиш жараёнида металлнинг агрегат ҳолати ўзгариб, у суюқ ҳолатдан каттик ҳолатга ўта бошлайди. Бунда атомлар кристалл панжара тугунларида каттик жисмларга хос бўлган қонуниятлар асосида мунтазам равишда тартиб билан жойлаша бошлайди.

Қотиш жараёнида жисмнинг ҳажми 2-6% га камаяди, яъни кристалл панжара тугунлари бўйлаб жойлашуви жараёнида атомлар орасидаги масофа камайиши туфайли бундай ҳол кузатилади. Қотаётган металл учун компакт панжара қанчалик хос бўлса, бу эффект шунчалик кучли бўлади.

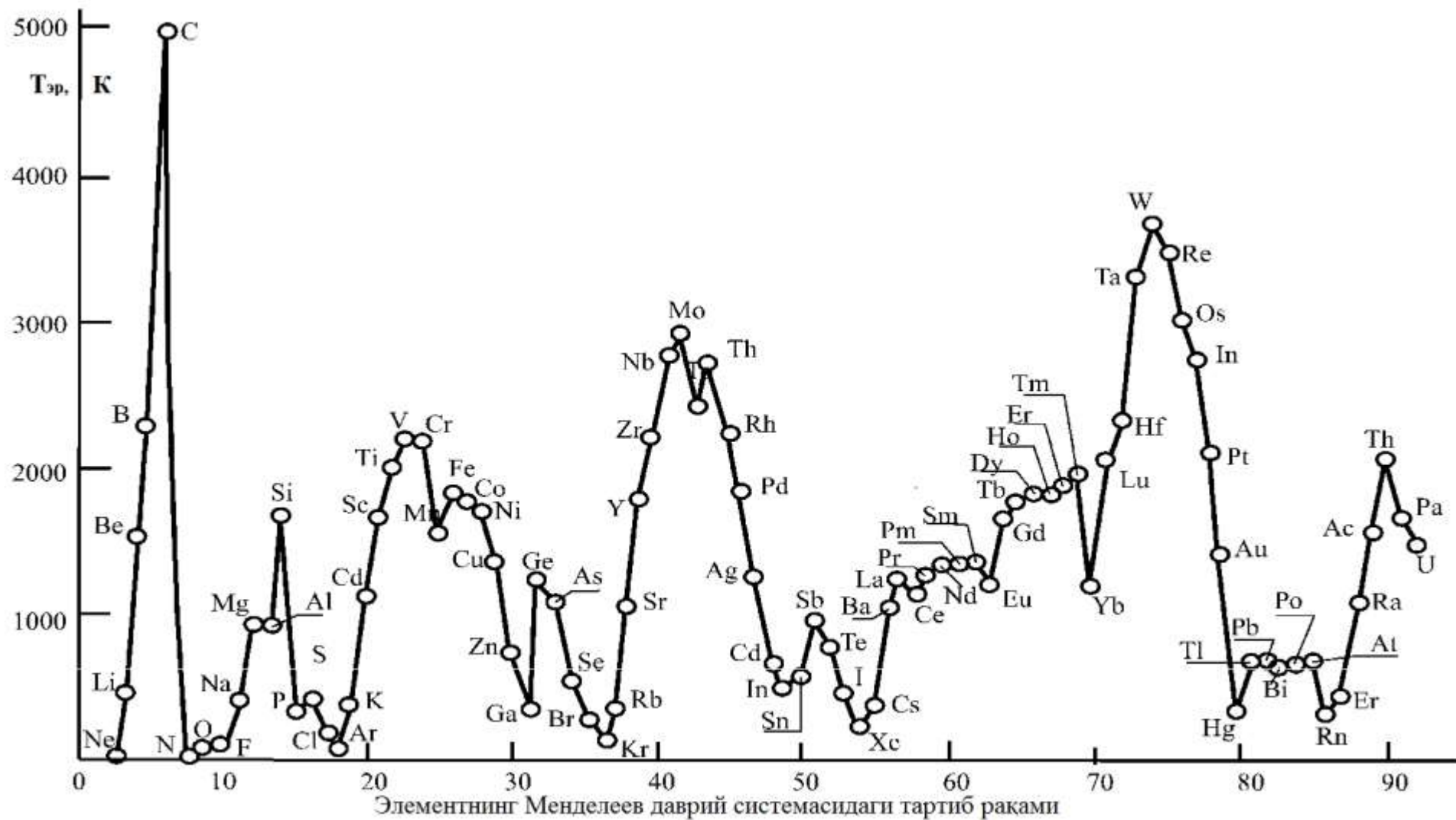
Қотиш жараёнида металл ҳажмининг камайиши оқибатида реал қуйма структурасида кўпича ёриқлар, ғовакликлар, бўшлиқлар каби макродефектлар ҳосил бўлади. Мародефектлардан ташқари қотган металлда кўп сонли микродефектлар — вакансиялар, дислокациялар, упаковка дефектлари, бўлиниш чегаралари ҳам мажуд бўлади.

Конструкцион материалларда учрайдиган микро- ва мародефектлар, қолдик кучланиш ўчоғлари, алоҳида қисмларнинг электр ўтказувчанлиги ва бошқалар уларнинг эксплуатацион даврида коррозия тезлигининг ортишига олиб келади. Бундай камчиликларни бартараф этиш мақсадида тоблаш, қуйдириш каби технологик операциялар амалга оширилади.

Қотишмаларни тавсифлаш учун кўпинча фазавий тузилиши ва кимёвий таркибининг ҳароратга боғлиқлигини ифодаловчи ҳолат диаграммаси ёки мувозанат диаграммасидан фойдаланилади.

Таркибида икки кимёвий элемент (компонент) бўлган қотишма энг оддий қотишмага мисол бўлади. Гиббснинг фазалар қоидасига кўра, мувозанат ҳолатидаги системанинг ( $G_{\text{мув}}$ ) эркинлик даражалари сони (мажуд фазалар таркиби ва миқдорини бузмаган ҳолда ўзгартириш мумкин бўлган системага таъсир этувчи эркин ўзгарувчилар сони) унинг компонентлари сони ( $K_{\text{ком}}$ ), фазалар миқдори ( $\Phi$ ) ва ўзгарувчи параметрлар сони ( $\Pi$ ) билан аниқланади. Металл материаллар учун кўпинча температура  $T$  ва босим  $P$  ташқи эркин параметрлар бўлиб ҳисобланади, яъни  $\Pi_{\text{пар}} = 2$ .

$$G_{\text{мув}} = K_{\text{ком}} - \Phi + \Pi \quad (2.1)$$



2.4-расм. Элементлар эриш температурасининг уларнинг Менделеев даврий системасидаги тартиб рақамига боғлиқлиги

### 2.3. Металлар коррозияси жараёнлари термодинамикасининг асослари

Коррозия жараёнларида борувчи кўпгина реакциялар қайтувчи ҳисобланади. Термодинамика қонунлари у ёки бу шароитда қайси бирикма ҳосил бўлиш эҳтимоллигини аниқлаш имконини беради.

Газ коррозиясидан металларни ҳимоялаш методларидан бири – ҳимоя муҳитини яратиш мувозанатни мақсадли силжитишга асосланган.

Термодинамикада модданинг ҳолатини аниқлаш учун ички энергия ( $U$ ), энталпия ( $H$ ), энтропия ( $S$ ), изобар-изотермик потенциал ( $G$ ), кимёвий потенциал ( $\mu$ ) каби тушунчалардан фойдаланилади.

Жараёнда ички энергиянинг ўзгариши ажраладиган иссиқлик миқдори ( $Q$ ) ва система томонидан бажариладиган иш ( $A$ ) билан боғлиқ:

$$\Delta U = Q - A. \quad (2.2)$$

Ўзгармас ҳажмли системада кечаётган кимёвий реакция ҳолида ички энергиянинг ўзгариши тескари ишора билан олинган реакция иссиқлик эффектига тенг.

Ўзгармас босимдаги модда энергияси энталпия ( $H$ ) билан характерланади. Энталпия ички энергиядан система ўзгармас босимда бажарадиган иш миқдорида катта бўлади:

$$H = U + PV \quad (2.3)$$

Ўзгармас босимда, жараён боришида фақат кенгайиш иши бажарилади десак,

$$A = P \Delta V \quad (2.4) \quad \text{ёки} \quad \Delta H = \Delta U + P \Delta V \quad (2.5)$$

(2.2) ва (2.3) тенгламалардан:

$$\Delta H_P = -Q, \quad (2.6)$$

Бу ерда  $\Delta H_P$  — ўзгармас босимдаги энталпия.

Мувозанат нафақат молекулалар энергиясидаги фарқ билан, балки бошланғич моддалар ва реакция маҳсулотлари ҳолатининг эҳтимоллиги, шунингдек реакциянинг бориш имконияти билан боғлиқдир.

Ҳолатнинг эҳтимоллигини миқдоран аниқлаш имконини берадиган катталик *энтропия* дейилиб, унинг ўзгариши  $\Delta S$  билан белгиланади. Энтропиянинг ўзгариши —  $J/(моль \cdot град.)$  ларда ўлчанади.

Ўзгармас босимда борувчи реакцияларда бир вақтнинг ўзида энталпия ҳам, энтропия ҳам ўзгариб, жараён реакциянинг умумий юритувчи кучи камайдиган йўналишда боради.

Юритувчи куч *эркин энергия* ёки *изобар потенциал* ( $\Delta G$ ) дейилади. Халқаро келишувга асосан 1961 йилдан изобар потенциал “эркин Гиббс энергияси” деб ҳам юритилади. Унинг ўлчов бирлиги —  $J/моль$ . Изобар потенциал модданинг хоссаси ҳисобланиб, бир вақтнинг ўзида ҳам унинг

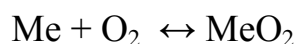
энталпиясини (энергиясини), ҳам унга хос бўлган энтропияни (тартибсизлик даражасини) ифодалайди. Юқоридаги катталикларни ўзаро боғловчи термодинамиканинг асосий тенгламаси куйидаги кўринишда бўлади:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (2.7)$$

Изобар потенциал мувозанат доимийси билан куйидаги тенглама орқали боғланган:

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (2.8)$$

Мисол тариқасида металлнинг оксидланиш реакциясини кўрамиз:



Кислородли газ атмосфераси учун изобар-изотермик потенциал тенгламаси куйидаги кўринишда бўлади:

$$\Delta G = -RT \ln K - RT \ln a_{\text{O}_2} \quad (2.9)$$

Гиббс энергиясини мувозанат ҳолати катталиклари  $P_{\text{O}_2}$  ва ва кислороднинг парциал босими  $P_{\text{O}_2}$  орқали ифодалаб куйидаги тенгламани оламиз:

$$\Delta G = -RT \ln \frac{1}{P_{\text{O}_2}} - RT \ln \frac{P_{\text{O}_2}}{P_{\text{O}_2}} \quad (2.10)$$

(2.10) тенглама орқали оксидланиш жараёнининг бориш имкониятини баҳолаш мумкин. Агарда  $P_{\text{O}_2} > P_{\text{O}_2}$  бўлса, оксидланиш жараёни амалга ошади, чунки  $\Delta G < 0$ . Агарда  $P_{\text{O}_2} < P_{\text{O}_2}$  бўлса, оксидланиш жараёни амалга ошмайди чунки бу ҳолатда  $\Delta G > 0$ .

Бу принципдан металлургия соҳасида газ коррозиясининг олдини олиш мақсадларида фойдаланилади. Масалан, газ муҳитининг  $P_{\text{O}_2}$  парциал босими-ни камайтириш орқали юқори ҳароратларда металл оксидланишининг олдини олишда бу тамойил қўл келади.

#### 2.4. Ноэлектролитларда металллар коррозияси.

Ноэлектролит муҳитларда металллар коррозияси — электр токини ўтказмайдиган суюқликлар туфайли кечадиган коррозия жараёнидир. Ноэлектролитларга бром, эриган олтингугурт, кўплаборганик моддалар (бензол, хлороформ, фенол ва.б.), суюқ ёқилғилар (нефт, керосин, бензин) ва мойлаш материаллари киради.

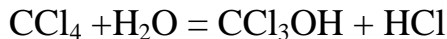
Сувсиз ноэлектролит эритмаларда металллар ва қотишмалар коррозияси электролит эритмаларда анча кичик тезлик билан кўпроқ кимёвий механизм бўйича боради. Шундай бўлсада, бундай муҳитларда коррозия буюмларнинг сезиларли даражада емирилишига ва ишдан чиқишига сабаб бўлади.

Эритилган олтингугурт кимёвий фаол модда бўлиб, деярли барча металлар билан реакцияга киришади. Олтингугурт мавжуд бўлган муҳит айниқса мис, қалай, қўрғошин каби металларга кучли, углеродли пулат ва титанга нисбатан анча суств ва алюминийга нисбатан кучсиз коррозия таъсир кўрсатади.

Намли хлор жиҳозларнинг кучли коррозиясига олиб келади. Бундай муҳитда ишлатиладиган жиҳозлар асосан пўлатдан тайёрланади, бошқа ҳолларда кўпинча металлнинг сирти коррозияга бардошли бўлган никел билан қопланади. Қалинлиги 30 мкм бўлган никел қопламали деталлар ўзининг коррозия бардошлилигини намлиги 0,3 % бўлган хлорли муҳитда ҳам сақлай олади. Ҳолбуки пўлатдан тайёрланган жиҳозлардан хлорли намлик 0,04 % дан кам бўлган муҳитдагина ишлатишга тавсия этилади.

Суюқ бром ҳам хона ҳароратида жуда кўп металлар: мис, кумуш, алюминий, қалай, титан, хром, темир, углеродли пўлатлар ва б. билан кучли таъсирлашади.

Хлорли ва бромли намликнинг жуда жуда оз миқдори ҳам коррозияга агрессив муҳитни вужудга келтиради, бунда кимёвий коррозия электрокимёвий коррозияга ўтади металлнинг оксидланиш жараёни тезлашади. Масалан, намлик туфайли тетрахлорид ( $CCl_4$ ) гидролизланади, натижада агрессив электр ўрказувчи муҳит пайдо бўлиб, пўлатнинг кучли емирилишига сабаб бўлади:



Нефт ва нефтни қайта ишлашдан олинган маҳсулотларнинг коррозия фаоллиги уларнинг таркибидаги олтингугурт ва унинг бирикмалари — олтингугуртли водород ( $H_2S$ ) ва меркаптанларнинг (умумий формуласи  $(R-SH)$  бўлган тиоспиртлар) миқдори билан белгиланади.

Бундай бирикмалар кобальт, никел, қўрғошин, қалай, мис ва бошқа металларнинг сиртида сульфидлар ва  $RS-Me-SR$  турдаги металл меркаптидлари ҳосил бўлиши туфайли уларнинг коррозияланишига сабаб бўлади.

Суюқ маҳсулотлар таркибидаги олтингугурт миқдори қанча кўп бўлса, коррозия жараёни шунча кучли кечади. Масалан таркибида 3,7 % олтингугурт бўлган мазутда пўлатнинг коррозияланиш тезлиги таркибида 0,5 % олтингугурт бўлган мазутдагига қараганда 6 марта юқори бўлади.

Ноэлектролит эритмалар билан контактда бўладиган металл буюмлар бундай муҳитга бардошли материаллардан тайёрланади. Масалан, нефтни қайта ишлашда қўлланиладиган жиҳозлар юқори хромли пўлатлардан тайёрланади. Пўлат буюмларни коррозиядан сақлашда уларнинг сиртига химоя қопламаларини суртиш усуллари ҳам ҳозирги вақтда кенг қўлланилади.

## **Иккинчи бобга тегишли услубий тавсиялар**

### **Назорат саволлари**

1. Газ коррозияси кечадиган шароитларни тушунтиринг.
2. Металларнинг иссиқликка бардошлилиги ва чидамлилигини тушунтиринг.
3. Коррозиянинг кимёвий механизмини тушунтиринг.
4. Кристалл панжаранинг қандай турларини биласиз?
5. Кристалл панжара дефектларининг қандай кўринишларини биласиз?
6. Металлнинг қотиш жараёнида унинг структурасида қандай ўзгаришлар юз беради?
7. Коррозия жараёнлари учун термодинамика асосий қонунларининг ифодаларини келтиринг.
8. Кислород парциал босимининг ( $P_{O_2}$ ) металл оксидланишига таъсири қандай?

### **Иккинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари**

1. Қаттиқ жисмларнинг тузилиши. Кристалл панжара ва унинг турлари.
2. Кристалл пажара дефектлари ва ва уларнинг металллар коррозион табиатига таъсири.
3. Менделеев даврий системасидаги металлларни коррозион хусусиятлари бўйича изоҳланг.
4. Термодинамика қонунларининг коррозия жараёнларига қўлланилиши
5. Ноэлектрикларда металлларнинг ўзини тутиши.



### III БОБ.

## МЕТАЛЛАР ГАЗ КОРРОЗИЯСИНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ ҚОНУНИЯТЛАРИ

### 3.1. Металл сиртида оксидланиш маҳсулотлари ҳосил бўлишининг термодинамик эҳтимоллиги.

Табиий шароитларда кўпгина металллар оксидлар ва тузлар кўринишидаги боғланган ҳолатда бўлади. Демак, улар учун бу ҳолат термодинамик жиҳатдан энг барқарор ҳисобланади. Табиий бирикмалардан конструкцион материаллар сифатида фойдаланиладиган металл ва қотишмаларни ҳосил қилиш учун энергия сарфлаш зарур. Шундай қилиб, ишлаб чиқариш шароитларида фойдаланиладиган кўпгина металл ва қотишмалар термодинамик жиҳатдан беқарор ҳолатда бўлади.

Металлларнинг металл ҳолатдан ион ҳолатига ўтишга мойиллиги эркин энергиянинг камайиш катталиги ( $\Delta G^0$ ) билан характерланади ва кимёвий коррозия жараёнларининг моҳиятини ташкил қилади.

3.1-жадвалда металлларнинг кислород билан таъсирлашиши оқибатида ион ҳолатига ўтиш реакциялари учун Гиббс энергиясининг ўзгариши ҳақидаги маълумотлар келтирилган. Жадвалнинг бошланишида коррозияга унчалик чидамли бўлмаган (K, Ca, Na, Mg) металллар жойлашган. Бу реакцияларнинг ионизация энергияси эркин энергиянинг камайиши билан кечади ва  $\Delta G^0$  нинг камайиши қанча сезиларли бўлса, уларнинг оксидланган ҳолатга ўтиш эҳтимоллиги шунча катта бўлади. Бу металллар табиатда рудалар ва тузлар кўринишида бўлади.

#### 3.1-жадвал

Атмосфера шароитида (25°C; 0,1 МПа) металлларнинг оксидланиш реакциялари учун эркин энергиянинг ўзгариши

Реакция	Оксид ҳосил бўлишида эркин энергиянинг ўзгариши, кЖ/г-эқв.	Реакция	Оксид ҳосил бўлишида эркин энергиянинг ўзгариши, кЖ/г-эқв.
$K \leftrightarrow K^+$	-360,9	$Ni \leftrightarrow Ni^{2+}$	-102,6
$Ca \leftrightarrow Ca^{2+}$	-356,3	$Sn \leftrightarrow Sn^{2+}$	-91,8
$Na \leftrightarrow Na^+$	-340,3	$Pb \leftrightarrow Pb^{2+}$	-90,9
$Mg \leftrightarrow Mg^{2+}$	-307,3	$Cu \leftrightarrow Cu^{2+}$	-46,14
$Al \leftrightarrow Al^{3+}$	-239,5	$Hg \leftrightarrow \frac{1}{2}Hg_2^{2+}$	-9,42
$Mn \leftrightarrow Mn^{2+}$	-192,2	$Ag \leftrightarrow Ag^+$	-8,51
$Zn \leftrightarrow Zn^{2+}$	-153,6	$Pd \leftrightarrow Pd^{2+}$	+16,54
$Cr \leftrightarrow Cr^{3+}$	-150,3	$Ir \leftrightarrow Ir^{3+}$	+17,84
$Fe \leftrightarrow Fe^{2+}$	-127,3	$Pt \leftrightarrow Pt^{2+}$	+36,0
$Cd \leftrightarrow Cd^{2+}$	-117,2	$Au \leftrightarrow Au^{2+}$	+65,73
$Co \leftrightarrow Co^{2+}$	-105,5		

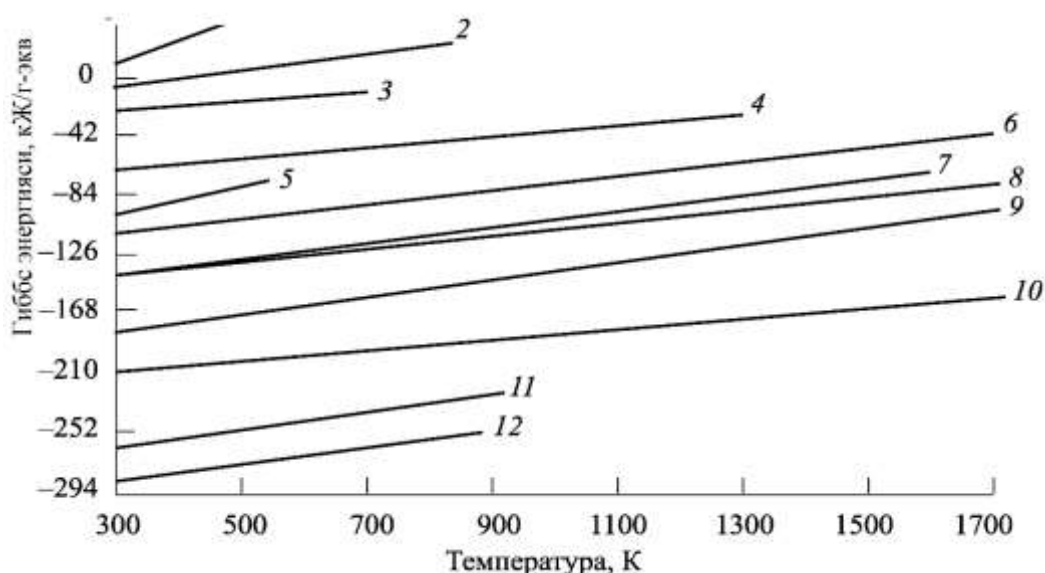
Жадвал охирида коррозияга янада бардошлироқ металллар (Pd, Ir, Pt, Au) жойлашган. Система эркин энергияси ўзгаришининг мусбат қиймати ионизация реакцияларининг ўз-ўзидан бормаслигини билдиради. Табиий шароитларда олтин, платина, иридий ва палладийлар термодинамик барқарор ҳисобланади. Табиатда улар одатда соф ҳолда учрайди.

3.1-жадвалда келтирилган маълумотлар анчагина умумий характеристикалар бўлиб ҳисобланади. Ишлатилиш шароитларига қараб металлларнинг коррозияга бардошлилиги сезиларли даражада ўзгариши мумкин. Масалан, алюминий ва хром азот кислотаси эритмаларида мисга қараганда бардошли бўлади. Шунингдек, ишқорли эритмаларда магнийнинг алюминий ва рухга нисбатан чидамлироқ бўлиши металл сиртида ҳимоя парда (плёнка)ларининг ҳосил бўлиши билан изоҳланади.

Ионизация реакцияларининг мувозанатига муҳит ҳарорати ва босими таъсир кўрсатади. Ташқи параметрлар ўзгарганда коррозия жараёнининг бориш-бормаслиги тўғрисида хулоса қилиш учун изобар потенциали ишорасининг ўзгаришини аниқлаш лозим.

Босимнинг таъсирини ўрганишда кислород парциал босими  $P_{O_2}$  ни техник қўллай олишнинг тахминий чегаралари ( $10^{-5}$  дан  $10^9$  Па гача) инобатга олинади.

Маълумотномалардан олинган қийматлар шуни кўрсатадики (3.1-расм), кўпгина металллар учун ҳарорат ортиши билан металл оксидланиши жараёнининг термодинамик эҳтимоллиги камаяди. Бу қонуният тузларнинг ҳосил бўлишига ҳам тегишлидир.



3.1-расм. Баъзи металл оксидларининг ҳосил бўлишига  $\Delta G^0$  ҳароратнинг таъсири:

- 1 — Au<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2 — Ag<sub>2</sub>O; 3 — PtO; 4 — SiO; 5 — PbO; 6 — MO; 7 — FeO;  
8 — Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 9 — Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 10 — TiO<sub>2</sub>; 11 — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 12 — MgO.

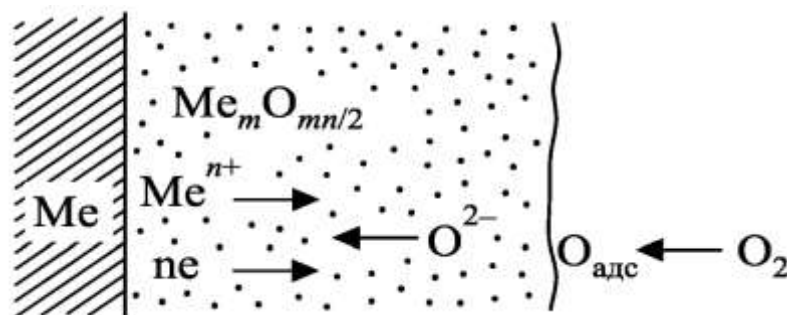
### 3.2. Металлар газ коррозиясининг асосий босқичлари.

Коррозия маҳсулотларининг ҳосил бўлиши бир қатор кетма-кет ва параллел боровчи реакцияларнинг бориши натижасида амалга ошади. 3.2-расмда металлнинг газ фазасидаги кислород билан оксидланганида яхлит оксид пардасининг ҳосил бўлиш схемаси ифодаланган.

Металлнинг оксидланиш жараёни бир неча босқичда амалга ошади:

- 1) металлнинг ионлашуви, унинг ионлар шаклига ва электронларнинг оксид қатламига ўтиши;
- 2)  $Me^{n+}$  металл ионлари ва электронларнинг оксид қатламига силжиши;
- 3) кислороднинг газ муҳитидан оксид сиртига ўтиши ;
- 4) кислороднинг сиртда адсорбцияланиши;
- 5) адсорбцияланган кислороднинг  $O^{2-}$  ионга айланиши;
- 6)  $O^{2-}$  кислород ионининг оксид қатламига кўчиши;
- 7) оксид ҳосил бўлиш реакциясининг бориши;

Баъзи ҳолларда жараён айрим босқичларсиз амалга ошиши ёки трансформацияланиши мумкин. Бироқ умуман олганда барча босқичлар бири-бирига боғлиқ ва кетма-кет амалга ошади. Жараён тезлигининг йиғиндиси энг секин борадиган реакция тезлиги билан аниқланади. Масалан, агарда 3-босқич секин кечса, унда жараён ташқи диффузия билан лимитланади. Агарда 1-, 2- ёки 6- жараёнлар секин борса у ҳолда ички диффузион назорат ўринли бўлади.



3.2-расм. Металлда оксид пардаси ҳосил бўлиш жараёнининг схемаси.

Металлар газ коррозиясининг ажралиб турадиган хусусиятларидан бири жараённинг баъзи ҳолларда вақт бўйича сўниши бўлиб ҳисобланади. Бу ҳол металл сиртида ҳимоя плёнкаси ҳосил бўлгандагина кузатилади. Агар плёнка яхлит, бутун ва сирт билан яхши адгезияга эга бўлса, у металлни агрессив муҳитдан ажратади, натижада коррозия тўхтади ёки жуда секинлашади. Бундай жараённинг биринчи босқичи оксидловчининг металл сиртига адсорбцияланиши бўлиши лозим.

### 3.3. Металлар сиртида газларнинг адсорбцияланиши

*Фазаларнинг бўлиниш чегарасида модда концентрациясининг ўзгаришига адсорбция дейилади.* Адсорбцион мувозанат, яъни чегаравий қатлам билан чегараловчи фазалар орасида модданинг мувозанатлашган тақсимланиши динамик ҳолат бўлиб, тез амалга ошади.

Қаттиқ жисм сиртида жойлашган заррачалар ортиқча энергияга эга бўлади. Шу сабабли атроф муҳит молекулалари металлга тортилади ва унинг сиртида тўплана бошлайди (корнцентрланади). Бу жараён мусбат иссиқлик эффекти билан доимо ўз-ўзидан боради.

Адсорбциянинг икки — физикавий ва кимёвий (хемосорбция) кўриниши мавжуд.

Физикавий адсорбция вандер-ваальс кучлари билан ўзаро боғлиқ. Металл сирти билан атсорбат молекулалари орасидаги боғланиш энергияси унчалик катта эмас (тахминан 40-50 кЖ/моль). Бунда мувозанат тез амалга ошади. Адсорбцияланган моддалар металл сиртидан осонгина олиниши мумкин. Физикавий адсорбция адсорбатнинг конденсацияланиш ҳароратига яқин бўлган паст ҳароратларда янада яққол кечади.

*Хемосорбция деб адсорбцияланадиган модда ва металл молекулалари иштирокида борадиган кимёвий реакция жараёнига айтилади.* Бундай жараёнларда атомлар орасидаги боғланиш энергияси 150-160 кЖ/моль қиймат атрофида баҳоланади. Металл ва оксидловчи молекулалари орасидаги боғланиш ион характерига эга. Бунда металл адсорбцияланувчи модда атомларига электронларни беради. Хемосорбция жараёни жуда тез (секунднинг улушларича вақтда) амалга ошади. Бу жараёнда адсорбцияланган плёнканинг ташқи сирти манфий, ички сирти эса — мусбат зарядланади.

*Ҳарорат  $T = const$  бўлганда қаттиқ жисм сиртидаги барқарорлашган адсорбат миқдори билан концентрация ёки  $P$  босим (агар адсорбат газ бўлса) орасидаги функционал боғланиш адсорбция изотермаси дейилади.*

Адсорбция изотермаси биринчи марта Ленгмюр томонидан назарий изохлаб берилган. Унинг томонидан жараён моделини соддалаштирувчи бир неча таъкидлар қилинган, улар қуйидагилардан иборат:

- адсорбент сирти энергетик жиҳатдан биржинсли;
- адсорбат заррачалари сиртда бир-бири билан қатъиян ўзаро таъсирлашмайди;
- сиртдаги бирта фаол марказга адсорбцияланган модданинг бирта заррачаси тўғри келади;
- фақатгина мономолекуляр адсорбцион қатлам ҳосил бўлади.

Адсорбция жараёнининг тезлиги  $v_{ад}$  газнинг босими  $P$  га ва металл сирти бўш қисмининг катталигига тўғри пропорционал бўлади:

$$v_{ад} = K_{ад} P (1 - \Theta) \quad (3.1)$$

бу ерда  $K_{ад}$  — адсорбция жараёни тезлигини характерловчи катталиқ;  
 Тескари — десорбция жараённинг тезлиги сезувчан молекулалар билан  
 қопланган сирт юзасига тўғри пропорционал бўлади:

$$v_{дес} = K_{дес} \Theta \quad (3.2)$$

бу ерда  $K_{дес}$  — десорбция жараёни тезлигини характерловчи катталиқ;  $\Theta$  —  
 адсорбат заррачалари билан қопланган металл сиртининг улуши;

Мувозанат ҳолати юзага келганда адсорбция тезлиги десорбция тезлигига  
 тенг бўлади:

$$v_{ад} = v_{дес} \quad (3.3)$$

(3.1) ва (3.2) тенгламаларга асосан

$$K_{ад} P (1 - \Theta) = K_{дес} \Theta \quad (3.4)$$

Бу тенгламани  $\Theta$  га нисбатан ечиб қуйидагини оламиз:

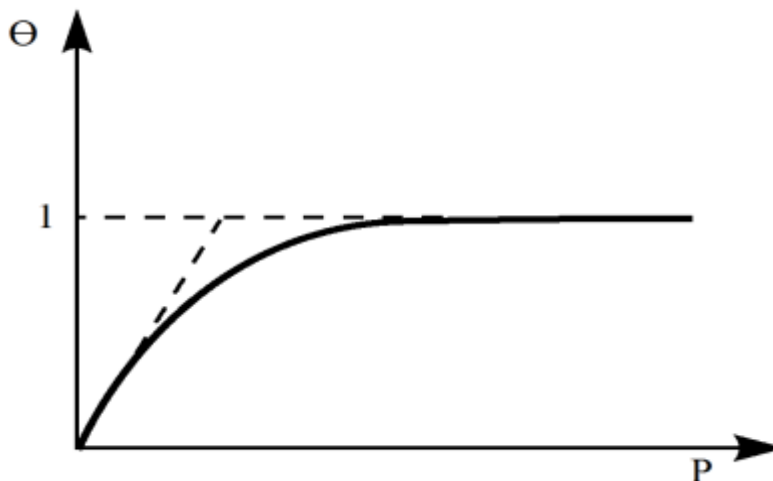
$$\Theta = \frac{K_{дес} P}{K_{дес} + P + K_{ад}} \quad (3.5)$$

Сурат ва махражни  $K_{дес}$  га бўлиб,  $K_{ад}/K_{дес} = b$  деб қабул қилиб қуйидаги  
 тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\Theta = \frac{bP}{1 + bP} \quad (3.6)$$

бунда  $b$  — адсорбция коэффиценти.

(3.6) ифода Ленгмюр формуласи дейилиб, изотермалар ифодаси  
 ҳисобланади. Унинг график кўриниши 3.3-рамда ифодаланган.



3.3-расм. Ленгмюр изотермаси

$\Theta = 1$  бўлганда графикнинг горизонтал қисми ҳосил бўлиб, бу соҳа тўлган  
 моноқатлам ҳосил бўлганини ифодалайди.

Адсорбция жараёни кучсиз ( $\Theta$  кичик) ёки босим  $P$  жуда кичик бўлганда  
 $(1 + bP \cong 1)$  металл сиртининг қопланиш даражаси кам ва у босимга тўғри  
 пропорционал бўлади:

$$\Theta = bP \quad (3.7)$$

(3.3) ифода тақсимот қонунини ифодалайди ва у Генрининг изотермалар ифодаси ҳисобланади.

Юқори босимларда  $1+bP \cong bP$  деб олиш мумкинлигидан, (3.3) ифодадан қийидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\Theta = 1$$

Бундай ҳолат 3.3-расмдаги графикнинг горизонтал қисмига тўғри келади, яъни босимнинг кейинги пропорционал ортиши қаттиқ металл сиртида адсорбцияланган модда миқдорига таъсир қилмайди.

Агар металл сиртига газлар аралашмаси адсорбцияланаётган бўлса, сиртнинг  $i$ -копонент билан қопланиш даражаси қуйидаги формуладан аниқланади:

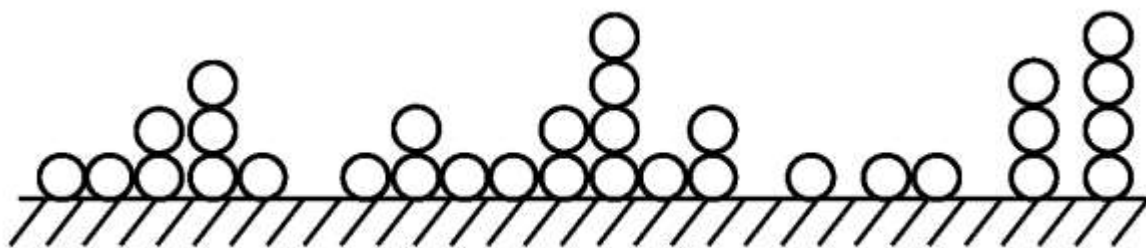
$$\Theta = \frac{b_i P_i}{1 + \sum b_i P_i} \quad (3.8)$$

Бунда сумма газ аралашмасининг барча « $n$ » компонентлари бўйича олинади. Кўп ҳолларда қаттиқ металлнинг сирти энергетик нуқтаи назардан биржинсли бўлмайди. Металл сирти турлича адсорбция иссиқлигига эга бўлган жуда кўп элементар юзачалардан иборат бўлади. Шунинг учун  $\Theta$  ни ҳисоблашда қуйидаги ифодадан фойдаланилса натижалар экспериментал қийматларга янада яқин келади:

$$\Theta = \frac{1}{f} \ln a_o P \quad (3.9)$$

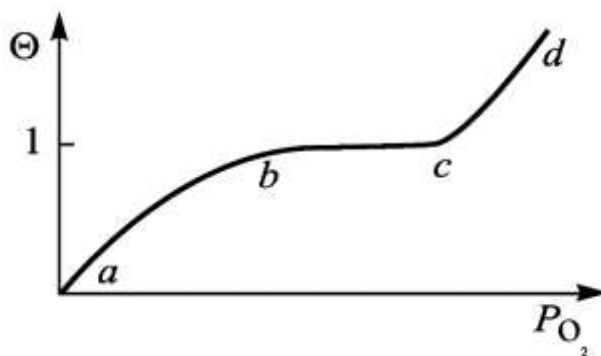
Бу ерда  $f$  — тақсимот функциясини ифодаловчи коэффицент,  $a_o$  — адсорбция иссиқлиги энг катта бўлгандаги адсорбцион коэффицент. (3.9) ифода *адсорбциянинг логарифмик изотермасини* ифодалайди. Бу ифодани назарий чиқарган олим М.И. Темкин ҳисобланади. Уни биринчи марта экспериментал тасдиқлаш А.Н. Фрумкин ва А.И. Шлыгинга насиб этган.

Адсорбция мономолекуляр ёки полимолекуляр бўлиши мумкин. Полимолекуляр ҳолда адсорбент сиртида бир неча қатлам ҳосил бўлади. Биринчи мономолекуляр қатлам қаттиқ жисм сирти билан адсорбат молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучи туфайли вужудга келади. Иккинчи ва ундан кейинги қаватлар ван-дер-ваальс кучлари ёрдамида тутиб турилади. Адсорбат қатламлари сирт бўйича текис тақсимланмайди. Баъзи жойларда улар икки ёки уч қават бўлиши мумкин. Шунингдек, баъзи участкалар моноқатлам билан қопланиб (3.4-расм), баъзи жойлар адсорбатдан умуман холи бўлиши мумкин. 3.4-расмда Брунауэр назариясига асосан металл сиртининг адсорбцияланган модда молекулалари билан қопланиш схемаси тасвирланган.



**3.4-расм. Кўп қаватли адсорбция жараёнида адсорбент сиртининг қопланиш схемаси**

3.5-расмда кислород учун адсорбция изотермаси келтирилган. Бу графикдаги *ab* ва *bc* қисмлар мономолекуляр, *cd* эса полимолекуляр адсорбцияни ифодалайди.



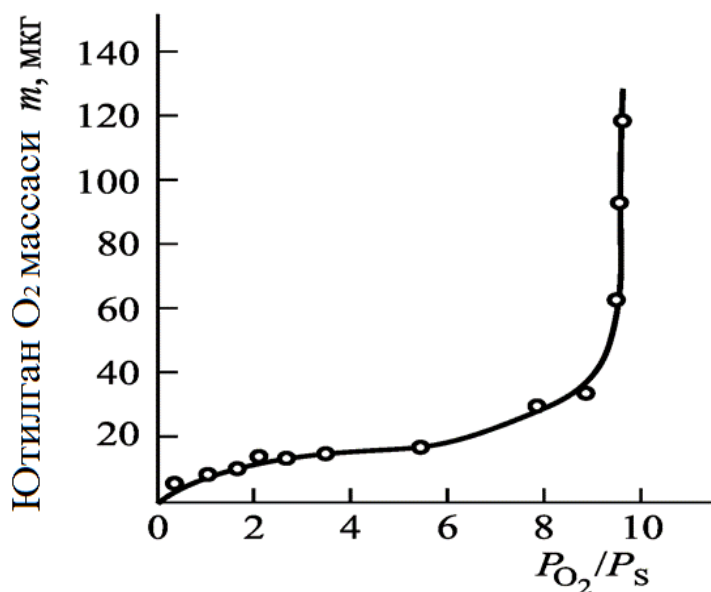
**3.5-расм. Кислород учун адсорбция изотермаси.**

### **3.4. Металл сиртида кислороднинг адсорбцияланиши ва оксид қатламининг ҳосил бўлиши.**

Кислород  $O_2$  молекулалари металл сиртида қайтувчан адсорбцияланади. Юза бирлигига тўғри келадиган адсорбат миқдори  $\frac{P_0}{P_S}$  нисбат ортиши билан ортади, буерда  $P_0$  – адсорбат сиртидаги кислород босими,  $P_S$  – қаралаётган ҳароратда кислороднинг тўйинган буғ босими. Экспериментал йўл билан олинган натижаларнинг графиги (3.6-расм) 3.5-расмда келтирилган изотермага мос келади.

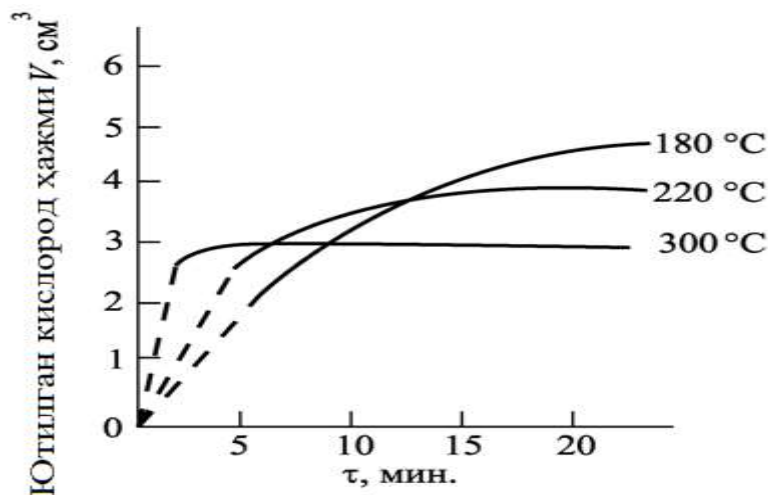
Дастлаб мономолекуляр адсорбция, сўнгра эса  $\frac{P_0}{P_S}$  нисбатнинг маълум бир қийматидан бошлаб кўп қаватли физикавий адсорбция жараёни боради.

Адсорбция тезиги вақт ўтиши билан ортиб боради ва ҳарорат ортиши билан янада тезлашади. 3.7-расмда кислороднинг кумушда адсорбцияланишидаги кинетик эгриликлар келтирилган.



3.6-расм. 77 К ҳароратда алюминийдаги кислород адсорбциясининг изотермаси (Скорчеллетти маълумотлари бўйича).

Металл билан адсорбцияланган кислород молекулалари орасидаги кимёвий боғланиш ион характериға эға. Металл ионлари кислород атомларига тортилади. Бунда кислород атомлари манфий  $O_2^-$  заррачаға айланади. Металл сиртида кислород монокатлами бор экан, янги фаза сифатида оксид ҳосил бўлиши амалға ошмайди. Металл катионлари ва  $O^{2-}$  анионларнинг ўзаро жойлашуви оксид кристалл структурасига мос келадиган ҳолдагина оксид шаклланади.

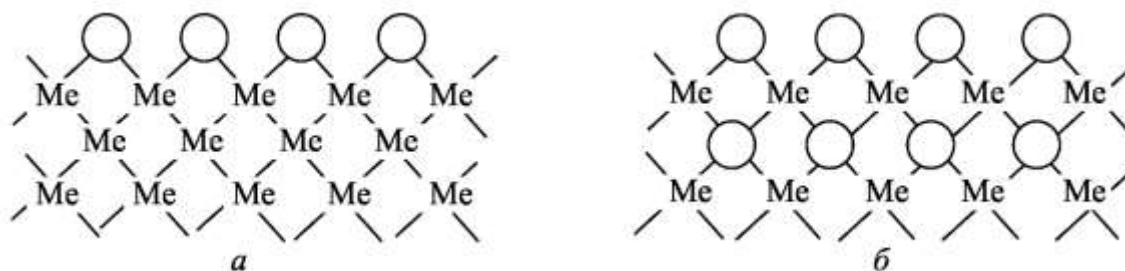


3.7-расм. Кислороднинг турли ҳароратларда қумушда адсорбцияланиш кинетикаси ( $P_{O_2} = 200$  мм см уст).

Адсорбцияланган  $O^{2-}$  ионлар металл сирти остига кириб, ичкарида оксид ҳосил қилиши мумкин. Металлда хемосорбланган қатлам ва металл оксидининг тузилиш схемаси 3.8-расмда келтирилган.

Хемосорбцияланган кислород қатламининг ҳосил бўлиши жуда тез амалға ошади. Кислород ионларининг металл ичига кириши ва оксиднинг ҳосил бўлиш жараёни одатда  $10^4$ – $10^5$  марта секинроқ кечади.





3.8-расм. Металлда хемосорбланган қатлам (а) ва металл оксидининг (б) тузилиш схемаси. Ме – металл; О – кислород;

Атмосфера ва саноат ишлаб чиқариш шароитларида кўпгина металллар коррозия маҳсулотлари пардаси билан қопланган бўлади. Металларнинг иссиқликка чидамлилиги кўпинча ана шу плёнкаларнинг хоссаларига боғлиқ бўлади.

### 3.5. Металлар сиртида пардалар (плёнка)нинг ҳосил бўлиши

Металлар сиртида ҳосил бўладиган пардалар (плёнкалар) унинг агрессив муҳитдаги коррозия чидамлилигини аниқлайди. Плёнкаларни уларнинг қалинлигига кўра қуйидаги турларга ажратадилар:

- қалинлиги 40 нм гача бўлган мономолекуляр қатламдан иборат бўлган *юпқа* (кўринмас) плёнкалар;
- қалинлиги 40 – 500 нм гача бўлган (интерференция туфайли илғаб олинмаган) *ўртача* плёнкалар;
- қалинлиги 500 нм дан катта (кўринадиган) *қалин* плёнкалар;

Ҳосил бўладиган плёнкаларнинг қалинлиги кўп жиҳатдан оксидланиш шароитларига боғлиқ. 3.2-жадвалда темир учун плёнкаларнинг ва оксид пардаларнинг қалинлиги тўғрисидаги маълумотлар уларнинг ҳосил бўлиш шароитларига боғлиқ ҳолда келтирилган.

3.2-жадвал

Темир сиртида ҳосил бўладиган плёнкалар қалинлиги.

Металл	Ҳосил бўлиш шароити		Плёнка қалинлиги, нм	Синфи
Темир (0,04%)	Хона ҳароратидаги қуруқ ҳавода бир неча кун сақлаш		1,5 – 2,0	Юпқа плёнкалар
Темир	Ҳавода 400°C ҳароратда қиздириш			Ўртача қалинликдаги плёнкалар
	Қиздириш вақти, мин.	Плёнка ранги		
	1	сарик		
	1,5	тўқ сарик		
	2,0	қизил		
	2,5	бинафша		
	3,0	кўк		
	Ҳавода 900°C ҳароратда 7 сутка давомида қиздириш		≈ 600 мк	Қалин плёнкалар

Металл сиртида ҳосил бўлган коррозия маҳсулотлари коррозияланишнинг кейинги жараёнини тўхтатиши мумкин.

Бундай қобилиятни характерловчи асосий шартлардан бири ҳосил бўлаётган плёнканинг бутунлиги, яхлитлиги ҳисобланади.

Яхлитликнинг мезони биринчи марта Пиллинг ва Бедворс томонидан таърифлаб берилган. Унга кўра, сирт кимёвий бирикмасининг молекуляр ҳажми (масалан оксиднинг), оксид молекулаларини ҳосил қилиш учун сарфланган металл ҳажмидан катта бўлиши керак.

Ҳосил бўлган оксид ва дастлабки металл ҳажмларининг нисбати қуйидагича осонгина ҳисоблаб топилиши мумкин.

Фараз қилайлик 1 грамм-атом металл оксидланмоқда. Унинг ҳажмини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$V_{\text{Me}} = \frac{A_{\text{Me}}}{\rho_{\text{Me}}} \quad (3.10)$$

Ҳосил бўлган оксиднинг ҳажми

$$V_{\text{ок}} = \frac{M_{\text{ок}}}{n \rho_{\text{ок}}} \quad (3.11)$$

Оксид ҳажми ва металл ҳажмининг нисбати

$$\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}} = \frac{M_{\text{ок}} \cdot \rho_{\text{Me}}}{n \cdot A_{\text{Me}} \cdot \rho_{\text{ок}}} \quad (3.12)$$

Бу тенгнамалардаги  $A_{\text{Me}}$ ,  $A_{\text{ок}}$  – мос равишда металл ва оксиднинг атом массалари;  $\rho_{\text{Me}}$ ,  $\rho_{\text{ок}}$  – мос равишда металл ва оксиднинг зичликларилари;  $n$  – оксид молекуласидаги металл атомлари сони;

(3.12) ифодада  $\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}} > 1$  бўлса плёнка яхлит ва аксинча  $\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}} < 1$  бўлса плёнка яхлит бўлмайди.

Баъзи металл оксидлари учун  $\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}}$  нисбат 3.3-жадвалда келтирилган. Бу жадвалдаги маълумотларга асосан оксиди яхлит плёнка ҳосил қилмайдиган металлларни осонгина олдиндан аниқлаш мумкин.

### 3.3-жадвал

**Баъзи металллар учун оксид ва бошланғич металл ҳажмларининг нисбатлари.**

Металл	Оксид	$\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}}$	Металл	Оксид	$\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}}$
K	K <sub>2</sub> O	0,45	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28
Na	Na <sub>2</sub> O	0,55	Zn	ZnO	1,55
Li	Li <sub>2</sub> O	0,59	Ag	Ag <sub>2</sub> O	1,58
Ca	CaO	0,63	Ni	NiO	1,65
Sr	SrO	0,66	Cu	CuO	1,74
Mg	MgO	0,79	Cr	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,07
Ba	BaO	0,73	Fe	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,14
Cd	CdO	1,21	W	WO <sub>3</sub>	3,35

Жадвалдан кўринадики, ишқорий ва ишқорий-ер металлари вакиллари — K, Na, Li, Ca, Sr, Mg, Ba учун  $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} < 1$ . Пиллинг ва Бедворснинг яхлитлик шартига асосан бу металллар уқаланиб кетадиган, ғовак плёнка ҳосил қилади. Ҳимоявий хосса намоён бўлиши учун плёнканинг яхлитлиги зарур, бироқ етарли бўлмаган шартдир. Реал ҳолатда,  $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} \gg 1$  бўлганда ички кучланиш шундай ортадики, плёнканинг бўртишига ва қатламланишига сабаб бўлади, бу эса ўз навбатида унинг ҳимоя хусусиятларини камайтиради.

Тахминан айтиш мумкинки,  $2,5 > \frac{V_{ок}}{V_{Me}} > 1$  шартни қаноатлантирувчи металллардагина плёнкалар етарлича яхши ҳимоявий хоссаларга эга бўлади.

Плёнканинг ҳимоявий хоссаларини таъминловчи кўшимча шарт — уларнинг металлдаги кучли адгезияси ва физик-кимёвий хоссалари бўлиб ҳисобланади. Масалан, 500°C ҳароратда миснинг оксидланишида металлдан осон ажраладиган плёнка ҳосил бўлади. Шунинг учун мис иссиқликка чидамли металл сифатида ишлатилмайди.

Сирт плёкаси мустаҳкам, эластик бўлиб, асосий металлникига яқин термик кенгайиш коэффициентига эга бўлиши лозим.

### 3.6. Металлар газ коррозиясининг кинетикаси

Коррозион жараёнлар қайсидир кўрсаткичларининг вақт бўйича ўзгаришини ўрганиш орқали коррозия тезлигини миқдоран аниқлаш мумкин.

Коррозия жараёнларини ўрганишда қуйидаги кўрсаткичлар энг кўп фойдаланилади:

- коррозия маҳсулотларидан ҳосил бўлган плёнка қалинлигининг ўзгариши (чуқурлик кўрсаткичи  $K_n$ , мм/йил);
- намуна металл массасининг ўзгариши (масса кўрсаткичи  $K_m^{\pm}$ , г/(м<sup>2</sup>·соат);
- металлнинг коррозияланиш жараёнида ютилган ёки ажралган газ ҳажми ( $K_v$ , см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·соат);

Кинетика жараёнини ўрганишда жараённинг танланган кўрсаткичи билан вақт орасидаги функционал боғланиш топилади:

$$\text{КЎРСАТКИЧ} = f(\tau)$$

Ҳосил қилинган ифода кинетик тенглама дейилади. Газ коррозияси тезлиги кўпинча оксид плёнканинг ўсиш тезлиги орқали ифодаланади:

$$v = \frac{dh}{d\tau}$$

бу ерда  $v$  жараён тезлиги;  $h$  — оксид плёнка қалинлиги;  $\tau$  — жараённинг давомийлиги.

Плёнка қалинлигининг вақт бўйича ўсиш тезлиги учун (4.1) боғланишнинг бир неча кўринишлари мавжуд. Улардан энг асосийларини қисқача кўриб ўтамыз.

### 3.6.1. Плёка ўсишининг чизиқли қонуни.

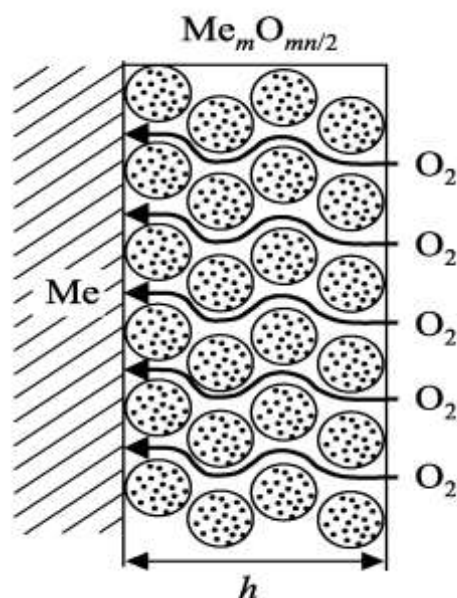
Плёка зич ва яхлит бўлмаган ( $\frac{V_{\text{ок}}}{V_{\text{Me}}} < 1$ ), ҳимояловчи қатлам ҳосил қилмаган ҳамда оксидловчи газ ундан бемалол металл сиртига ўтиб, у билан кимёвий реакцияга киришадиган ҳолни кўрамыз. Бундай жараённи схематик тарзда 3.9-расмда кўрсатилгандек тасвирлаш мумкин.

Бундай ҳолда реакция тезлиги плёнканинг қалинлигига боғлиқ эмас ва у қуйидаги ифодадан аниқланиши мумкин:

$$v = \frac{dh}{d\tau} = k_c C_o \quad (3.13)$$

бу ерда  $h$  – металлдаги плёнканинг қалинлиги;  $\tau$  – металлнинг коррозияланиш вақти;  $k_c$  – кимёвий реакция тезлигининг доимийси;  $C_o$  – металл сиртидаги оксидловчининг концентрацияси. Бу дифференциал тенгламани  $h$  га нисбатан интеграллаб, қуйидаги тенгламани оламиз:

$$h = K_I \tau + A_h \quad (3.14)$$



3.9-расм.  
Металлда ғовак  
оксид плёнканинг  
ҳосил бўлиш  
схемаси

бунда  $K_I = k_c C_o$  – оксидловчининг берилган концентрацияси учун доимий бўлган катталиқ;  $A_h$  – сон қиймат жиҳатдан тажрибадан олдинги плёнканинг қалинлигига тенг бўлган катталиқ.

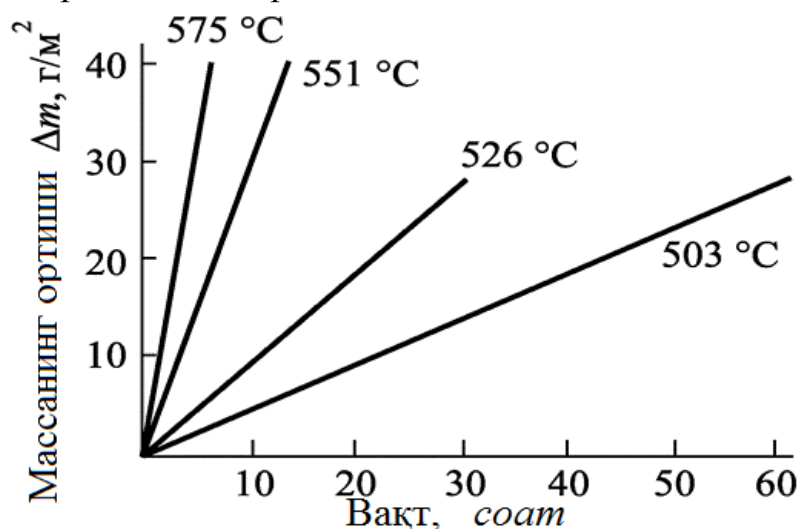
Кўплаб тажрибалар шуни кўрсатадики,  $A_h$  нинг қиймати нолга жуда яқин. Шу сабабли (4.3) тенгламани қуйидаги содда кўринишда ёзиш мумкин:

$$h = K_I \tau \quad (3.15)$$

Шундай қилиб, ғовак (ҳимоя вазиғасини ўтамайдиган) плёнканинг ўсиши кимёвий оксидланиш реакциясининг тезлиги билан бошқарилиб (кинетик бошқарув), вақт бўйича чизиқли қонуният асосида кечади.

Чизиқли қонун ишқорий ва ишқорий-ер металлларининг ҳавода юқори ҳароратли оксидланишида кузатилади. Шунингдек, бу ҳолат осидлари юқори ҳароратда авжийдиган металллар (масалан вольфрам, молибден) да ҳам

кузатилади. Мисол тариқасида магний оксидланишининг экспериментал чизиқлари 3.10-расмда келтирилган.



3.10-расм. Турли ҳароратларда магнийнинг кислородда оксидланиши

### Плётка ўсишининг параболик қонуни.

Металлар оксидланишининг параболик қонуни биринчи марта Г.Тамман томонидан кумушнинг йод буғлари билан таъсирлашган ҳолатида аниқланган.

Агарда металл сиртида яхлит ҳимоя плёнкаси ҳосил бўлса ( $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} > 1$ ), у ҳолда коррозия жараёни вақт бўйича секинлашади. Коррозия тезлигига плёнка қатлами орқали компонент диффузияси таъсир қилади ва бундай ҳол учун Фик қонуни ўринли бўлади:

$$\frac{dh}{d\tau} = K_d \frac{dc}{dh} \quad (3.16)$$

бу ерда  $K_d$  — диффузия коэффициентини.

Агар оксидланиш жараёнида диффузиянинг стационар режими қарор топади, яъни плёнканинг қайсидир кесимида диффузияланувчи модданинг молекулалари тўпланиб қолмайди деб қабул қилсак, у ҳолда  $\frac{dc}{dh}$  ҳосилани куйидаги нисбат билан алмаштириш мумкин:

$$\frac{dc}{dh} = \frac{C_0 - C_1}{h} \quad (3.17)$$

бу ерда  $C_0$  — плёнканинг ҳаво билан чегарадош бўлган ташқи сиртидаги кислороднинг концентрацияси;  $C_1$  — плёнканинг металл билан чегарадош бўлган ички сиртидаги кислороднинг концентрацияси;

У ҳолда кесимнинг бирлик юзасига тўғри келувчи коррозия тезлиги

$$\frac{dh}{d\tau} = K_d \frac{C_0 - C_1}{h} \quad (3.18)$$

Агарда бутун жараён тезлигини ички диффузия лимитлайдиган бўлса, у ҳолда металлгача етиб борган барча кислород молекулалари реакцияга

киришишга улгуради ва  $C_1 = 0$  бўлади. У ҳолда (3.18) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$\frac{dh}{d\tau} = K_d \frac{C_0}{h} \quad (3.19)$$

(3.19) ифодани  $h$  га нисбатан интеграллаб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

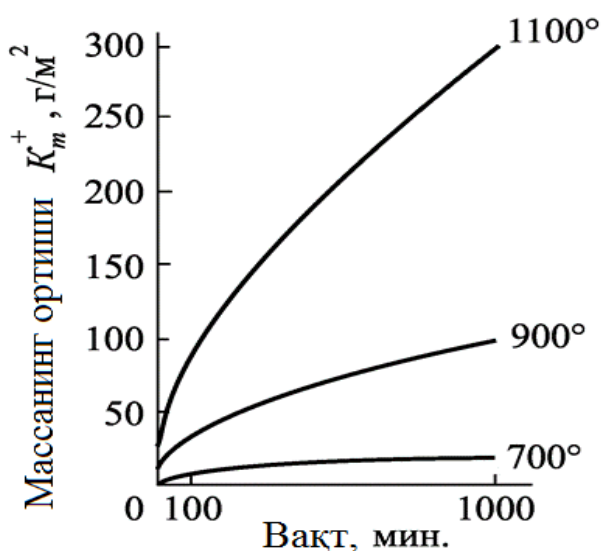
$$h^2 = K_2 \tau \quad (3.20)$$

бу ерда қуйидагича белгилаш киритилган:

$$K_2 = 2K_d C_0 \quad (3.21)$$

$h$  га нисбатан иккинчи даражали ҳисобланган (3.20) формула плёка ўсишининг параболик қонунини ифодалайди.

Мисол тариқасида турли ҳароратли ҳавода темир оксидланиш тезлигининг экспериментал эгриликлари 3.11-расмда келтирилган.



**3.11-расм. Юқори ҳароратларда темирнинг ҳавода оксидланиш параболик эгриликлари.**

Оксид плёка ўсишининг параболик қонуни бошланғич қисмларни ҳисобга олмаганда вольфрам, мис, темир, никелнинг оксидланишида ва шунингдек кумушда галогенид плёнканинг ҳосил бўлишида кузатилади.

### 3.6.2. Плёка ўсишининг мураккаб қонунлари.

Коррозия жараёни кинетикасининг диффузион-кинетик назорати ўринли бўлади агарда оксидланишда диффузия ва кимёвий реакция тезликлари сезиларли даражада бўлса. Бундай жараённи ифодалайдиган тенглама Эванс тенгламаси дейилади:

$$\frac{h^2}{2K_d} + \frac{h}{k_c} = C_0 \tau \quad (3.22)$$

Бу тенгламага қуйидагича  $K_1 = k_c C_0$  ва  $K_2 = 2K_d C_0$  белгилашлар киритиб уни соддалаштирамиз:

$$K_1 h^2 + K_2 h = K_1 K_2 \tau. \quad (3.23)$$

Бу тенглама плёка ўсишининг мураккаб-параболик қонунини ифодалайди.

Агар плёнка жуда юпқа бўлса, тенгламанинг чап томонидаги биричи ҳад иккинчисига нисбатан жуда кичик бўлади. У ҳолда тенгламанинг биринчи ҳадини ҳисобга олмасак, биз (3.15) тенгламани, яъни плёка ўсишининг чизиқли қонунини ҳосил қиламиз:

$$h = K_1 \tau$$

Агарда плёнканинг қалинлиги етарлича катта бўлса, (3.22) тенгламанинг чап томонидаги иккинчи ҳад биринчисига нисбатан жуда кичик бўлади. У ҳолда тенгламанинг иккинчи ҳадини ҳисобга олмаслик мумкин ва биз (3.20) тенгламани, яъни плёка ўсишининг параболик қонунини ҳосил қиламиз:

$$h^2 = K_2 \tau$$

Шундай қилиб, (3.22) тенглама плёка ўсишининг умумий қонунларини ифодалайди.

Бир қатор металллар учун оксидланиш тезлигининг вақтга боғланиши логарифмик қонуният билан қуйидаги тенгламага асосан ўзгариши аниқланган.

$$h = \ln(k\tau) \quad (3.24)$$

бу ерда  $k$  — константа.

Ҳавода оксидланиш жараёнида плёнка ўсишининг логарифмик қонуни экспериментал йўл билан алюминий ва кўрғошин учун 25-225 °С, никел учун 650 °С гача, темир учун 375 °С гача, мис учун 100 °С гача бўлган интервалларда аниқланган.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, ишқорий ва ишқорий-ер металлари вакиллари — К, Na, Ва, Са, Mg учун ( $\frac{V_{ок}}{V_{Ме}} < 1$ ) оксидланишнинг чизиқли қонуни ўринлидир. Оксидланиш тезлигининг камайиши бўйича бу металллар қуйидаги қатор бўйича жойлашади:

$$K > Na > Ba > Ca > Mg.$$

Шунингдек, плёка ўсишининг чизиқли қонуни юқори ҳароратларда оксидлари учувчан бўлган қуйидаги Мо, Os, Ru, Ir, V, W металлари учун ҳам ўринлидир.

Бир қатор техник муҳим металллар учун оксидланиш тезлигининг вақт бўйича ўзгариши параболик қонуният бўйича боради. Атмосфера ҳавосида газ коррозиясига чидамлилигининг ортишига қараб металлларни тахминан қуйидаги қатор бўйича жойлаштириш мумкин:

$$W < Fe < Co < Si < Ni.$$

Бу гуруҳдаги металлларга Mn, Be, Zn, Ti ҳам киради.

Янада юқори ҳимоя хусусиятига эга бўлган плёнка ҳосил қилувчи ва логарифмик қонуният бўйича оксидланувчи металллар гуруҳига Si, Al, Cr ларни киритиш мумкин (улар чидамлилигининг ортишига қараб жойлашган).

Айтиш жоизки, баъзи металлларнинг (Fe, Ni, Cu, Al, Zn, Ti, Ta) оксидланиши ташқи шароитнинг ўзгариши билан бошқа-бошқа қонуният асосида кечиши мумкин.

### 3.7. Темир сиртидаги оксид плёнкалари

Юқори ҳароратларда темир сиртида қуйидаги бирикмалар ҳосил бўлиши мумкин:

- темир чалаоксиди FeO;
- темир чалаоксид-оксиди Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>;
- темир оксиди α – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

Бу бирикмаларнинг барчаси металл закида (тўпониди) топилган. Металлга бевосита темир чалаоксиди FeO ёпишган бўлади. Ундан кейин темир чалаоксид-оксиди Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> жойлашади, сўнгра эса темир оксиди α–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Оксидлар қалинликларининг нисбати FeO: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 100:10:1 каби бўлади.

*Темир чалаоксиди FeO* вюстит номи билан юритилади ва куб панжарага эга. Кристалл панжара тўртта Fe<sup>2+</sup> ион ва тўртта O<sup>2-</sup> иондан ташкил топган. Вюстит 570- 575 °C дан юқори ҳароратларда ҳам барқарордир. Металл закида вюстит ўта совитилган метастабил ҳолатда бўлади. Бу оксидда кислороднинг миқдори стехиометрик нормадан ҳам ортадиган даражада бўлади. Оксидда эрийдиган кислород икки валентли Fe<sup>2+</sup> темир ионларидан электронлар олиб ионлашади. Бунда электрон берган темир ионлари уч валентли Fe<sup>3+</sup> ионларга айланади. Рентгенографик тадқиқотларнинг кўрсатишича бундай жараёнларда кристалл панжарада катта миқдорда вакансиялар ҳосил бўлади. Бу эса Fe<sup>2+</sup> ионларининг диффузияси учун ҳамда электронларнинг Fe<sup>2+</sup> ↔ Fe<sup>3+</sup> + e ўтиш орқали ҳаракатланишига қулай имконият яратади.

Тадқиқотлар кўрсатадики, вюстит ҳимоя хусусиятларига эга эмас.

*Темир чалаоксид-оксиди Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>* фанда магнетит номи билан маълум. Унинг кристалл панжараси шпинел кўринишида бўлиб, панжарадаги ҳар бир Fe<sup>2+</sup> ионга иккита Fe<sup>3+</sup> ион тўғри келади. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> электрон ўтказувчанликка эга. Буни шундай тушунтириш мумкин: оксид структурасида темир ионларининг катъий Fe<sup>2+</sup> – Fe<sup>3+</sup> – Fe<sup>2+</sup> кетма-кетликда жойлашиши электроннинг бир катион тугунидан иккинчисига осонгина ўтишига имкон беради.

Магнетит уй температурасидан бошлаб темирнинг эриш ҳароратигача (1538°C) бўлган интервалда барқарор ҳисобланади. Ҳимоя хусусиятлари вюститга нисбатан анча юқори. Оксидловчи муҳитда магнетитни 220°C гача киздирилганда у кристалл структурасини ўзгартирмаган ҳолда γ – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> темир

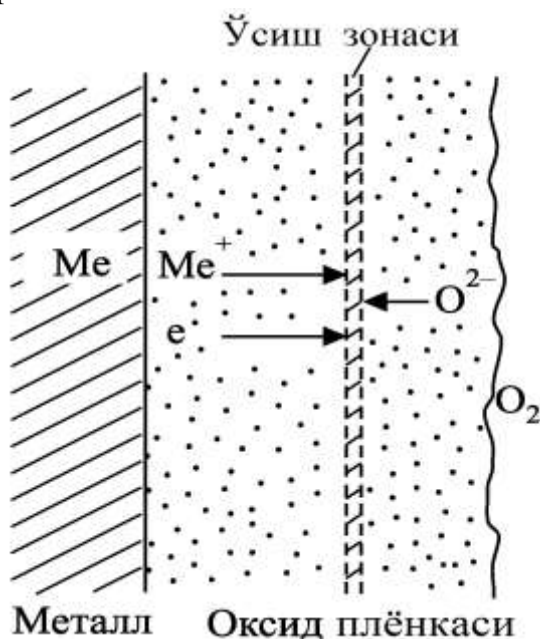


оксидига ўтади. Бундай мухитда уни қиздириш давом эттирилса, у 400-500 °С ҳароратда  $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$  темир оксидига айланади.

Темир (III) оксиди  $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$  гематит номи билан юритилади ва у ромбоэдрик пажарали структурага эга. Гематит температуранинг кенг диапазонида барқарор бўлсада, 1100 °С дан юқори ҳароратларда қисман диссоциацияланади.

### 3.8. Кимёвий коррозия механизми.

Ҳимоя плёнкаларини ҳосил қилиш жараёнида  $\text{Me}^{n+}$ ,  $\text{O}^{2-}$  ва электрон заррачалари қатнашади. Электр зарядланган заррачалар ва электронлар коррозия маҳсулотларининг кристалл панжарасида ҳаракатланади. Агарда ионлар ёки металл атомларининг диффузия тезлиги катта бўлса, оксид плёнканинг ташқи сиртида ҳосил бўла бошлайди. Аксинча, плёнка орқали асосан кислород диффузияланадиган бўлса, металл билан плёнка чегараси плёнканинг ўсиш зонаси бўлади. Кўпгина ҳолларда диффузияланадиган заррачаларнинг тезликлари бир-бирига яқин бўлади, бундай ҳолларда ўсиш зонаси плёнканинг ичида бўлади. Бундай ҳолатнинг схематик кўриниши 3.12-расмда кўрсатилган.



3.12-расм.  
Вагнер назарияси  
бўйича металлнинг  
оксидланиш схемаси.

Кўп ҳолларда диффузиянинг асосий йўнаши сифатида атомларнинг ёки металл ионларининг плёнка орқали ташқарига томон ҳаракат йўналиши қабул қилинади. Баъзи ҳолларда кислороднинг бу йўналишга нисбатан тесқари ҳаракат йўналиши олинади.

Металллардаги оксид ва тузли плёнкалар ион кристалл панжара тузилишига эга. Одатда улар ион, баъзи ҳолларда эса электрон ўтказувчанликка эга.

Заррачаларнинг икки хил ҳаракат йўналишини фарқлаш лозим:

- 1) ионларнинг уларнинг концентрацияси кичик бўлган томонга ҳаракатланиши, яъни диффузия жараёни;
- 2) электр майдони таъсирида ионларнинг ҳаракатланиши, яъни миграция.

3.4-жадвалда бази металлларнинг атом ва ион радиуслари келтирилган. Бу жадвалдан кўринадикки, металл ионларининг радиуси уларга мос келувчи атомларнинг радиусидан кичик. Демак, металлдан оксид плёнка орқали асосан металл ионлари ва электронлар ҳаракат қилади (3.12-расм). Кислород ионларининг диффузияси бу йўналишга қарма-қарши йўналишда амалга ошади. Бунда кислород атомларининг ионизацияси плёнканинг ташқи сиртида амалга ошади.

3.4-жадвал

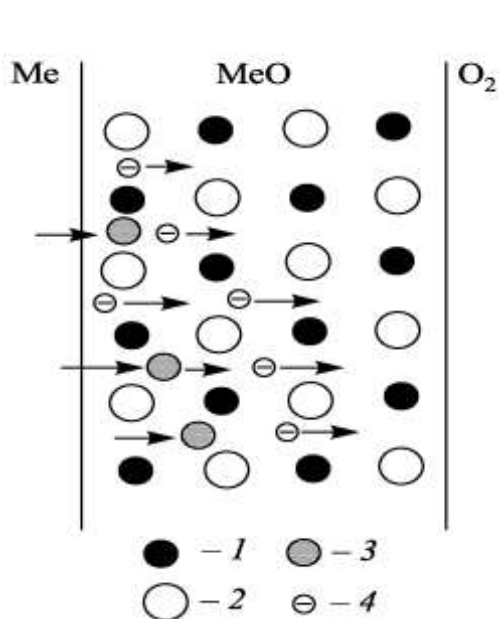
Баъзи бир атомларнинг ва ионларнинг радиуслари  
(Паулинг назарияси бўйича)

№	Элемент номи	Атом рамзи	Атом радиуси, Å	Ион	Ион радиуси, Å
1.	Водород	H	—	H <sup>+</sup>	1,27
2.	Алюминий	Al	1,43	Al <sup>3+</sup>	0,50
3.	Магний	Mg	1,62	Mg <sup>2+</sup>	0,65
4.	Калий	K	2,23	K <sup>+</sup>	1,33
5.	Калций	Ca	1,97	Ca <sup>2+</sup>	0,99
6.	Титан	Ti	1,49	Ti <sup>3+</sup>	0,69
7.	Хром	Cr	1,25	Cr <sup>3+</sup> Cr <sup>6+</sup>	0,65 0,52
8.	Темир	Fe	1,26	Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3+</sup>	0,75 0,67
9.	Кобалт	Co	1,25	Co <sup>2+</sup>	0,82
10.	Никел	Ni	1,25	Ni <sup>2+</sup>	0,78
11.	Мис	Cu	1,28	Cu <sup>+</sup>	0,96
12.	Рух	Zn	1,31	Zn <sup>2+</sup>	0,74
13.	Молибден	Mo	1,39	Mo <sup>6+</sup>	0,62
14.	Кумуш	Ag	1,44	Ag <sup>+</sup>	1,26
15.	Қўрғошин	Pb	1,74	Pb <sup>2+</sup>	1,21
16.	Кислород	O	0,6	O <sup>2-</sup>	1,40
17.	Олтингугурт	S	1,04	S <sup>2-</sup>	1,84
18.	Хлор	Cl	1,07	Cl <sup>-</sup>	1,81

Жадвалдан кўринадикки, металл ионларининг радиуси кислород ионининг радиусидан кичик. Шунинг учун диффузия жараёнида металл ионларининг ҳаракатчанлиги катта ва плёнканинг ўсиш зонаси ташқи чегара томон силжиган бўлади. Кристалларнинг эриш температурасидан кичик температураларда каттик жисмларда диффузия (3.13- ва 3.14-расмлар) куйидаги икки механизмнинг бири бўйича боради:

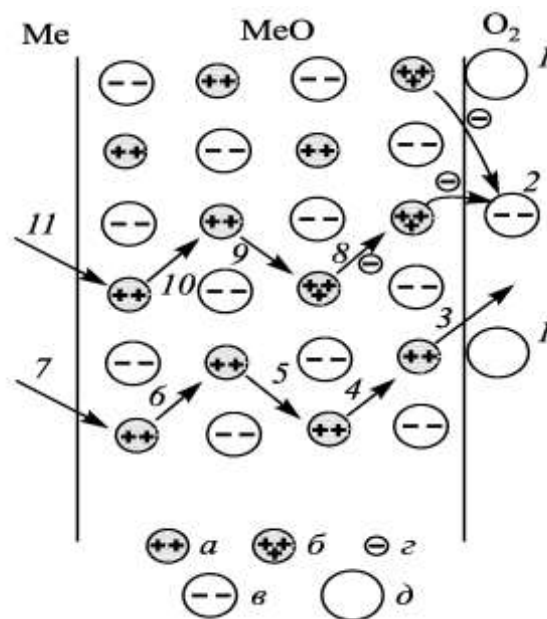
- 1) кристалл панжара тугунлари оралиғи бўйлаб атом ёки ионларнинг ҳаракати билан;
- 2) панжарадаги бўш тугунлар орқали ёки дислокациялар ва доналар чегараси бўйлаб атом ёки ионларнинг ҳаракати билан;

Биринчи механизм панжара ўлчамларига нисбатан унча катта бўлмаган ўлчамларга эга бўлган металл ионлари ҳосил қиладиган оксидларда амалга ошади. Бундай механизм билан  $\text{AgCl}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  плёнкалари ҳосил бўлади.



**3.13-расм.  $\text{ZnO}$  турдаги плёнканинг ўсишидаги диффузия схемаси.**

Ортиқча  $\text{Zn}$  катионлари ва уларга эквивалент бўлган электронлар тугунлараро бўшлиқда жойлашган бўлиб, унда ҳаракатланиши мумкин. 1– панжара тугундаги металл катионлари; 2– кислород анионлари; 3–тугунлар оралиғи бўшлиғидаги металл катионлари; 4 – электрон.



**3.14-расм.  $\text{Cu}_2\text{O}$  турдаги плёнканинг ўсишидаги диффузия схемаси.**

1– адсорбцияланган кислород атоми; 2– кислород атоми, кўшни металл ионларидан иккита электрон олиб, ионга айланади; 3, 4, 5, 6,7–бўш жойлар бўйлаб силжийдиган металл катионлари; 8, 9, 10, 11–кичик валентли катиондан катта валентли катионга ўтувчи электрон; a, б – икки ва уч валентли металл катионлари; в – кислород анионлари; z – электрон; д – кислород атоми;

Кристалл панжарада бўш тугунлари мавжуд бўлган оксидларнинг ҳосил бўлиши иккинчи механизм бўйича амалга ошади. Бунда металл катионлари ва электронларнинг плёнка орасидан тақарига томон диффузияси устун келади.

Келтирилган механизмларга асосан оксидларнинг қуйидаги икки турини фарқлаш мумкин:

- стехиометрик таркибига нисбатан ортиқча металл ионларига эга бўлган оксидлар; бундай оксидлар қайта тикловчи атмосферада киздирилганда ўзининг электр ўтказувчанлигини оширади.

- стехиометрик таркибига нисбатан ортиқча кислород ионларига эга бўлган оксидлар; бундай оксидлар оксидловчи атмосферада киздирилганда ўзининг электр ўтказувчанлигини оширади.

Ҳозирги пайтда тан олинган металллар оксидланишининг ион-электрон назарияси биринчи марта Вагнер томонидан ишлаб чиқилган.

Баъзи металлларда газ коррозияси учун реакция тезликлари константаларининг Вагнер назарияси бўйича ҳисоблаш натижалари ва экспериментал олинган қийматлар бир-бирига жуда яқиндир. Масалан, 1000°C ҳароратда Cu нинг  $\text{Cu}_2\text{O}$  гача оксидланишида бу константаларнинг қийматлари  $K_{\text{хис}} = 6,6 \cdot 10^{-9}$  ва  $K_{\text{экс}} = 6,2 \cdot 10^{-9}$ . Шунингдек, кумушнинг газсимон Br билан ўзаро таъсирлашиб  $\text{AgBr}$  ҳосил бўлиш реакциясининг доимийлари мос равишда  $K_{\text{хис}} = 2,7 \cdot 10^{-11}$  ва  $K_{\text{экс}} = 3,8 \cdot 10^{-11}$ .

Бошқа шароитлар бир хил бўлганда эркин энергиянинг ўзгариши қанча катта бўлса ва плёнка материалнинг солиштирма электр ўтказувчанлиги қанча юқори бўлса, оксидланиш тезлигининг константаси шунча катта бўлади. Агар оксид плёнкаси электр изоляцияловчи хоссаларига эга бўлса, у ҳолда кейинги оксидланиш жараёни тўхтайди. Буни масалан, алюминийнинг оксидланиш жараёнига чидамли эканлиги билан ҳам тушунтириш мумкин.

### **3.9. Газ коррозияси тезлигига ички ва ташқи факторларнинг таъсири.**

#### **3.9.1. Плёнка таркибининг таъсири.**

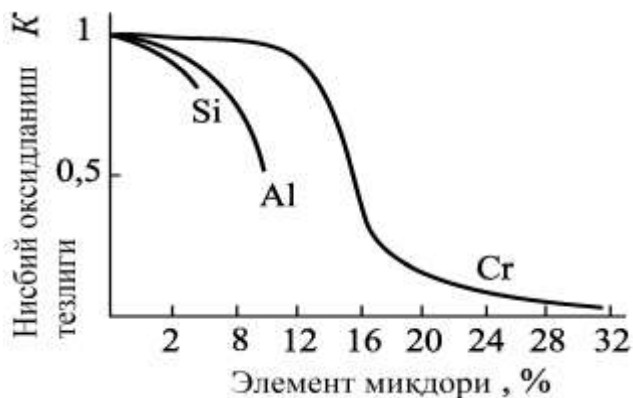
Сирт плёнкаларининг ҳимоя хусусиятлари қотишманинг табиати ва таркибига боғлиқ. Юқори ҳароратларда (800°C дан юқори) пўлатнинг таркибидаги углероднинг миқдорининг ортиши билан унинг оксидланиш тезлиги камаяди. Бунда пўлатнинг углеродсизланиши ҳам камаяди. Бу ҳолат углерод(II) оксиди – CO ҳосил бўлиш жараёнининг жадаллашуви билан боғлиқ. Қотишма таркибидаги олтингугурт, фосфор, никел ва марганец темирнинг юқори ҳароратли оксидланиш жараёнига деярли таъсир қилмайди. Титан, мис, кобалт ва бериллий газ коррозиясининг тезлигини жуда кам миқдорда камайтиради.

Хром, алюминий ва кремний мустаҳкам ҳимоя оксид плёнкаларини ҳосил қилиши сабабли темирнинг оксидланишини кескин камайтиради. Бу элементлар пўлатнинг иссиқликка чидамлилигини ошириш мақсадида уни легирлашда кенг қўлланилади (3.15-расм). Пўлатга 30% гача қўшилган хром унинг иссиқликка чидамлилигини сезиларли даражада оширади.

Пўлатга одатда 10 % гача қўшиладиган алюминий унинг иссиқликка чидамлилигини янада оширади. Пўлатган 5% гача қўшилган кремний ҳам худди шундай хоссага эга. Бироқ, алюминий ва кремнийнинг кўп миқдорда пўлатга қўшилиши унинг қаттиқ ва мўрт бўлишига олиб келади ва унга ишлов беришни қийинлаштиради. Шунинг учун иссиқликка чидамлик учун

легирлашнинг асосини Fe – Cr ташкил этади ва қўшимча 4-5% алюминий ва кремний киритилади.

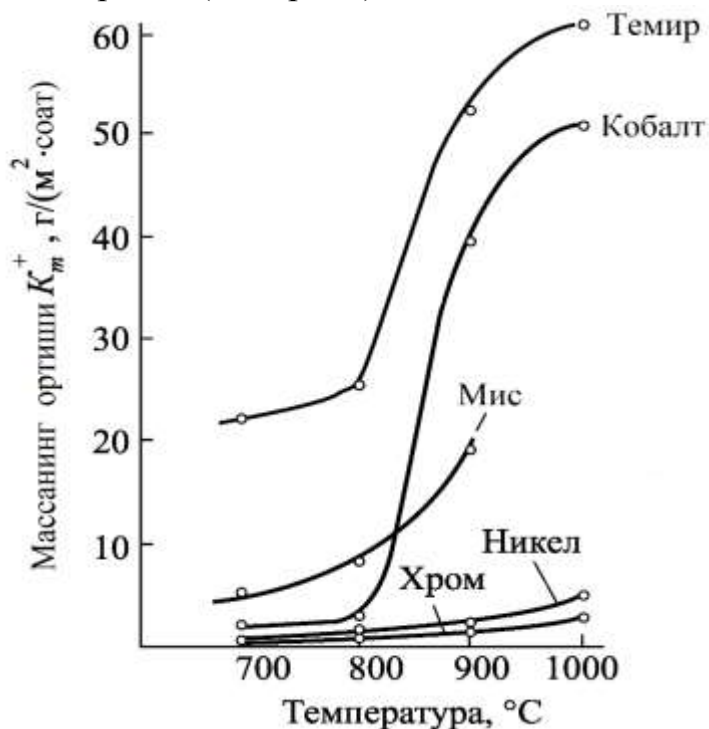
Ванадий, вольфрам ва молибден пўлатнинг юқори ҳароратларда оксидланишини кескин тезлаштиради. Бу ҳол бундай элементлар билан ўосил бўладиган оксидларнинг учувчанлиги ва тез эрувчанлиги билан изоҳланади.



3.15-расм. Пўлатдаги газ коррозиясининг нисбий тезлигига легирловчи элементларнинг таъсири.

### 3.9.2. Ҳароратнинг таъсири

Газ коррозияси жараёнига ҳарорат сезиларли таъсир қилади. Олдин айтилганидек, ҳарорат ортиши билан кўпгина ҳимоя плёнкаларини ҳосил қилувчи реакциялар амалга ошишининг термодинамик эҳтимоллиги камаяди. Шу билан бир вақтда, ҳароратнинг ортиши реакция тезлигининг ортишига олиб келади. Шунинг учун термодинамик эҳтимоллик чегарасида (Гиббс энергиясининг қиймати  $\Delta G^0$  нолдан кичик бўлганда) ҳароратнинг ортиши билан коррозия тезлиги ортади (3.16-расм).



3.16-расм. Кислород атмосферасида баъзи металлларнинг оксидланиш тезлиги

Ҳарорат кимёвий реакция тезлиги доимийсига ва диффузия жараёнидаги масса узатиш коэффициентига ҳам таъсир қилади. Ҳар иккала ҳолда ҳам экспоненциал боғланиш ўринли бўлади:

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (3.25)$$

бу ерда  $k$  – кимёвий реакция тезлигининг доимийси ёки диффузия коэффициенти;  $A$  – расман  $1/T = 0$  экстраполяциялашда  $k$  га тенг бўлган доимий;  $E$  – кимёвий реакция ёки диффузия жараёнининг активация энергияси;  $R=8,32$  кЖ/моль универсал газ доимийси;  $T$  – абсолют температура. (3.25) тенгламани логарифмлаб қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\lg k = \lg A - \frac{E}{2,3RT} \quad (3.26)$$

Шундай қилиб,  $1/T$  —  $\lg k$  координаталар системасида бу боғланиш тўғри чизик билан ифодаланади, ундаги  $E/2,3RT$  эса чизик қиялиги бурчагининг тангенсига тенг бўлади.

Ҳарорат ҳосил бўладиган плёнканинг таркибига ҳам таъсир қилиши мумкин. Ҳароратга боғлиқ ҳолда ҳосил бўладиган плёнкаларнинг таркиби 3.5-жадвалда келтирилган.

3.5-жадвал

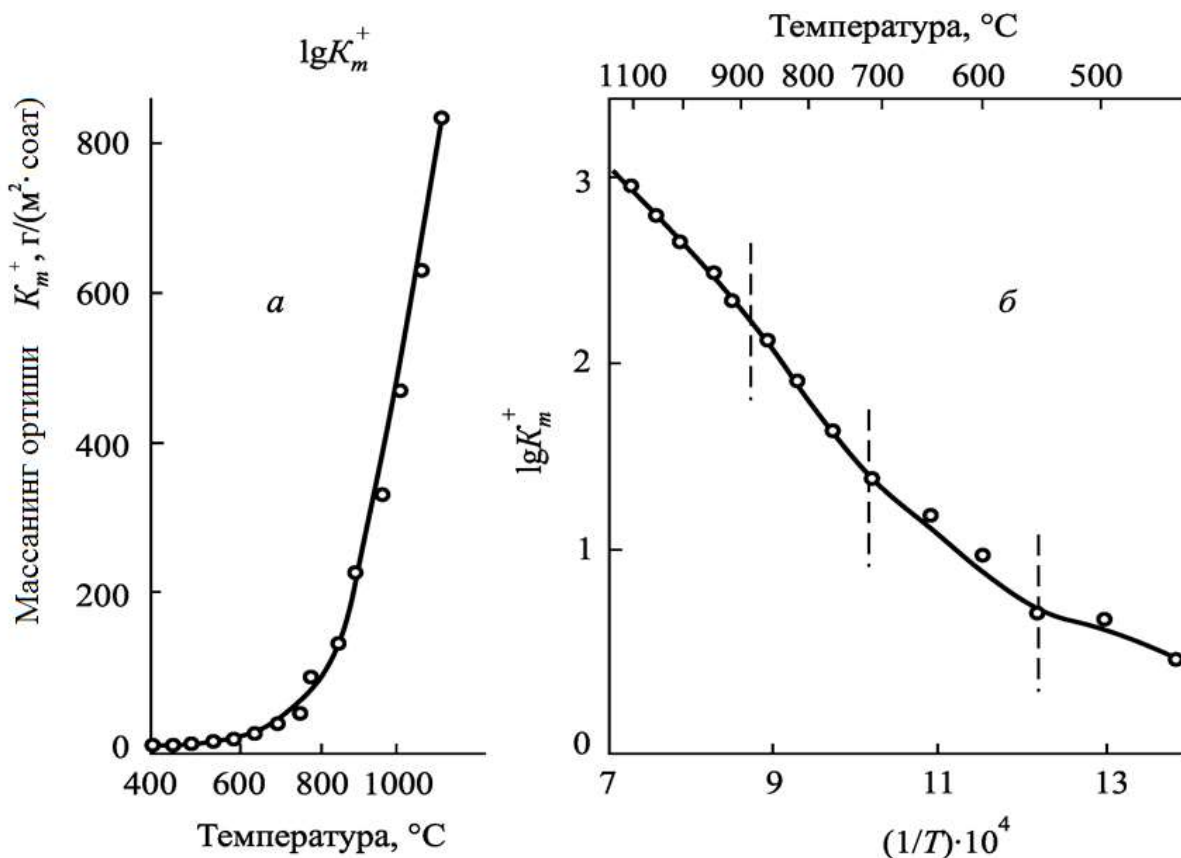
Температурага боғлиқ ҳолда темирдаги оксид плёнкаларнинг таркиби

Ҳарорат, °С	Плёнканинг таркиби	Плёнканинг ўсиш қонунияти
< 400	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Логарифмик
400–575	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Параболик
575–730	FeO; Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Параболик

Мисол тариқасида 3.17-расмда экспериментал йўл билан олинган ҳавода темир оксидланишининг ҳароратга боғлиқлиги  $K_m^+$ —ҳарорат (*a*) ва  $\lg K_m^+$ — $1/T$  (*b*) координаталарида келтирилган.

Экспериментал олинган натижалар шуни кўрсатадики (3.17-расм, *b*)  $\lg K_m^+$ — $1/T$  координата системасида боғланиш тўрт қисмдан (вертикал штрих чизиклар билан ажратилган) иборат бўлиб, унинг қиялиги ўзгаради. Патски учта қисм оксид плёнкаси таркибининг ўзгаришига ва ўсишнинг кинетик қонунига мос келади. Графикнинг 800 °С ҳароратдан баланд юқори қисми жараён лимитловчи босқичининг ўзгариши билан тушунтирилиши мумкин.

Металлни қиздиришдаги температура тебраниши ҳамда кетма-кет иситиш ва совитиш билан борадиган ҳароратнинг ўзгариши унинг оксидланиш тезлигини оширади. Бунда оксид плёнкасида термик кучланиш ҳосил бўлиб, ёрилишлар пайдо бўлади ва у металл сиртидан ажрала бошлайди.



3.17-расм. Темир оксидланишининг  $K_m^+$  — ҳарорат (а) ва  $\lg K_m^+$  —  $1/T$  (б) координаталаридаги ҳароратга боғлиқлиги

### 3.9.3. Газ босими ва таркибининг таъсири.

Олдин айтиб ўтилганидек, агар оксидловчининг парциал босими ҳосил бўладиган бирикма диссоциация босимидан кичик бўлса, термодинамик нуқтаи назардан металлнинг оксидланиши тўхтайд.

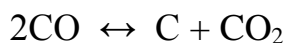
Агар металлнинг оксидланиши кимёвий реакция билан лимитланса, у ҳолда коррозия тезлиги кислород босими қийматидан чиқарилган квадрат илдизга пропорционал равишда ортади.

Агар реакция тезлиги ҳимоя плёнкаси ҳосил бўлишидаги диффузия жараёни билан аниқланадиган бўлса, унда газ босимига боғлиқлик аниқ, равшан кузатилмайди.

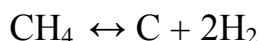
Газ муҳиtidaги кислороднинг миқдори ва концентрацияси ортиши билан металл оксидланиш тезлигининг кескин ортиши фақатгина қандайдир нейтрал атмосферадаги кислород концентрациясининг унча катта бўлмаган қийматларидагина кузатилиши мумкин. Газ аралашмасида кислород парциал босимининг кейинги ортишида газ коррозияси тезлигининг мутаносиб равишда ортиши кузатилмайди.

Юқоридаги ҳолларда металл оксидланишининг тезлиги ҳимоя қаватидаги катионларнинг диффузияси билан назорат қилинади.

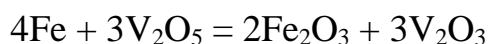
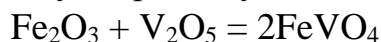
Атмосфера таркибидаги турли аралашмалар металллардаги газ коррозиясига катта таъсир қилади. Ҳавонинг  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , сув буғлари ва бошқа элементлар билан ифлосланиши кам углеродли пўлатлардаги газ коррозиясининг 1,3 – 2,0 марта ортишига сабаб бўлади. Бироқ углерод(II) оксиди –  $\text{CO}$  ҳамда углеводородлар муҳитида улар концентрациясининг ортиши билан пўлатнинг оксидланиш тезлигининг камайиши кузатилади. Бу ҳодиса  $\text{CO}$  миқдорининг ортиши билан пўлат–газ чегарасида куйидагидек мувозанатнинг юзага келиши билан изоҳланади:



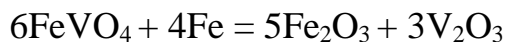
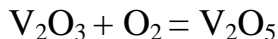
Шунга ўхшаш ҳолат углеводородлар, масалан матан муҳитида ҳам кузатилади:



Ёқилғиларнинг ёниш жараёнида ҳосил бўладиган беш валентли ванадий оксиди ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) ҳам пўлатнинг оксидланиш тезлигини оширади. Бу ҳодиса фанда ванадийли коррозия номи билан маълумдир. Ванадий оксиди  $\text{V}_2\text{O}_5$  нинг осон эрувчанлиги ҳамда ванадий бирикмаларини ҳосил қилган ҳолда темирни ва темир оксид плёнкаларини эрита олиш қобилияти ванадийли коррозиянинг моҳиятини ташкил қилади. Бу жараён куйидаги реакциялар орқали амалга ошади:

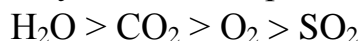


Ҳосил бўлган  $\text{V}_2\text{O}_5$  ва  $\text{FeVO}_4$  кейинги реакцияларда иштирок этади:



Худди шундай тарзда беш валентли ванадий оксиди  $\text{V}_2\text{O}_5$  никел ва хром оксидлари билан ҳам реакцияларга киришади. Бунда ҳимоя плёнкалари бузилиб, унда ковакликлар пайдо бўлади ва металлнинг коррозияланиш тезлиги ортади.

Техникада пўлат ва чўяндан тайёрланган жиҳозлар ҳарорат ва  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , ҳамда сув буғлари таъсирида энг кўп коррозияга учрайди. Олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики,  $900^\circ \text{C}$  ва ундан юқори ҳароратларда темирнинг оксидланиш тезлиги куйидаги қаторга мос ҳолда ўзгаради:



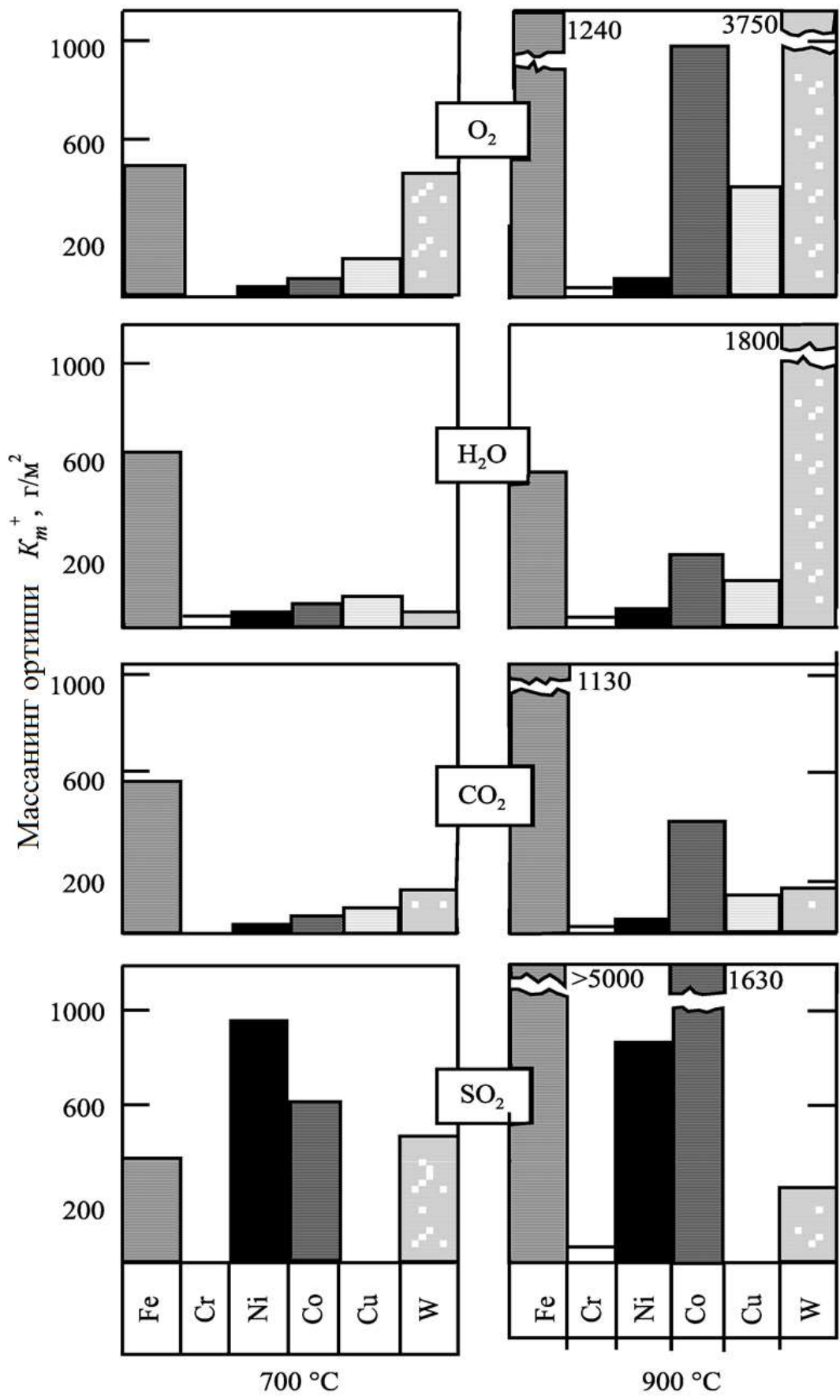
Баъзи металлларнинг коррозияланишига  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  мисолида газ муҳити таркиби ва ҳароратнинг коррозияга таъсири 3.18-расмда тасвирланган.

**Темир** барча тадқиқот ўтказилган муҳитларда етарлича кучли коррозияга учрайди, бу ҳол  $700 - 900^\circ \text{C}$  ҳарорат интервалида айниқса кучаяди.

**Хром** кўрсатилган муҳитларнинг барчасида юқори иссиқликка чидамлилиқни намоён қилади.

**Никел**  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ва  $\text{CO}_2$  муҳитларида нисбатан чидамли бўлсада,  $\text{SO}_2$  муҳитида кучли коррозияланади.





3.18-расм. Баъзи металлар газ коррозияси тезлигининг O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ва SO<sub>2</sub> муҳитида 24 соат давомида 700°C ва 900°C ҳароратдаги кўринишлари

*Кобалт* SO<sub>2</sub> муҳитида энг юқори коррозия тезлигига эришади, ҳарорат 700°С дан 900°С гача кўтарилганда бу тезлик сезиларли даражада ортади.

*Мис* кислород атмосферасида етарлича тез коррозияланади, бироқ у SO<sub>2</sub> муҳитида чидамлидир.

Шуни айтиш лозимки, металллар коррозияси тезлигининг турли муҳитларда турлича бўлиши асосан ҳимоя плёнкаларида ҳосил бўладиган коррозия маҳсулотларининг ҳимоявий хусусиятларига боғлиқдир.

### **3.10. Иссиқликка чидамли легирлаш назарияси.**

Кўпгина кимёвий жараёнларда, аниқса нефт ва газни қайта ишлаш жараёнларида металл конструкциялари ва жиҳозлар қатъиян кескин шароитларда, юқори ҳароратларда, катта босимларда ва шу билан бирга юқори агрессивликдаги муҳитларда эксплуатация қилинади.

Тоза металллар одатда коррозияга чидамли ҳисоблансада, уларнинг барчаси кўшимча ҳимоя чораларига муҳтождир.

Ҳозирги фан ва техниканинг тараққиёти металлларнинг чидамлилигини ошириш ва уларнинг хизмат муддатини узайтириш мақсадида коррозияга қарши ҳимоялашнинг қатор самарали усулларига эгадир. Газ коррозияси шароитларида энг кўп қўлланиладиган усуллардан бири юқори коррозион бардошлиликка эга бўлган қотишмаларни олиш мақсадида амалга ошириладиган иссиқликка чидамли легирлашдир.

Ҳозирги вақтда иссиқликка чидамли легирлашнинг учта етарлича асосланган назарияси мавжуд. Бу назариялар бир-бирини инкор этмай, балки бири бошқасини тўлдиради.

Вагнер ва Хауффе томонидан яратилган **биринчи назарияга** асосан *озгина кўшилган легирловчи элемент оксидланади ва асосий металл оксидида эриб, унинг асосий металл кристалл панжарасидаги дефектларни камайтиради.* Бу эса структуранинг тартиблашувига олиб келади ва ҳимоя плёнкасидаги ионлар диффузияси тезлигини камайтиради.

Бу назариянинг қўлланиш соҳаси етарлича чегаралангандир. Агар металлнинг оксидланиш тезлиги ионлар диффузия билан аниқланмаса ёки легирлашда оксид плёнкасида янги фаза ҳосил бўлса, юқорида баён этилган иссиқликка чидамли легирлаш усулини қўллаб бўлмайди.

А.А. Смирнов, Н. Д. Томашов ва бошқалар томонидан ишлаб чиқилган **иккинчи назарияга** асосан *металл сиртида асосий металлнинг оксидланишига тўсқинлик қилувчи легирловчи элементнинг ҳимояловчи оксиди ҳосил бўлади.*

Бу назарияга мувофиқ қўлланиладиган легирловчи компонент қуйида келтириладиган асосий хоссаларга эга бўлиши керак:

1. Легировачи элемент оксиди яхлитлик шартини қаноатлантириши лозим, яъни оксид ва металл ҳажмларининг нисбати бирдан катта бўлиши лозим ( $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} > 1$ ).

3.6-жадвалда хром, алюминий ва кремний оксидларининг баъзи хоссалари бўйича умумлаштирувчи маълумотлар келтирилган. Бу элементлар темирнинг иссиқликка чидамлилигини ошириш мақсадида уни легирлаш учун қўшиладиган қўшимчалар ҳисобланади. Жадвалдаги маълумотлар кўрсатадики, бу элементлар учун 1-шарт бажарилади.

3.6-жадвал

Темирнинг иссиқликка чидамлилигини оширувчи элементлар оксидларининг баъзи хоссалари

Хоссалар	Оксид				
	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
$V_{ок}/V_{Me}$ нисбатнинг қиймати	—	2,14	1,28	2,07	1,9
1000° С даги электр ўтказувчанлик, Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup> (қиймат тартиби)	10 <sup>2</sup>	—	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-6</sup>
Оксиддаги металлнинг ион радиуси, Å	0,75	—	0,54	0,6	0,41
Ҳосил бўлиш иссиқлиги:					
кЖ/моль	269,2	801,8	1674,7	1122,0	818,2
кЖ/атом	269,2	400,9	837,4	561,0	818,2

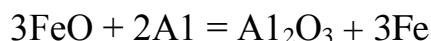
2. Легировачи элемент юқори электр қаршилигига эга бўлган оксид ҳосил қилиши лозим.

Омик қаршилиқнинг жуда катта бўлиши плёнканинг химоявий хоссаларини шакллантирувчи асосий шартлардан бири бўлиб ҳисобланади, чунки бунда ионларнинг оксид қатламида ҳаракатланиши қийинлашади.

3. Легировачи элемент оксидининг ҳосил бўлиш энергияси асосий металл оксидининг ҳосил бўлиш энергиясидан катта бўлиши керак, яъни  $(\Delta G_T^0)_{aMe} > (\Delta G_T^0)_{lMe}$ ; бунда  $aMe$  – асосий металл,  $lMe$  – легировачи элементга тегишли.

Бу шарт асосий металл бўлганда легировачи компонент оксиди плёнкасининг турғунлигини таъминлайди. Қўшиладиган компонент оксиди асосий металл оксидига нисбатан турғунроқ бўлар экан. Агар бу шарт бажарилмаса, легировачи элемент оксиди асосий металл томонидан тикланади. Темир, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ва SiO<sub>2</sub> оксидларининг ҳосил бўлиш иссиқликлари бўйича 3.6-жадвалда келтирилган маълумотлар бу қонданинг тўғрилигини тасдиқлайди. Бундан ташқари, агарда дастлаб аралаш оксид ҳосил бўлса, у ҳолда кейинчалик термодинамик мувозанат шартларига биноан у легировачи компонентнинг соф оксидига айланади.

Масалан, алюминий билан легирланган темирнинг оксидланишида FeO темир оксиди ҳосил бўлади. Бироқ кейинчалик қуйидаги жараён ҳам кечиши мумкин:



4. *Легирловчи элемент ионининг ўлчамлари асосий металл ионининг ўлчамларидан кичик бўлиши керак.*

Бу ҳолат легирловчи элемент ионларининг химоя плёнкаси ҳосил бўлаётган қотишма сиртида диффузияланишини осонлаштиради.

5. *Легирловчи элементларнинг оксидлари юқори эриш ва ҳайдаш температурасига эга бўлишлари ҳамда осон эрийдиган эвтетиклар ҳосил қилмаслиги керак.*

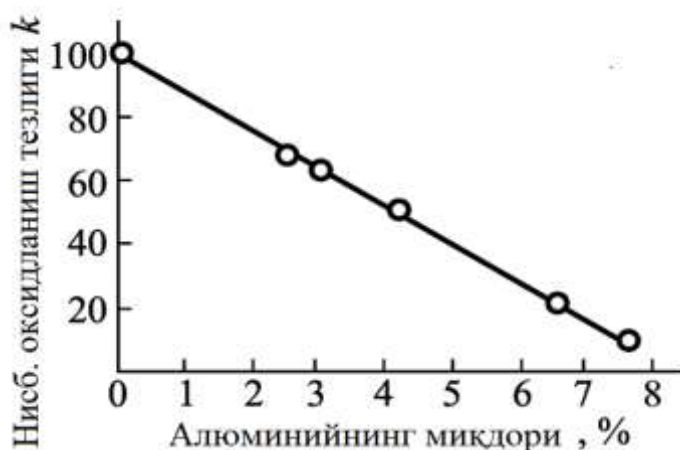
Бу талаб каттиқ фазадаги оксиднинг юқори ҳароратларда ҳам турғун бўлишини таъминлайди.

6. *Легирловчи элемент ва асосий металл қотишманинг берилган таркибида қаттиқ эритма ҳосил қилиши лозим.*

Шу ҳолдагина қотишманинг бутун сирти бўйлаб легирловчи элементнинг яхлит плёнкасини ҳосил қилиш мумкин.

Иссиқликка чидамли легирлашнинг баён қилинган назарияси кўпгина экспериментларда олинган натижаларда ўз тасдиғини топган.

Қотишманинг асосан легирловчи компоненти (хром ёки алюминий) томонидан ҳосил қилинган оксидли химоя плёнкасининг ҳосил бўлиши қатор иссиқликка чидамли қотишмаларда экспериментал аниқланган. Темир оксидланиш тезлигининг легирловчи қўшимча — алюминий концентрацияси туфайли сезиларли даражада камайиши 3.19-расмда кўрсатилган.



3.19-расм. Темирни алюминий билан 900°C ҳароратда легирлашнинг оксидланиш нисбий тезлигига боғлиқлиги

Иссиқликка чидамли легирлашнинг учинчи назарияси юқори химояловчи хоссаларга эга бўлган қўшалок оксидлар ҳосил бўлиши ҳақидаги постулатларга асосланган.

Бу назария темир қотишмаларига мувофиқлаштирилган ҳолда янада тўлароқ В.И.Архаров томонидан таърифлаб берилган. Темир қотишмаларининг иссиқликка чидамлилиқ хоссаларини оширишга қуйидаги икки шарт бажарилгандагина эришиш мумкин:

- темирнинг оксидланишида унинг сиртида вюстит структурали бирикмаларнинг ҳосил бўлишини бартараф этиш;
- қотишмалар сиртида имкони борича кичик кристалл панжара параметрли шпинел туридаги оксидларни ҳосил қилиш.

Агар темир таркибига  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  ва б. турдаги қўшалок оксидлар ҳосил қиладиган легирловчи элементлар қўшилса, вюстит фазасининг ҳосил бўлиши қийинлашади. Экспериментал жиҳатдан бу рентгенографик усулларда қайд қилинган вюстит ҳосил бўлиш ҳароратининг кўтарилиши билан тасдиқланади.

3.7-жадвалдан кўринадики, жуда кичик процент миқдорида легирлаганда ҳам, темир қотишмаларининг асосий легирловчи компонентлари вюстит фазаси ҳосил бўлиш ҳароратини сезиларли даражада кўтаради.

3.7-жадвал

Темирни легирлашда вюстит ҳосил бўлишининг минимал ҳароратлари

Таркиб	FeO ни рентгенографик йўл билан оксидда илганган дастлабки ҳарорат, °C
Тоза Fe (Армко)	575
Fe +1,03% Cr	600
Fe +1,5% Cr	650
Fe +1,0% Co	650
Fe +10% Co	700
Fe +1,14% Si	750
Fe +0,4% Si +1,1% Al	800
Fe +0,4% Si +1,1% Al	850

Анча кучли ҳимоявий хоссалар шпинел структурали  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ва  $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$  оксидларда кузатилади. Бу структуралар алоҳида тугунлари орасидаги масофа кичик, анча зич кристалл панжарага эга бўлиб, дефектлар йўқлиги билан характерланади. Шунинг учун уларнинг шпинел структураси ионлар диффузиясига тўсқинлик қилади.

Янада кучли ҳимоявий хоссаларга  $\text{FeO} \cdot \text{Me}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MeO}$  каби мураккаб сирт оксидлари эга бўлади, агарда легирловчи компонент темирга нисбатан кичик ион радиусига эга бўлса (3.6 – жадвал).

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, кристалл панжара параметрларининг камайиши билан иссиқликка чидамлилиқнинг ортиши орасида қонуниятли боғланиш мавжуд.

## Учинчи бобга тегишли услубий тавсиялар

### Назорат саволлари.

1. Металларнинг ион ҳолатга ўтиш эҳтимоллиги қайси термодинамик функция билан характерланади?
2. Коррозияга бардошлилиги жуда юқори ва жуда паст бўлган металлларга мисоллар келтиринг.
3. Газ коррозиясининг асосий босқичларини санаб беринг.
4. Қандай жараёнга адсорбция дейилади?
5. Адсорбция изотермаси нимани ифодалайди?
6. Адсорбция изотермасини ифодаловчи тенгламани ёзинг.
7. Металл сиртида оксид плёнкасининг ҳосил бўлиш механизмини тушунтиринг.
8. Металл сиртида ҳосил бўладиган плёнкаларнинг хоссаларини тушунтиринг.
9. Плёнкаларнинг ҳимоявий хоссаларини қайси кўрсаткичлар аниқлайди?
10. Плёнкалар ўсишининг кинетик қонунларини айтиб беринг.
11. Темирда ҳосил бўладиган оксид плёнкаларининг таркиби ва хоссаларини айтиб беринг.
12. Сирт плёнкасида ионларнинг диффузия жараёнини тушунтиринг.
13. Газ коррозияси қонуниятларига таъсир этувчи ички ва ташқи омилларни (қотишма таркиби, ҳарорат, босим, газ муҳити таркиби) тавсифларини келтиринг.
14.  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  (сув буғлари) ва  $O_2$  муҳитларида бардошли бўлган металлларни санаб беринг.

### Учинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари

1. Оксид плёнкалари ва уларнинг ҳосил бўлиш механизми.
2. Темирдаги оксид плёнкалари ва уларнинг турлари.
3. Темирдаги оксид плёнкаларининг структураси.
4. Оксид плёнкаларининг ҳимоявий хусусиятлари.
5. Металлар сиртида оксид бирикмалар ҳосил бўлишининг термодинамик эҳтимоллигига ҳараорат ва босимнинг таъсири.
6. Иссиқликка чидамли материаллар олиш усуллари.
7. Металларнинг коррозия бардошлилигига технологик параметрларнинг (ҳарорат, босим, атмосфера таркиби ва б.) таъсири

## IV БОБ

### МЕТАЛЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОКИМЁВИЙ КОРРОЗИЯСИ.

#### 4.1. Металл–электролит фазалар бўлиниш чегарасида юз берадиган ҳодисалар.

Электрохимёвий коррозия юз беришининг асосий шарти электр ўтказувчи муҳит – кислоталар, ишқорлар ёки тузлар эритмасининг мавжуд бўлишидир.

Табиий шароитда электрохимёвий коррозияни деярли ҳар доим, ҳамма жойда кузатиш мумкин. Масалан, атмосфера, шўр сув, ер ости, нурланиш ва ҳ. к. коррозияси. Бундай емирилишлар нефт ва газ маҳсулотларини ташиш магистрал қувурларида, сақлаш иншоотларида кузатилади.

Саноатда коррозиянинг электрохимёвий кўриниши сувли, нам технологик муҳитларда кечадиган жараёнларда юз беради. Буларга ноорганик ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ) кислоталарини, минерал ўғитлар, хлор, ишқорлар ва шу кабиларни ишлаб чиқариш жараёнлари киради.

Электрохимёвий коррозия жараёнлари сувли эритмаларда ҳам амалга ошади. Металл сирти электролит эритмасига текканда металл электролит заррачалари билан ўзаро таъсирлашиб, металл ионларининг эритмага ўтиши кузатилади. А.Н.Фрумкиннинг назариясига асосан, бунда ўзаро бир-бирига боғланган икки жараён кечади:

1. Солватланган (сувли эритмаларда гидратланган) ионлар ҳосил бўлиши билан борадиган металл ионларининг эритмага ўтиши (оксидланиш ёки анод жараёни):



2. Бу ионларнинг эритмадан ажралган ҳолда металл кристалл пажараси таркибига кирувчи нейтрал атомлар кўринишида металл сиртига ўтиши (қайтарилиш ёки катод жараёни).

Тўғри ва тескари ўтиш жараёнлардаги реакцияларнинг тезликлари умуман олганда тенг эмас. Агар металлнинг эриши унга ўтиришга нисбатан тезроқ борадиган бўлса, бу ҳолда металл электролитга нисбатан манфий зарядланади. Натижада металлнинг эриш тезлиги камайиб, унга ўтириш тезлиги ортиб боради. Потенциалнинг манфий томонга силжиши потенциалнинг мувозанат қийматига ( $E_p$ ) эришилгунга қадар давом этади. Мувозанат ҳолатида металлнинг эриш тезлиги билан металл ионларининг металл ситига ўтириш тезликлари ўртасида динамик мувозанат юзага келади. Яъни анод токининг зичлиги ( $i_a$ ) катод токининг зичлигига ( $i_k$ ) тенг бўлади:

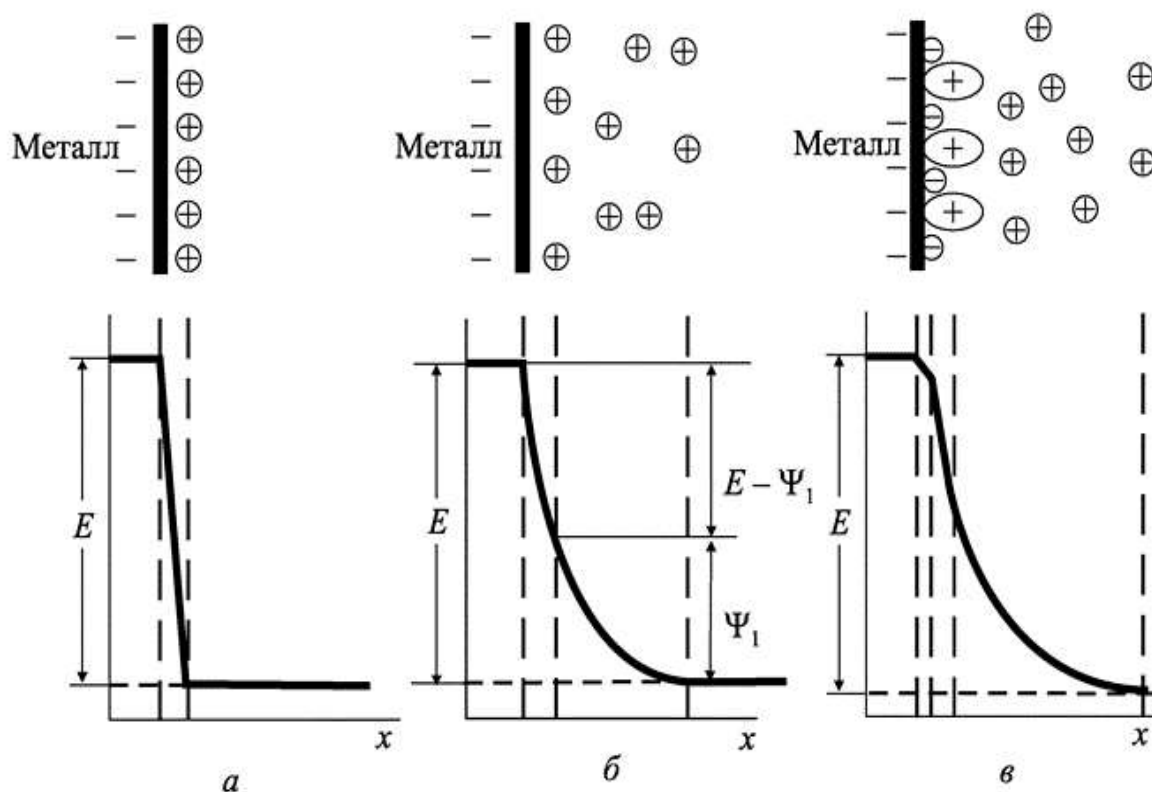
$$i_a = i_k = i_o \quad (4.1)$$

бу ерда  $i_o$  – алмашинув токининг зичлиги бўлиб, металл билан эритма орасида доимий кечадиган ионлар алмашинуви жараёнининг тезлигини ифодалайди.

Мувозанат потенциалида бир вақтнинг ўзида қуйидаги икки шарт бажарилиши лозим:

1. Фазалар чегарасида электрохимёвий ва кимёвий айланишлар юз бермаслиги керак.
2. Потенциал бир хил катталиқка юқорироқ ёки пастроқ қийматига ўз ўзидан ўтиши лозим.

Металл билан эритма ўртасида потенциаллар фарқининг вужудга келиши фазаларнинг бўлиниш чегарасида бир-биридан маълум масофада мусбат ва манфий зарядланган қатламлар ҳосил бўлишини билдиради. Яъни, қўш (жуфт) электр қават (ҚЭҚ) ҳосил бўлади (4.1-расм).



**4.1-расм. Қўш қаватда зарядлар тақсимооти ва потенциалнинг ўзгариши.**  
***a* – Гельмголтц бўйича (ҚЭҚ нинг зичлашган соҳаси); *б* – Гуи ва Чапмен бўйича (диффузия соҳаси); *в* – Штерн бўйича (ионларнинг адсорбцияланиши).**

Металл катионларининг эритмага ўтиши туфайли металлнинг сирти манфий зарядланиб қолади. Унга мусбат зарядланган анионлар торилади. Натижада ясси конденсатор структурасига ўхшаш қўш электр қавати (ҚЭҚ) ҳосил бўлади (4.1-расм). ҚЭҚ тўғрисидаги тушунчалар немис олими Гельмголтц томонидан илгари сурилган.

ҚЭҚ нинг қалинлиги сифатида гидратланган ионларнинг радиуси  $\sigma_r$  га тенг бўлган масофа қабул қилинади. Потенциалнинг бутун ўзгариши (сакраши) шу соҳага тўғри келади (4.1-расм, *a*).



Гуи қаватларни зич эмас, балки тарқоқ деб ҳисоблаб, ҚЭҚ нинг структураси тўғрисидаги Гельмголтц назариясини янада ривожлантирди. Унинг фикрича зич ҚЭҚ ионларнинг доимий равишдаги иссиқлик ҳаракати туфайли бузилади (4.1-расм, б). Бундай ҳолда ҚЭҚ зич ва дифузия қисмларидан ташкил топган бўлади.

Ўз навбатида потенциалнинг сакрашини ҳам икки қисмдан иборат деб қараш мумкин:  $\psi_1$  – ҚЭҚнинг дифузияли қисмидаги потенциалнинг ўзгариши ва  $E - \psi_1$  — ҚЭҚ нинг зич қисмидаги потенциалнинг ўзгариши. Ўртача концентрацияли дифузия қатламининг қалинлиги  $10^{-7}$ — $10^{-6}$ см тартибида баҳоланади.

Штерн ҚЭҚ нинг структураси тўғрисидаги манзарага яна бир қўшимча киритди. Унинг тасаввури бўйича электрод сиртига ионларнинг максимал яқинлашуви туфайли қават зич қисмининг ҳосил бўлиши билан бир қаторда дипол молекулалари ва ионларнинг ўзига хос адсорбциясини ҳам инобатга олиш зарур (4.1-расм, в).

#### 4.2. Электрохимёвий коррозия термодинамикаси.

Электролит муҳитида металлларнинг барқарор бўлмаслиги электрохимёвий коррозияга сабаб бўлади. Мувозанат потенциали реакцияга киришадиган моддаларнинг ҳарорати ва фаоллигига боғлиқ бўлиб, Нернст тенгламаси ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

$$E_m = E_o + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Me^{n+}}}{a_{Me}} \quad (4.2)$$

Бу ерда  $E_m$  – металлнинг стандарт потенциали;  $R$  –газ доимийси;  $T$  –абсолют ҳарорат;  $a_{Me^{n+}}$  – металл ионларининг активлиги, г-ион/л;  $a_{Me}$  – металлнинг активлиги, 1 га тенг деб олинади;  $n$  – реакцияда қатнашаётган электронлар сони.

Агар барча доимийларни 298 К да ифода этсак ва боғланишни ўнли логарифмда ифодаласак, уҳолда (4.2) ифода қуйидаги кўринишга келади:

$$E_m = E_o + \frac{0,059}{n} \ln a_{Me^{n+}} \quad (4.3)$$

Агар эритмада металл ионларининг активлиги 1 га тенг бўлса, унда Нернст тенгламасидаги иккинчи ҳад нолга тенг бўлади. У ҳолда электрод потенциалининг қиймати стандарт потенциалга тенг бўлиб қолади ( $E_m = E_o$ ).

Шундай қилиб, стандарт электрод потенциали (СЭП) мувозанат потенциалининг хусусий ҳоли бўлиб ҳисобланади. Баъзи металллар учун стандарт потенциалининг қиймати 4.1-жадвалда келтирилган.

## Металларнинг стандарт потенциали

Реакция	Потенциал, В	Реакция	Потенциал, В
$K^+ + e \rightleftharpoons K$	-2,925	$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	-0,126
$Ba^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ba$	-2,900	$Fe^{3+} + 3e \rightleftharpoons Fe$	-0,037
$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg$	-2,370	$H^+ + e \rightleftharpoons 1/2H_2$	0,000
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	-1,660	$Sn^{4+} + 4e \rightleftharpoons Sn$	+0,007
$Ti^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ti$	-1,630	$Bi^{3+} + 3e \rightleftharpoons Bi$	+0,215
$Ti^{3+} + 3e \rightleftharpoons Ti$	-1,210	$Sb^{3+} + 3e \rightleftharpoons Sb$	+0,240
$Mn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mn$	-1,180	$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu$	+0,337
$Cr^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cr$	-0,913	$Co^{3+} + 3e \rightleftharpoons Co$	+0,418
$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	-0,762	$Cu^+ + e \rightleftharpoons Cu$	+0,521
$Cr^{3+} + 3e \rightleftharpoons Cr$	-0,740	$Ag^+ + e \rightleftharpoons Ag$	+0,799
$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe$	-0,440	$Hg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Hg$	+0,854
$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd$	-0,402	$Pd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pd$	+0,987
$Mn^{3+} + 3e \rightleftharpoons Mn$	-0,283	$Ir^{3+} + 3e \rightleftharpoons Ir$	+1,150
$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co$	-0,277	$Pt^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pt$	+1,190
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni$	-0,250	$Au^{3+} + 3e \rightleftharpoons Au$	+1,500
$Mo^{3+} + 3e \rightleftharpoons Mo$	-0,200	$Au^+ + e \rightleftharpoons Au$	+1,690
$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn$	-0,136		

Мазкур ўқув қўлланмадаги жадвал ва графикларда потенциаллар *стандарт водород электрод (с.в.э.) потенциалига* нисбатан келтирилган.

Электрокимёвий коррозия жараёни бир-бирига боғлиқ ҳолда борадиган икки реакция мажмуидир. Бу реакцияларда металл электронларни берувчи донор вазифасини ўтайди ва унинг сиртида қуйидаги анод реакцияси боради:

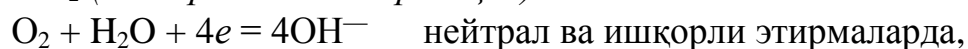


Катодли деполяризацияловчи реакция деб аталадиган катод реакцияси электр ўтказувчи муҳит компонентлари иштирокида боради. Электр ўтказувчи муҳит — кислоталар, ишқорлар ёки тузларнинг сувли эритмаси бўлиши мумкин.

*Электронларнинг акцепторлари —  $H_2$  ионлари ёки  $H_2O$  молекулалари бўлиши мумкин (водородли деполяризация):*



*ёки кислород  $O_2$  (кислородли деполяризация):*



Муҳитнинг рН миқдори мувозанат потенциали қийматига таъсир қилади.

Водород деполяризацияси учун Нернст тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$E_{p(H^+/H_2)} = E_{o(H^+/H_2)} + 0,059 \lg a_H \quad (4.4)$$

Агарда водород электродининг стандарт потенциалининг нолга, водород ионлари активлигининг ўнли логарифми эса тескари ишора билан олинган рН га тенглигини инобатга оладиган бўлсак

$$E_{p(H^+/H_2)} = -0,059 \lg pH \quad (4.5)$$

Бу шуни англатадики, рН бир бирликка ўзгарганда водород электродининг потенциали 59 мВ га камаяди.

Кислород электродининг потенциали водород электродининг потенциалига нисбатан 1,23 В га мусбатлироқ ҳисобланади, яъни

$$E_{p(H^+/H_2)} = 1,23 - 0,059 pH \quad (4.6)$$

Кислотали муҳит учун  $pH = 0$  ва  $a_{H^+} = 1$  мол/л бўлганда  $E_{p(H^+/H_2)} = 0$  ва  $E_{p(O_2/OH^-)} = +1,23$  В. Нейтрал муҳитда  $pH = 7$  ва  $a_{H^+} = 10^{-7}$  мол/л бўлиб,  $E_{p(H^+/H_2)} = -0,415$  В ва  $E_{p(O_2/OH^-)} = +0,815$  В.

Электрокимёвий реакциялар учун Гиббснинг эркин энергияси қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланиши мумкин:

$$\Delta G^0 = -n \cdot F \cdot \Delta E \quad (4.7)$$

бу ерда  $F$  – Фарадей сони,  $n$  – реакцияда иштирок этувчи электронлар сони,  $\Delta E$  – катод ва анод реакциялари мувозанат потенциалларининг фарқи бўлиб,

$$\Delta E = E_{mk} - E_{ma}$$

### 4.3. Пурбе диаграммалари

Белгиялик олим Пурбе элемент–сув системасида мувозанатни ўрганиш усулини таклиф қилди. Усулнинг моҳияти шундан иборатки, унда: системадаги мумкин бўлган барча мувозанат ҳолатлари ўрганилади; натижалар жадвал кўринишидаги маълумотлардан иборат бўлади; таҳлил учун боғланишлар *потенциал-рН* координаталарида график кўринишда ифодаланади. График кўринишда ифодаланган бундай боғланишлар Пурбе диаграммалари дейилади.

Диаграммалар бирикмалар термодинамик барқарорлигининг чегарасини аниқлаш ва реакцияларнинг бориши мумкинлиги тўғрисида хулоса қилиш учун фойдаланилади. Охирги вақтларда коррозион жараёнларнинг алоҳида моделларини ишлаб чиқиш мақсадида комплекс тадқиқотлар ўтказиш, жумладан Пурбе диаграммаларидан фойдаланиш кенг тарқалгандир. Диаграммаларни тузишда металл–сув системасида уч турдаги мувозанат инобатган олинади:

1. *Электр зарядлари билан мувозанатли алмашинув:*



Бундай мувозанатлар рН га боғлиқ бўлмасдан фақат потенциалга боғлиқдир. Бу жараёнларни характерловчи чизиқлар рН ўқиға параллел бўлади.

2. Потенциал қиймати билан боғлиқ бўлмаган ион–молекуляр мувозанат:



Бундай мувозанатлар фақат рН нинг қийматига боғлиқ. Пурбе диаграммасида уларга потенциаллар ўқига параллел чизиқлар тўғри келади.

3. Ҳам потенциал, ҳам рН га боғлиқ бўлган мувозанатлар:



Бундай электроднинг потенциали Нернст тенгламасига асосан аниқланади:

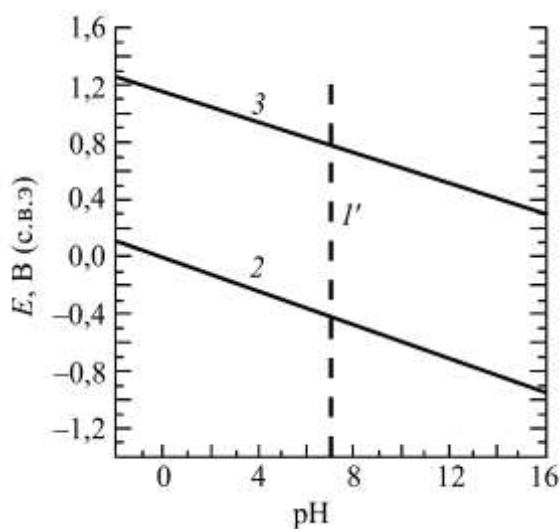
$$E_{p(\text{OH}^-/\text{Me})} = E_{o(\text{OH}^-/\text{Me})} - 0,059 \text{ рН} \quad (4.9)$$

Мувзанат чизиғи иккита ўққа нисбатан ҳам қияликка эга.

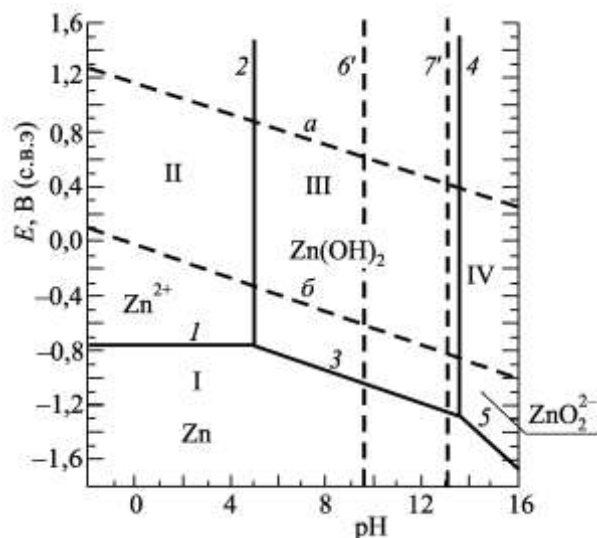
Мисол тариқасида сув учун E—рН диаграммаси (4.2-расм) келтирилган. Асосий реакциялар ва уларга мос тенгламалар (4.2-жадвалда келтирилган). Диаграммадаги 2 ва 3 чизиқлар сувнинг электрохимёвий мувозанатига тўғри келади. Бунда водород билан қайтарилиш жараёни (2 чизиқ) ва кислород билан оксидланиш жараёни (3 чизиқ) ифодаланган. 3 чизиқдан юқорида жойлашган потенциалнинг қийматларида сув оксидланади, 2 чизиқдан пастда жойлашган потенциалнинг қийматларида эса қайтарилади.

2 ва 3 чизиқлар ионларнинг активлиги бирга тенг бўлган ҳолат учун келтирилган.

1 чизиқ бир-бири билан мувозанатда бўлган  $\text{H}^+$  ва  $\text{OH}^-$  ионларининг активлиги тенг бўлган ҳолатга мос келади. 4.2-жадвалда бу  $\text{H}^+/\text{OH}^-$  сифатида белгиланган.



4.2-расм. 25°C ҳароратда сув учун E—рН диаграммаси



4.3-расм. Zn–H<sub>2</sub>O системаси учун E—рН диаграммаси.

Кўпинча 2 чизиқни “б” ҳарфи билан, 3 чизиқни эса “а” ҳарфи билан белгилайдилар. Элемент-сув системаси учун Пурбе диаграммасида сувнинг турғунлик соҳасини ажратиш мақсадида уларни пунктир чизиқлар орқали чизилади.

25°C ҳарорат ва 0,1МПа босимда сувдаги мувозанатлар тўғрисида маълумот

4.2-расм бўйича белгилашлар	Реакция	Тенглама
I (Расмда келтирилмаган)	$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$	$\lg[\text{OH}^-] = -14 + \text{pH}$
1`	$\text{H}^+/\text{OH}^-$	$\text{pH} = 7$
2	$\text{H}_2 \leftrightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$E = 1,228 - 0,059\text{pH} - 0,0295\lg P_{\text{H}_2}$
3	$2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$	$E = 0,00 - 0,059\text{pH} - 0,147\lg P_{\text{O}_2}$

4.3-расмда анча мураккаб бўлган металл–сув, яъни Zn–H<sub>2</sub>O системаси учун E—pH диаграммаси келтирилган бўлиб, бунда бир неча ҳар хил турдаги ионлар ҳосил бўлиши мумкин (4.3-жадвал).

Диаграмма тўртта соҳадан ташкил топган (4.3-расм):

I – Zn нинг термодинамик барқарорлик соҳаси (катод ҳимояси соҳаси);

II ва IV – Zn нинг эриш соҳаси (коррозияланиш соҳаси);

III – пассивланиш соҳаси.

I чизиқ рухнинг ионизация жараёнидаги мувозанат шартига мос келади. Бу чизиқдан пастда металлнинг термодинамик барқарор соҳаси ётади, ундан юқорида рухнинг эриши кузатилади.

25°C ҳароратда Zn–H<sub>2</sub>O системасидаги мувозанатлар тўғрисида маълумот

4.3-расм бўйича белгилашлар	Реакция	Мувозанат тенгламаси
1	$\text{Zn} \leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$	$E = 0,763 + 0,0295$
2	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+$	$\lg[\text{Zn}^{2+}] = 12,26 - 2\text{pH}$
3	$\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$E = -0,400 - 0,059\text{pH}$
4	$\text{Zn}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{HZnO}_2^- + \text{H}^+$	$\lg[\text{HZnO}_2^-] = -15,37 + \text{pH}$
5	$\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + 4\text{H} + 2\text{e}$	$E = 0,441 - 0,1182\text{pH} + 0,0295\lg[\text{ZnO}_2^{2-}]$
6	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HZnO}_2^- + 3\text{H}^+$	$\lg \frac{[\text{HZnO}_2^-]}{[\text{Zn}^{2+}]} = -27,63 + 3\text{pH}$
6'	$\text{Zn}^{2+}/\text{HZnO}_2^-$	$\text{pH} = 9,21$
7	$\text{HZnO}_2^- \leftrightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + \text{H}^+$	$\lg \frac{[\text{ZnO}_2^{2-}]}{[\text{HZnO}_2^-]} = -13,11 + \text{pH}$
7'	$\text{HZnO}_2^-/\text{ZnO}_2^{2-}$	$\text{pH} = 13,11$

Диаграмманинг чап қисмига тўғри келувчи рН нинг қийматларида (II соҳа)  $Zn^{2+}$  катионлари, IV соҳада эса  $HZnO_2^-$  анионлари ҳосил бўлади. Уларнинг орасида III соҳа ётади (пассивланиш соҳаси), бу соҳада эримайдиган  $Zn(OH)_2$  гидроксиди ҳосил бўлади.

6' ва 7' чизиклар хусусий ҳолда  $pH = 9,21$  (6' чизик) бўлганда  $Zn^{2+}/HZnO_2^-$ ;  $pH = 13,11$  (7' чизик) бўлганда  $HZnO_2^-/ZnO_2^{2-}$  ионлар активлиги тенг бўлган ҳол учун  $Zn^{2+}$ ,  $HZnO_2^-$  ва  $ZnO_2^{2-}$  ионлар орасидаги мувозанатга мос келадиган рН нинг қийматларини аниқлайди. 6' чизикдан чап томонда  $Zn^{2+}$  ионларининг устунлик соҳаси, ўнг томонда эса  $HZnO_2^-$  ионларининг устунлик соҳаси ётади. Худди шунга ўхшаш 7' чизикдан чап томонда  $HZnO_2^-$  ионларининг ва ўнг томонда  $ZnO_2^{2-}$  ионларининг устунлик соҳаси ётади.

2 ва 4 чизиклар кимёвий реакцияларнинг мувозанатига мос келади ва шунинг учун улар потенциалга боғлиқ эмас.

3 ва 5 чизиклар Zn нинг  $Zn(OH)_2$  ва  $ZnO_2^{2-}$  гача электрокимёвий эриш реакциялари мувозанатига мос келиб, потенциал ва рН га боғлиқ.

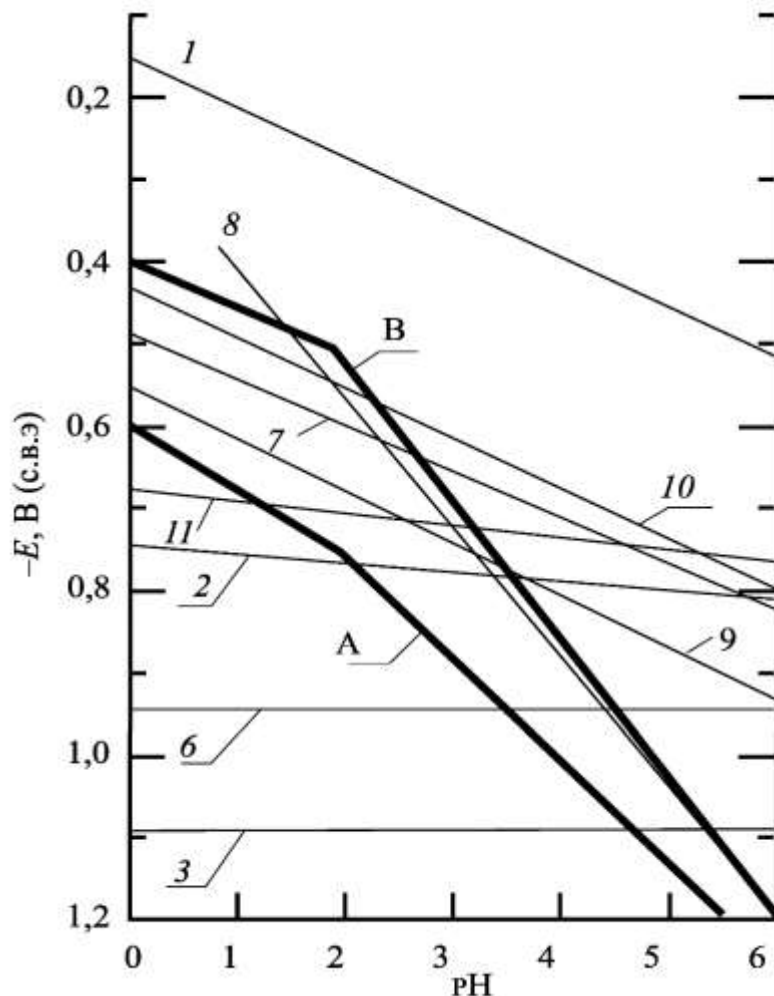
Кислотали эритмаларда хром пассив ҳолатининг термодинамик моделини ишлаб чиқишда тадқиқотларнинг комплекс усулидан фойдаланилади. Бу тадқиқотлар термодинамик ҳисоблашлар ва Пурбе диаграммасини куриш, экспериментал электрокимёвий тадқиқотлар ва сирт плёнкаларнинг хоссаларини *in situ* (тегишли жойда) ҳамда *per se* (ўз-ўзидан), яъни плёнка металл сиртидан ажралгандан сўнг усуллари асосида аниқлашни ўз ичига олади.

4.4-расмда Cr—H<sub>2</sub>O системасининг  $pH < 6$  ва  $E < 0$  бўлган ҳол учун E—pH диаграммаси ифодаланган. Расмда рақамлар билан белгиланган чизиклар мувозанат ҳолатини ифодалайди, улар 4.4-жадвалда келтирилган реакциялар учун ҳисоблаб топилган. А ва В эгриликлар экспериментал резистометрик поляризация изланишлар асосида қурилган. Яъни коррозиянинг жойлардаги тезлигини, H<sub>2</sub> ажралиш катод тоқининг қўшилиши оқибатида металл анод эришининг тезлиги ўлчанадиган анод тоқи зичлигига эквивалент бўлмаган ҳолат учун аниқлашга асосланган.

Чимадаги 1 чизик хром гидриди CrH ҳосил бўлиш реакциясининг мувозанатига мос келади. Бу чизикдан юқорида хром металл ҳолда, пастда эса CrH плёнкаси билан қопланган ҳолда бўлади. Электрон-спектрал усул билан металл ҳалдаги хром сиртида CrH плёнкасининг ҳосил бўлиши ўз тасдиғини топди.

Чимадаги А чизик потенциал ўзгариши  $E_A$  — яъни хромнинг фаол эриши бошланадиган соҳа билан рН орасидаги боғланишни ифодалайди. Хромнинг фаол эриши 2 ва 11 реакциялар (4.4-жадвал) бўйича CrH гидрид плёнкасининг оксидланиш кинетикаси орқали характерланади. А чизик 2 чизикни  $pH = 1,8$  қийматида кесиб ўтиб, ундан кейин рН нинг ортиши билан

кескин пастга йўналади.  $pH > 5,2$  бўлганда хромнинг  $Cr^{2+}$  кўринишда эриши тўхтайди ва гидрат ҳосил бўлиш реакцияси бошланади.  $E_B$  потенциал хромда пассивланишнинг бошланишига тўғри келади.



4.4-расм. Cr—H<sub>2</sub>O системасининг  $pH < 6$  ва  $E < 0$  бўлган ҳол учун  $E$ — $pH$  диаграммаси.

4.4-расмда В чизиқ  $E_B$  нинг  $pH$  га боғлиқлигини ифодалайди. Пассивланиш соҳасида  $CrH$  сиртида 7, 9 ва 10 реакциялар бўйича оксид плёнкаси ҳосил бўла бошлайди. Электрон-спектрал ҳамда эллипсометрик усуллар билан олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, оксид гидратланган бўлиб, маълум миқдорда  $H^+$  қатнашган ҳолда  $n$ -ўтказувчанликка эга қалин фазовий қатламдан ( $\approx 23nm$ ) ташкил топган кўш плёнкали  $Cr|CrH|Cr_2O_3$  структурадан иборат.

$E_B$ — $pH$  эгриликнинг қиялиги  $pH = 2,25$  дан бошлаб  $0,059 V/pH$  дан  $0,177 V/pH$  қийматгача ўзгаради (4.4-жадвал). Бу бурилишнинг ҳолати 7 ва 10 чизиқларнинг 8 билан кесишиш соҳасига тўғри келади. Бу ҳолат  $Cr_2O_3$  ҳосил бўлишидан олдинги  $Cr(OH)_3$  нинг ўтиришига мос келади. Потенциалнинг  $E \geq 0,1 V$  қийматида  $Cr(OH)_3$  ва  $Cr_2O_3$  ларнинг ўтириш эҳтимоллиги бир хил бўлади. Пассивланиш соҳасида потенциалнинг ортиб бориши билан плёнкада дегидратланиш амалга оша бориб, у бир қаватли  $Cr|Cr_2O_3$  бўла бошлайди, у  $p$ -

Cr ва унинг бирикмалари иштирокида борадиган кимёвий ва электрокимёвий реакциялар тўғрисида маълумот ( $E < 0,0$  В,  $pH < 6$ )

4.4-расм бўйича чизиқларнинг белгиланиши	Реакция	Тенглама
1	$Cr + H^+ + e \leftrightarrow CrH$	$E = -0,09 - 0,059pH$
2	$Cr^{2+} + H^+ + 3e \leftrightarrow CrH$	$E = -0,64 - 0,019pH + 0,019lg[Cr^{2+}]$
3	$Cr^{2+} + 0,5H_2 + 2e \leftrightarrow CrH$	$E = 0,95 + 0,031 \cdot lg[Cr^{2+}]$
4	$CrH + 2H^+ \leftrightarrow Cr^{2+} + 1,5H_2$	
5	$CrH + 3H^+ \leftrightarrow Cr^{3+} + 2H_2$	
6	$Cr^{2+} + 2e \leftrightarrow Cr$	$E = -0,91 + 0,03 \cdot lg[Cr^{2+}]$
7	$Cr_2O_3 + 8H^+ + 8e \leftrightarrow CrH + 3H_2O$	$E = -0,45 - 0,059pH$
8	$Cr(OH)_3 + 3H^+ + e \leftrightarrow Cr^{2+} + 3H_2O$	$E = -0,14 - 0,177pH - 0,059lg[Cr^{2+}]$
9	$Cr(OH)_3 + 3H^+ + 3e \leftrightarrow Cr + 3H_2O$	$E = -0,51 - 0,059pH$
10	$Cr(OH)_3 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow CrH + 3H_2O$	$E = -0,40 - 0,059pH$
11	$Cr^{3+} + H^+ + 4e \leftrightarrow CrH$	$E = -0,58 - 0,015pH - 0,059lg[Cr^{2+}]$
<b>Эслатма:</b> $[Cr^{2+}]$ ва $[Cr^{3+}]$ – ионларнинг активлиги		

Ўтказувчанликка эга бўлади. Cr|Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> чегарасида вентил таъсирига эга ва анод жараёнининг кечишига тўсқинлик қилувчи n-p-контакт амалга ошади. Потенциал ортиши билан плёнкада унинг ҳимоявий хусусиятларини яхшилайдиган Cr(VI) аралашма пайдо бўла бошлайди, плёнканинг гидратланиш даражаси камаяди. Потенциалнинг ундан кейинги ортиши юқори хром оксидларининг ҳосил бўлишига олиб келади. Бу оксидлар анод ёки кимёвий жараёнлар орқали эритмага ўтиб кетадиган хроматларни ҳосил қилади.

#### 4.4. Электрод реакциялари кинетикасининг қонуниятлари

Агар электрод  $E_m$  мувозанат потенциали остида бўлса электр занжирида токнинг нолга тенг бўлиши бизга маълум. Агар электроднинг потенциали мувозанат қийматига нисбатан силжитилса, масалан  $E_m + \Delta E$  га тенг бўлса у ҳолда электронлар ёки ионларнинг фазалар чегараси орқали йўналган ўтиши юзага келиб, занжирда нолдан фарқли ток оқа бошлайди. Бундан бошқа вариант ҳам бўлиши мумкин: масалан электрод орқали ташқи маба ёрдамида ток ўтказилса электроднинг потенциали мувозанат потенциалидан  $\Delta E$  га четга чиқади. Электроддан ток ўтганда потенциалнинг  $\Delta E = E - E_m$  га сижиши электроднинг қутбланиши дейилади.



Электрод жараёнларининг кинетикасини ўрганиш электроднинг қутбланиши  $\Delta E$  билан электрохимёвий реакция тезлиги  $i$  орасидаги боғлиқликни топишдан иборатдир.

*Ток зичлиги билан потенциал орасидаги боғланиш графиги қутбланиш эгрилиги дейилади* ва у коррозия жараёнларини ўрганишда муҳим аҳамият касб этади.

$E - Igi$  боғланишни экспериментал аниқлаш учун **асосий** (ўрганилаётган), **ёрдамчи** (одатда платинадан тайёрланган) ва **таққосланадиган электродлар**дан иборат уч электродли ячейкалардан фойдаланилади. Асосий ва ёрдамчи электродлар орқали уларни ташқи кучланиш манбага улаб ток ўтказилади (уни тегишли асбоблар ёрдамида ўлчаш орқали). Бунда асосий электроднинг таққосланадиган электродга нисбатан потенциали ўлчанади. Бундай ўлчашлар ток зичлигининг турли қийматлари учун амалга оширилади ва натижада олинган кўпсонли нукталар асосида  $E - Igi$  боғланишнинг графиги чизилади. Галваностатик усул деб аталадиган бу усулдан фарқли ҳолда потенциостатик усул ҳам мавжуд. Бунда асосий электродга таққосланадиган электродга нисбатан қиймати вақт ўтиши билан доимий бўлган (махсус потенциостат асбоблари ёрдамида) потенциал берилади. Эксперимент давомида асосий-ёрдамчи электродлар орқали ўтаётган ток мунтазам ўлчаб борилади.

*Электрохимёвий реакциянинг муҳим белгиларидан бири реакция тезлигининг  $i$  ток зичлигига эквивалент эканлигидир.* Бундай эквивалентлик Фарадей қонунидан келиб чиқади. Металлнинг эриши жараёнида маълум вақт ичида металл массасининг йўқотилишини билган ҳолда унинг эриш тезлигини ҳисоблаш мумкин. Бу эса анод токи зичлигини аниқлаш имконини беради:

$$i_a = \frac{nF\Delta m}{SA_M\tau} \quad (4.10)$$

бу ерда  $A_M$  – металлнинг атом массаси,  $\Delta m$  –  $\tau$  вақтда метал массасининг камайиши,  $S$  – электрод юзаси,  $n$  – электронлар сони,  $F$  – Фарадей сони,  $\tau$  – вақт.

Амалда қўллаш қулай бўлиши учун электрохимёвий реакция тезлиги тенгламасида бу тезликни кўпинча ток зичлиги орқали ифодалаш мақсадга мувофиқдир (масалан,  $A/cm^2$  ларда).

Ҳар қандай электрод жараёнлари бир неча босқичлардан иборат бўлади. Уларнинг асосийлари қуйидагилардир:

- Эритма ҳажмидан электрод сиртига сезгир моддаларни киритилиши;
- Фазалар бўлиниш чегараси орқали зарядланган заррачаларнинг (электронлар ва ионлар) кўчиб ўтиши;
- Реакция маҳсулотларининг эритма ҳажмига қайтарилиши;

Электрод жараёнининг тезлиги, лимитловчи тезлик деб аталадиган энг кичик тезликка эга бўлган босқич тезлиги орқали аниқланади.

Электрохимическая реакция темп массинг кўчиш босқичи билан аниқланадиган бўлса, концентрацион поляризация амалга ошади. Бундай ҳолда жараённинг кинетикаси қонуниятлари кейинги мавзуларда кўриладиган диффузия билан лимитланади.

#### 4.4.1. Диффузион кинетика. Концентрацион қутбланиш.

Электрод жараёнларида модда кўчиши бир неча йўллар билан амалга ошиши мумкин. Ток ўтганда электрод яқинида модданинг концентрацияси ўзгаради, бунда эритманинг бир компонентлари электрод реакциясига киришса, бошқалари реакция натижасида вужудга келади. Натижада электродга яқин қатламлар билан эритманинг ҳажми орасида концентрация фарқи юзага келади. Бу ўз навбатида эса молекуляр диффузияга олиб келади.

Масса кўчишининг иккинчи кўриниши зарраларнинг электр майдон таъсиридаги ҳаракати туфайли амалга ошади. Электростатик кучлар орқали ионлар қарама-қарши ишорали зарядланган электродларга тортилади. Бу ҳам ўз навбатида ионларнинг миграциясига сабаб бўлади.

Ҳаракатланаётган суюқлик оқими билан модданинг кўчиши конвекция дейилади. Бундай кўчишни сунъий равишда ҳам суюқликни аралаштириш орқали ҳосил қилиш мумкин. Табиий шароитларда реакция зонасида электролитни жойларда қиздирилиши, газ ҳосил бўлиши ва газ пуфакчаларининг электроддан узилиб чиқиши ва б. ҳам конвекцияга олиб келиши мумкин.

Кўпинча диффузия жараёлари қуйидаги икки вариантда ўрганилади: Стационар шароитлардаги аралаштирилмайдиган ёки назорат қилинадиган конвектив режимдаги электролитларда.

Агарда реакцияга киришаётган модда концентрациясининг ( $C_0 - C$ ) ўзгариши  $\delta$  қалинликдаги диффузион қатламда юз бераётган бўлса, у ҳолда Фикнинг биринчи қонунига асосан:

$$\frac{dm}{d\tau} = K_D \frac{C_0 - C}{\delta} \quad (4.11)$$

бунда  $\delta$  – 1 см<sup>2</sup> юза орқали бирлик вақт ичида диффузия орқали ўтадиган грамм-ионлар сони;  $K_D$  – диффузия коэффиценти;  $C$  ва  $C_0$  – мос равишда электрод сиртидаги потенциали аниқланадиган ва эритма ҳажмидаги ионлар концентрацияси.

Агарда электродга етиб келадиган барча ионлар шу заҳотиёқ разрядланса, Фарадей қонунига асосан ток зичлиги учун қуйидаги тенглама ўринли бўлади:

$$i = \frac{dm}{d\tau} nF \quad (4.12)$$

бунда  $n$  – зарядланган зарралар сони;  $F$  – Фарадей сони. (4.11) тенгламани инобатга олсак бу тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$i = K_D \frac{C_0 - C}{\delta} nF \quad (4.13)$$

Чегаравий диффузия токи деб аталадиган энг катта ток  $C \approx 0$  бўлганда кузатилади, яъни электродга яқинлашган ҳар бир ион шу заҳотиёқ электрокимёвий реакцияга киришади. Буни инобатга оладиган бўлсак диффузия токининг қиймати

$$i_D = K_D \frac{C_0}{\delta} nF \quad (4.14)$$

Шундай қилиб, чегаравий диффузия токи потенциалга боғлиқ эмас (4.5-расм).

Электрокимёвий жараён диффузия босқичининг секинлашуви концентрацион қутбланишнинг юз беришига олиб келади. Унинг қиймати қуйидаги тенгламадан топлади:

$$\Delta E = 2,3 \frac{RT}{nF} \lg \frac{C_0}{C} \quad (4.15)$$

(4.13) ва (4.14) тенгламалардан қуйидаги ифодани оламиз:

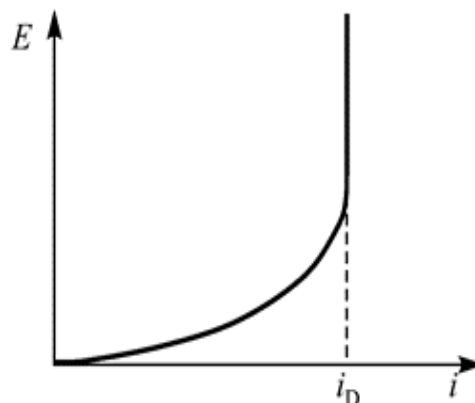
$$\frac{i}{i_D} = 1 - \frac{C_0}{C} \quad (4.16)$$

Бу тенгламани ҳисобга олган ҳолда

$$\Delta E = 2,3 \frac{RT}{nF} \lg \left( 1 - \frac{i}{i_D} \right)$$

Бу ифоданинг график кўриниши 4.5-расмда ифодаланган.

Металлар эришининг анод босқичи учун коррозия жараёнларида концентрацион қутбланишнинг юз бериши камдан-кам ҳолларда кузатилади. Биргаликда борадиган катод реакцияларида диффузион чекланиш тез-тез учраб туради.



4.5-расм. Концентрацион қутбланишнинг ток зичлигига боғлиқлиги

#### 4.4.2. Секинлашган разряд босқичи – ионизация.

Агар электрокимёвий жараённинг энг секин борадиган босқичи зарядланган зарраларнинг фазалар бўлиниш чегараси орқали ўтиш бўлса, у ҳолда разряднинг секинлашган босқичи, яъни ионизация ўринли бўлади.

Заряднинг фазалар бўлиниш чегараси орқали кўчишининг кинетик қонуниятларини ифодаловчи назария *секинлашган разряд назарияси* дейилади. Сифат жиҳатидан бу назария биринчи марта М. Фольмер ва А.Н. Фрумкин томонидан таърифлаб берилган.

Электрокимёвий реакция тезлигига потенциал сакраши таъсирининг асосий сабаби шундан иборатки, бундай реакцияларнинг тезликлари активация энергияси металл-эритма чегарасида потенциалнинг функцияси бўлган заряд кўчиш босқичи билан лимитланади. Бундай ҳолларда электрокимёвий жараён тезлиги билан электрод потенциали орасидаги миқдорий боғланиш Фольмер-Фрумкин тенгламаси орқали ифодаланади. Энг

сода, бир йўналишда борувчи жараён, яъни бир вақтнинг ўзида  $n$  та электрон ажраладиган ҳол учун (4.1) ифодага нисбатан қўлланилганда бу тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$i_a = ka_m \exp[\beta nF(E - E_m)/RT] \quad (4.18)$$

бу ерда  $i_a$  – ток зичлиги бирликларида ифодаланган анод реакцияси тезлиги;  $a$  – реагент активлиги (мазкур ҳолда – металл);  $\beta$  – анод реакцияси учун кўчиш коэффициентлари;  $F$  – металлнинг қаралаётган шароитдаги электрод потенциали;  $E_m$  – (4.1) реакциянинг мувозанат электрод потенциали; “ $a$ ” индекс анод жараёни кечаётганлигини билдиради, “ $m$ ” эса гап металл ҳақда кетаётганини билдиради.

Шундай қилиб, электрохимёвий реакция тезлиги потенциалга боғлиқ бўлиб, у экспоненциал қонун бўйича ўзгарар экан. Бу исталган электрохимёвий жараён, жумладан металлнинг эриш жараёнининг ўзига хос томонларидан ҳисобланади.

Охириги ҳол учун шуни инобатга олиш лозимки, металлнинг активлиги ( $a_m$ ) одатда доимий катталиқ, шу сабабли (4.18) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш ўринли бўлади:

$$i_a = k \exp[\beta nF(E - E_m)/RT] \quad (4.19)$$

Амалда қўллаш қулай бўлиши учун (4.19) ифодани қуйидагича логарифмлаш мақсадга мувофиқдир:

$\ln i_a = \ln k + \beta nF(E - E_m)/RT$  ёки натурал логарифмларни ўнлисига ўтказилса

$$\lg i_a = k' + \beta nF(E - E_m)/2,3RT \quad (\text{бунда } k' = \frac{\ln k}{2,3}) \quad (4.20)$$

Агарда бу тенгламага  $2,3RT/\beta nF = b$  (4.21) деб ўзгартириш киритсак, у ҳолда

$$E = a' + b \lg i_a, \quad (4.22)$$

$$\text{бунда } a' - \text{ доимий катталиқ, } b = d \lg i_a / dE \quad (4.23)$$

металл эриш тезлигининг характеристикаси.

(4.22) тенглама билан ифодаланувчи  $i_a$  нинг  $E$  га боғлиқлиги асосида ётувчи қонунга биринчи марта Тафел томонидан таъриф берилганлиги сабабли у Тафел тенграмаси деб юритилади. Шунингдек, бу ифодага кирувчи  $b$  катталиқ Тафел қиялиги (металлар электрохимёвий эришини ўрганиш билан боғлиқ бўлган илмий ва амалий масалаларни ечишда кенг қўлланиладиган  $E - \lg i_a$  координаталар системасидаги эгриликларнинг қиялигини назарда тутиб) деб юритилади.

“Қиялик” тушунчаси шуни англатадики, ток зичлиги логарифмининг ўзгаришига эквивалент бўлган, ток зичлиги 10 мартага ўзгарганда, мВ ларда ифодаланган электрод потенциали  $b$  катталиқка ўзгаради.

Қиялик катталиги  $b$  муҳим характеристика ҳисобланиб, электрохимёвий реакциялар кинетикаси тўғрисидаги хулосалар қилишда асосий аргумент бўлиб хизмат қилади.

Масалан,  $E - \lg i_a$  координаталарида кутбланиш эгриликларининг қиялиги реакцияда қатнашувчи электронларнинг сони тўғрисида хулоса қилиш имконини беради. Мисол тариқасида металлнинг эриш жараёни бир босқичда борадиган ҳолни кўриб чиқамиз.



Фараз қилайлик, металл эритмага бир валентли  $\text{Me}^+$  катионлар шаклида ҳам, шунингдек икки валентли  $\text{Me}^{2+}$  катионлар шаклида ҳам ўта олади. Исталган ҳолда ҳам реакция тезлигини ифодалаш учун (4.22) тенглама ўринли бўлади, бунда қиялик  $b = 2,3RT / \beta nF$ . Одатда,  $20^\circ\text{C}$  ҳарорат учун  $\beta \approx 0,5$  бўлганлиги сабабли  $R$  ва  $F$  катталикларнинг сон қийматларини қўйиб қуйидагиларга эга бўламиз:

$$n = 1 \text{ бўлган ҳол учун } b = 118 \text{ мВ};$$

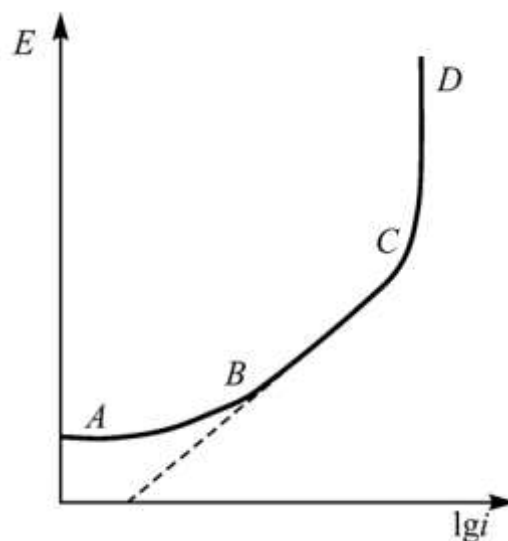
$$n = 2 \text{ бўлган ҳол учун } b = 59 \text{ мВ}.$$

(4.18) тенгламани таҳлил қилишда таъкидланган эдики, кутбланишнинг кичик қийматларида  $\Delta E = E - E_m \ll \frac{RT}{F}$  бўлган ҳоллар учун ( $\Delta E$  кўпинча 25 мВ дан ошмайди) экспонентани қаторга ёйиб, қуйидагини олиш мумкин:

$$\Delta E = \frac{RT}{nF} \frac{i}{i_0} \quad (4.24)$$

бунда  $i_0$  – алмашиниш токининг зичлиги.

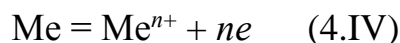
Шундай қилиб, мувозанат потенциали яқинида  $E$  ва  $i$  орасида чизикли боғланиш кузатилиши керак. У ҳолда кутбланиш эгрилиги  $E - \lg i_a$  координата системасида умумий ҳолда 4.6-расмда кўрсатилган кўринишда бўлади. АВ қисм кутбланишнинг кичик қийматларига ва  $E$  ҳамда  $i$  орасида боғланишнинг чизикли соҳасига мос келади. ВС қисмда  $E$  ва  $\lg i$  лар орасида тафел боғланиши кузатилади ва ниҳоят CD қисм чегаравий диффузион ток соҳасига тўғри келади. Бу бобда ишлаб чиқилган қонуниятлар электрохимиявий коррозия жараёнларининг асосида ётувчи реакцияларнинг таҳлили учун муҳим аҳамият касб этади.



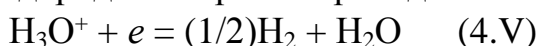
4.6-расм. Кутбланиш эгрилигининг умумий кўриниши

#### 4.5. Электрохимическая коррозия металла в общем виде.

Эрийдиган махсулотлари (яъни  $Me^{n+}$  ионлари) ҳосил бўлиши билан борадиган металл коррозиясини оддий ҳолда *металларнинг эриш жараёни* деб айтилади. Металл атомларидан металл ионларининг ҳосил бўлишини кислотали электролит эритмаси мисолида қуйидаги реакция орқали ифодалаш мумкин:



Бу реакцияда электронлар ажралиб чиқади, ва улар қуйидаги реакцияга кўра водород ионларига бирикади:



Натжада бир вақтнинг ўзида металлда иккита реакция — анод (4.IV) ва катод (4.V) реакциялари боради.

Электронларнинг кўчиши металл сирти орқали амалга ошса, ионларнинг ҳаракати электролитда юз беради. Бунда юз берадиган ҳодиса 4.7-расмда ифодаланган. Электрохимический жараённинг кечишида анод  $E_a$  ва катод  $E_k$  потенциаллари маълум бир нуқтада кесишади. Потенциалнинг бу қиймати  $E_{ст}$  стационар ёки силжиган (компромисс) потенциал дейилади. Потенциалнинг  $E_{ст}$  қийматида катод ва анод тоқларининг қиймати тенг бўлади, яъни

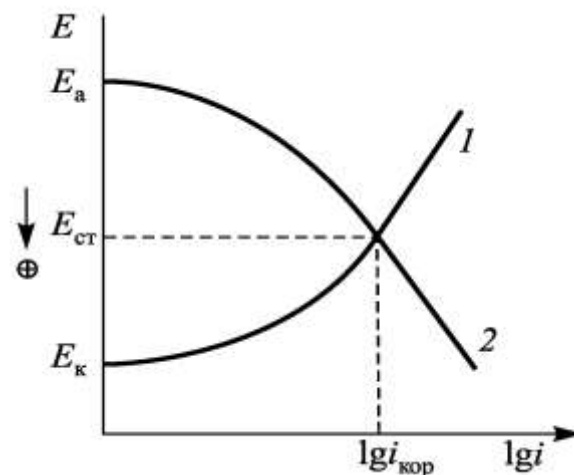
$$i_a = i_k = i_{кор} \quad (4.25)$$

$i_{кор}$  – коррозия тезлиги ёки металлнинг ўз-ўздан эриш тезлиги дейилади.

Агарда бунда электрод жараёнлари кечмаганда эди электродларнинг потенциаллари тенглашарди ва тўла кутбланиш амалга ошар эди.

Аслида эса анод ва катод жараёнлари давом этади. Эритмада деполяризаторларнинг бўлиши реакцияларнинг кечишини таъминлайди, натижада  $H_2$  ёки  $OH^-$  ҳосил бўлади. Шундай қилиб, ташқи ток бўлмаганда агарда металлда икки қарама-қарши йўналишда бир вақтнинг ўзида кечадиган реакциялардан бири эриш реакцияси, иккинчиси эритманинг қандайдир оксидланувчи компонентининг, масалан водород ионларининг қайтарилиш реакцияси бўлса, ана шунинг ўзи коррозия жараёнидир.

**Шундай қилиб, металл эритмага туширилган ва ташқи манбадан келадиган ток у орқали ўтмаётган шароитда ўз-ўзидан борадиган жараёнга коррозия дейилади.**



4.7-расм. Деполяризатор разряди (1) ва металл ионизацияси (2) реакциялари тезликларининг потенциалга боғлиқлиги.

Коррозия жараёнини металл орқали ташқи ток оқаетган ҳолдагина ўрганиш мумкин. Коррозия тезлиги ҳақида маълумот олиш учун металл орқали ток ўтказиш (уни қутблаш) ва қутбланиш эгриликларини чизиш принциpidан фойдаланиш лозим.

Агар электродни ток манбаининг манфий қутибига уланса, унинг потенциали манфий томонга силжийди. Электродни ток манбаининг мусбат қутибига улаш орқали унинг потенциалини мусбат томонга силжитиш мумкин. Бунда бир вақтнинг ўзида ток ва потенциалнинг қийматлари ўлчанса, катод ва анод қутбланиш эгриликларини олиш мумкин.

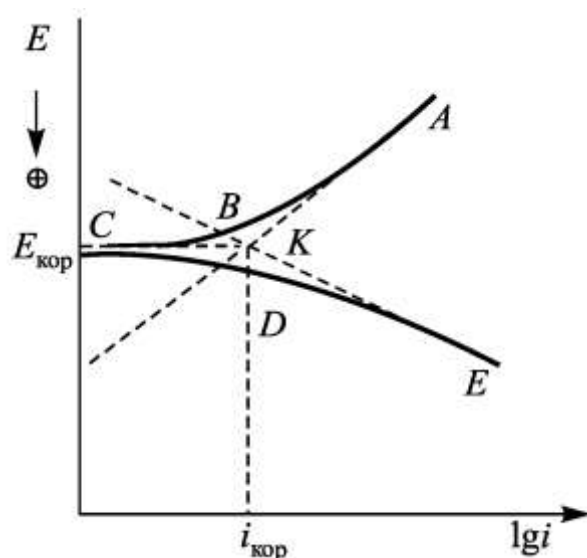
Ҳозиргача кўрилган коррозия жараёнларидаги қоидаларга биноан анод реакцияларининг йўналиши тўғри ва анод токи мусбат, катод токининг йўналиши эса манфий деб қабул қилинади. Токларнинг йиғиндиси электрод орқали оқаетган ва ўлчаш асбоблари томонидан қайд қилинадиган ташқи ток катталигини ҳосил қилади. Электродда бир вақтнинг ўзида тезликлари мос равишда  $i_k$  ва  $i_a$  бўлган бирта катод ва бирта анод жараёнлари кечаётган бўлса, ташқи токнинг ишораси абсолют қиймати катта бўлган ток ишораси билан аниқланади. Масалан  $|i_k| > |i_a|$  бўлса ташқи ток  $i_{mau}$  манфий ва унинг абсолют қиймати  $|i_k| - |i_a|$  га тенг бўлади.

Агарда турли йўналишдаги токларнинг қийматлари бир-биридан катта фарқ қиладиган бўлса, ташқи токнинг йўналиши энг катта токнинг йўналиши билан бир хил бўлади.

Масалан  $i_k \gg i_a$  бўлса ташқи ток  $i_{mau} = |i_k| - |i_a|$  ни  $i_k$  га тенг деб олиш мумкин, чунки мазкур ҳолда  $i_a$  ни ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

4.8-расмда металлнинг эриши ва  $H_2$  ажралиши жараёнида катод (CBA) ва анод (CDE) қутбланиш эгриликлари келтирилган. Коррозия токини аниқлаш учун (CBA) ва (CDE) эгриликларининг тўғри чизиқли қисмларини давом эттириб (экстраполяциялаб), уларнинг кесишган К нуктасини топиш лозим. Бу нуктага тегишли потенциал  $E_{кор}$  – коррозия потенциали,  $i_{кор}$  ток зичлиги эса коррозия тезлигини ифодалайди.

$E_{кор}$  потенциал кўпинча стационар ёки коррозия потенциали дейилади. Уни баъзан эркин коррозия потенциали деб ҳам айтилади. АК ва КЕ тўғри чизиқлар



4.8-расм. Водород ажралиши ва металлнинг эриш реакциялари борадиган металлда ўлчанган катод (CBA) ва анод (CDE) қутбланиш

водород ажралиши ва металл эриши жараёнларининг алоҳида-алоҳида олинган ҳақиқий тезликларининг потенциалга боғлиқлигини ифодалайди.

Катод қутбланишида водороднинг ажралиш тезлиги ортади, металлнинг эриш тезлиги эса камаяди. Демак, катод қутбланиши орқали металлни коррозиядан ҳимоялаш мумкин. Бу ҳодиса протект-эффект дейилади ва металл конструкцияларини коррозиядан ҳимоялашда кенг фойдаланилади. Ҳимояланадиган металлни мувозанат потенциалининг қиймати янада манфийроқ бўлган бошқа металлга улаш ёки ташқи катод қутбланиши орқали буни амалга ошириш мумкин.

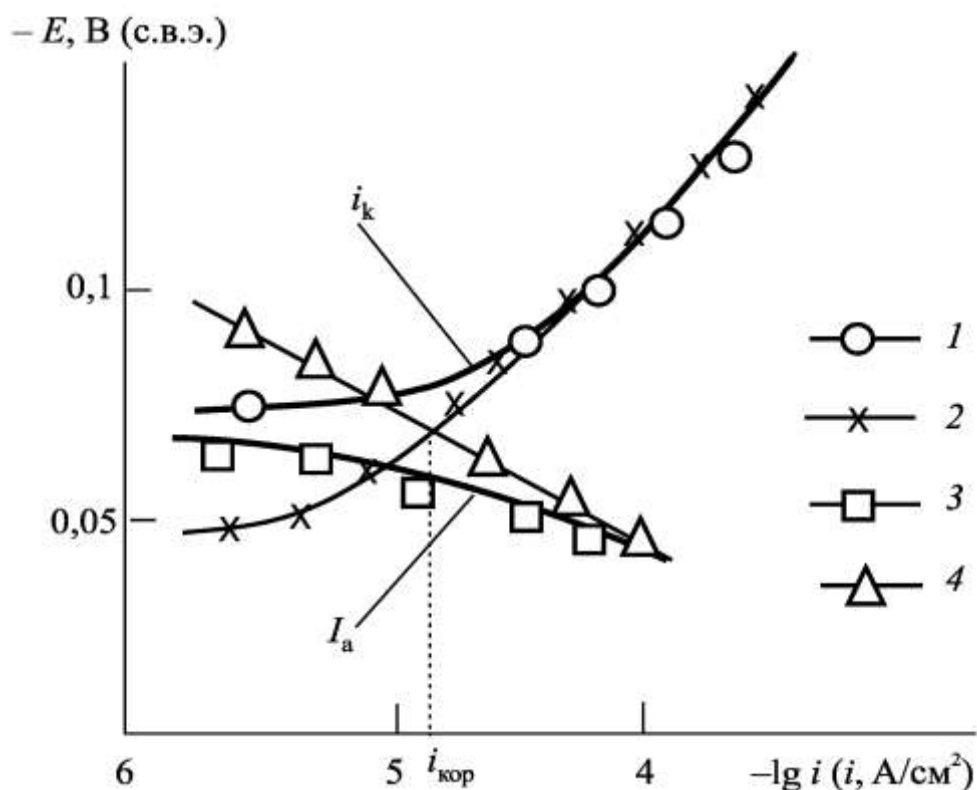
Коррозия жараёнларининг баён этилган тавсифи металл сиртининг ҳам анод ҳам катод реакциялари учун бир хил имкониятли бўлган ҳолидагина ўринли бўлади. Идеал биржинсли сиртга эга бўлган металл учун (масалан, суюқ металл учун) бундай шартнинг бажарилишига шубҳа йўқ. Одатдаги қаттиқ металл (ҳаттоки жуда тоза бўлса ҳам) учун улар сиртдаги биржинслиликнинг муқаррар бузилиши сабабли юқоридаги шартнинг бажарилиши шубҳали бўлади. Бу эса металлларнинг электрохимёвий коррозияси тўғрисидаги таълимотнинг дастлабки босқичларида микроэлементлар назарияси деб ном олган тушунчаларнинг пайдо бўлишига сабаб бўлди. Бу назариянинг таъкидлашича, оксидланувчининг катод қайтарилиши (маслан, водород ажралиши) коррозияланадиган металл сиртининг фақатгина баъзи бир қисмларидагина амалга ошади. Металлнинг эриши эса бошқа қисмларда ҳам юз бериши мумкин. Шу сабабли катод ва анод реакцияларининг фазовий ажратилиши мавжуд бўлиб, у коррозия жараёнларини кўп сонли “қисқа туташган галваник элементлар” нинг фаолияти сифатида қараш имконини беради.

Микроэлементлар назарияси коррозия тўғрисидаги фаннинг ривожига ижобий таъсир кўрсатган бўлсада, умумий коррозия жараёнларига миқдорий баҳо бера олмади. Академик Я.М. Колотыркин томонидан электролит эритмаларида қаттиқ металлларнинг коррозион табиатини локал элементлар ҳақидаги тасаввурларга мурожаат қилмасдан ҳам тушунтириш мумкинлигини кўрсатиб берди. Аксинча, коррозия жараёнини ташкил қилувчи ҳам анод ҳам катод реакциялари учун металл сиртини бир хил имкониятли деб қабул қилиш керак. Бу хусусий ҳолда қуйидаги тажриба билан экспериментал тасдиқланди.

Никелнинг  $\text{H}_2\text{SO}_4$  да эриши мисолида кўрсатилдики,  $\text{H}_3\text{O}^+$  ионларининг разрядланиш реакцияси металлнинг эриш тезлигига таъсир қилмайди (4.9-расм). Бу расмдаги 3 анод қутбланиш эгрилиги коррозия потенциалига яқин мотенциалларда унча ктга бўлмаган тезликда кечадиган водород ажралиши билан борадиган катод реакцияси (4.9-расмда 2 чизик) натижасида анод токининг пасайиши туфайли тафел тўғри чизигидан четлашади. Ташқи анод токи ва водороднинг ажралиш тезлигини алгебраик йўл билан қўшиш орқали бу реакцияга тузатмалар киритилиши қутбланиш эгрилигида анод қутбланиш



эгрилиги нуктасидан ўтувчи, етарлича мусбат потенциалларда ётувчи тўғри чизиқли кесма (4.9-расмда 4 чизиқ) ҳосил бўлишига олиб келади. Келтирилган маълумотлар шуни кўрсатадики, параллел равишда кечадиган водород ажаралиши жараёни бўлганда ҳам, бўлмаганда ҳам металл анод эришининг кинетикаси ўзгармай қолаверади.



**4.9-расм. 1 н.  $H_2SO_4$  даги никелда ўлчанган катод (1) ва анод (3) кутбланиш эгриликлари. 2 – газометрик олинган водород ажралишининг парциал эгрилиги; 4 – (3) ва (2) эгриликларни алгебраик қўшиш орқали топилган никел эришининг парциал эгрилиги**

Баён этилган ишлар замонавий металллар эриши назариясининг асосини ташкил қилади. Булардан қаттиқ металлларда кечадиган коррозия жараёнларига тегишли иловаларнинг ҳаққонийлиги, электрокимёвий кинетиканинг миқдорий қонунлари келиб чиқади.

*Шундай қилиб айтиш мумкинки, бир жинсли бўлмаган металлларда коррозия жараёнини бир бутун ташкил этувчи катод ва анод реакциялари фазовий алоҳида бўлмасдан, коррозияда бу икки жараён вақт ва макон жиҳатидан статик тақсимланган ҳодиса ҳисобланади.*

Шунинг учун электрокимёвий коррозия жараёнларини таҳлил қилиш алоҳида катод ва анод реакцияларининг физик-кимёвий қонуниятларини ва уларнинг биргаликда амалга ошиш шароитларини ўрганишдан иборатдир.

#### 4.6. Водород қутбсизланиши билан борадиган коррозия жараёнлари.

*Катод реакцияси водород ажралиши билан борадиган металл коррозияси водород қутбсизланиши билан борадиган металл коррозияси дейилади.*

Металлар коррозияси водород қутбсизланиши билан қуйидаги ҳоллада боради:

- $H^+$  ионларининг юқори активлигида, яъни кислоталар эритмасида, масалан темир, рух ва бошқа металлларнинг кислоталарда эришида;
- металл ионизация потенциалининг етарлича манфий қийматларида, масалан, магнийнинг сувдаги ёки тузларнинг эритмасида;

Амалда бу ҳодисаларни кислоталарни сақлаш ва ташишда, металллар сиртига кислотали ишлов беришда, кислота олишдаги адсорбция босқичида кузатиш мумкин.

Термодинамик нуқтаи назардан водород қутбсизланиши билан борадиган металл коррозияси  $E_a < E_k$  шарт бажарилгандагина амалга ошади.

Водороднинг парциал босими  $P_{H_2}=0,1$  МПа ва  $P_{H_2} = 5 \cdot 10^{-8}$  МПа бўлганда (иккинчиси  $H_2$  нинг атмосферадаги парциал босими) водород электроди мувозанат потенциалининг қийматлари рН га боғлиқ ҳолда 4.5-жадвалда келтирилган.

4.5-жадвал

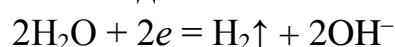
Водород электроди мувозанат потенциалининг 25°C ҳароратдаги муҳитнинг рН га боғлиқлик қийматлари

Водороднинг босими $P_{H_2}$ , МПа	рН нинг қуйидаги қийматларида $E_p$ , В		
	0	7	14
$5 \cdot 10^{-8}$	+0,186	-0,228	-0,641
0,1	0	-0,415	-0,828

Водород ажралишининг катод жараёни қуйидаги босқичлардан иборат бўлади:

- гидратланган водород ионларининг металл сиртига ўтириши туфайли массанинг кўчиши;
- $H_3O^+$  разрядланишининг электрохимий босқичи ва  $H_2$  нинг ҳосил бўлиши;
- $H_2$  нинг металл сиртидан ажралиши;

Ишқорли эритмаларда  $H_3O^+$  ионининг концентрацияси жуда кичик бўлганлиги сабабли водороднинг ажралиши сув молекуласининг қайтарилиши ҳисобига амалга ошади:



Кўп ҳолларда металлларнинг коррозияси юқори  $H_3O^+$  концентрацияли эритмаларда юз берганлиги сабабли  $H_3O^+$  бўйича концентрацион қутбланиш кузатилмайди.

Катод кутбланишининг асосий сабаби электрохимий разряднинг секинлашган босқичи ёки газсимон маҳсулот ажралиши билан борадиган молекуляр водород бўйича концентрацион кутбланиш ҳисобланади.

$H_2$  нинг кинетикаси ва ажралиш механизми катта ва алоҳида масала бўлиб, уни ўрганиш ва ривожлантиришда академик А.Н. Фрумкин илмий мактабининг олимлари муносиб ҳисса қўшдилар. Бу ишлар электрохимё фани бўйича дарсликларда кенг ёритилган. Мазкур китобда эса қисқа ва асосий маълумотлар келтирилган.

Ток зичлигининг кенг интервалида  $H_2$  ажралиш реакциясининг тезлиги Тафел тенгламаси орқали ифодаланади. Ток зичлигининг кичик  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  А/см<sup>2</sup> қийматларида потенциал ўзгаришининг ток зичлигига боғлиқлиги чизикли бўлиб ҳисобланади. Кўпгина металллар учун  $E - \lg i$  координатларида  $b$  қиялик 118 мВ га тенг бўлиб, битта электрон ўтиши механизми орқали разряднинг секинлашган босқичи билан борадиган ҳолга тўғри келади. Бироқ бунда бошқа механизмлар ҳам бўлиши мумкин.

Тафел тенгламасидаги (4.22)  $a'$  константа катоднинг материалга ёки қотишма таркибига кирувчи бошқа катод қўшимча материалларга боғлиқ бўлиб, унинг қиймати ток зичлиги 1 А/см<sup>2</sup> бўлгандаги кучланиш зўриқшининг катталиги сифатида аниқланади. Кучланиш зўриқшининг энг катта қиймати кўрғошин, симоб, кадмий ва руҳда кузатилади.

Молекуляр водороднинг секинлашган диффузияси оқибатида юз берадиган кутбланиш газнинг концентрацион кутбланиши деб номланади. Катод токининг энг кичик қийматларидан бошлаб, у водород деполяризацияси жараёни билан бирга амалга ошади.

Кўп ҳолларда  $H_2$  ажралишининг кутбланиш эгрилиги 4.6-расмда тасвирланган кўринишда (АВ ва ВС қисмлар) бўлади. Баъзи металллар учун  $H_2$  нинг ажралиши водородланиш жараёни билан бирга кечади. Водороднинг ҳосил бўлишида адсорбцияланган  $H_{адс}$  водород атоми металлда ютилиб, унинг ҳажми бўйлаб диффузияланади.  $H_{адс}$  атомлари кристалл панжара тексликлари ва вокансияларида тўпланиб, у ерда рекомбинация жараёни орқали  $H_2$  молекулаларига айланади. Бунда металл ҳажми бўйлаб босим ортади ва дарз кетиш туфайли металлнинг яхлитлиги бузилиши мумкин.

Шундай қилиб, водород кутбсизланиши билан борадиган металллар коррозияси қуйидагилар билан характерланади:

- металл коррозияси тезлигининг эритма  $pH$  ига кучли боғлиқлиги;
- қотишмалар коррозияга чидамлилигининг уларнинг табиатига ва улардаги катод қўшимчаларига кучли боғлиқлиги;
- металлнинг эриши давомида унинг сиртида бегона аралашмаларнинг кўпайиши туфайли вақт ўтиши билан коррозия тезлигининг ортиши;
- металлларда водородли мўртлашувнинг пайдо бўлиши;

#### 4.7. Кислород қутбсизланиши билан борадиган коррозия жараёнлари.

*Катод реакцияси электролитда эриган кислород иштирокида борадиган металллардаги коррозия жараёнлари кислород қутбсизланиши билан борадиган коррозия дейилади.*

Кислород қутбсизланиши билан борадиган коррозия энг кўп тарқалган коррозия жараёни ҳисобланади. Кислород қутбсизланиши билан борадиган коррозияланиш атмосферада жойлашган, сув ва тузли эритмалар билан контактда бўлган металлларда юз беради. Дарё ёки денгизда сузувчи кемаларнинг сирт қопламалари, кимёвий заводлардаги совутиш тизимининг жиҳозлари, магистрал кувур ўтказгичлар, нефт ва нефт маҳсулотлари сақланадигани резервуарлар ва б. шулар жумласидандир. Кислород деполяризацияси билан кечадиган металллар коррозияси энг кўп тарқалган коррозия жараёнидир.

4.6-жадвалда кислород электроди мувозанат потенциалининг муҳит рН га боғлиқлик қийматлари келтирилган. Бу боғланиш кислород босимининг 0,1 МПа ва 0,021 МПа ( $O_2$  нинг атмосферадаги парциал босими) қийматлари учун келтирилган.  $E_{p(O_2/OH^-)}$  нинг қиймати жуда мусбат бўлганлиги сабабли бу жараён кўп ҳолларда кузатилади.

4.6-жадвал

Кислород электроди мувозанат потенциалининг 25°C ҳароратдаги муҳитнинг рН га боғлиқлик қийматлари

Кислороднинг босими $P_{O_2}$ , МПа	рН нинг куйидаги қийматларида $E_{p(O_2/OH^-)}$ , В		
	0	7	14
0,021	+1,218	+0,809	+0,381
0,1	+1,229	+0,815	+0,400

$O_2$  нинг қайтарилишидаги катод жараёни куйидаги кетма-кет босқичларни ўз ичига олади:

- ҳаводаги кислороднинг электролитда эриши;
- электролит ҳажмида эриган кислороднинг металл сиртига ўтиши;
- кислороднинг ионлашуви;
- $OH^-$  ионларининг электролит ичкарасига масса олиб ўтиши;

Кўп ҳолларда катод жараёнининг энг секин босқичи тинч турган электролитларда кислород диффузияси, аралаштириладиган эритмаларда эса — кислород ионизацияси ҳисобланади.

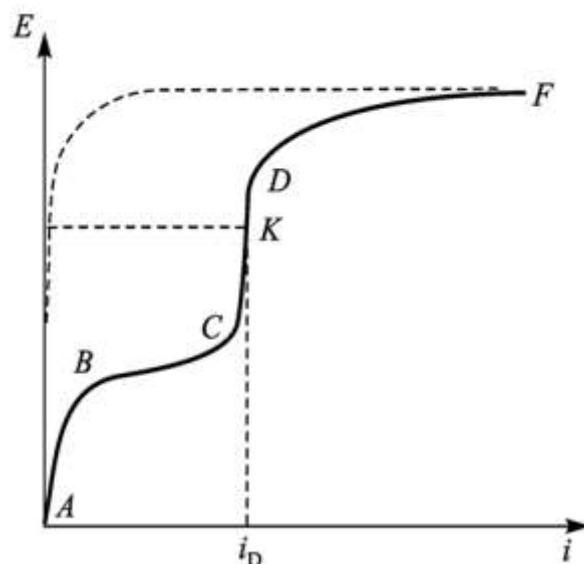
Аралашувчи электролитда мувозанат потенциалдан унча катта бўлмаган четлашишларда кислороднинг кучланиш зўриқиши ток зичлигига

чизиқли боғланиш кўринишида бўлади. Кутбланишнинг янада юқори қийматларида  $E$  билан  $lg i$  орасида тафет боғланиши кузатилади.

$a$  катталик катод материалига боғлиқ. Бир қатор металллар ( $Fe, Cu, Au, Pt$ ) учун  $b$  нинг қиймати  $0,10 - 0,13$  интервалда бўлади. Бу эса кислороднинг кучланиш зўриқишига биринчи ( $n = 1$ ) электрон ассимиляция босқичининг секинлиги сабаб бўлишидан далолат беради.

Бироқ кислороднинг разрядланиш жараёни концентрацион кутбланиш туфайли мураккаблашади. Бу кислороднинг катодга етиб келиши қийинлигидан вужудга келади. Бунинг сабаби олдин айтиб ўтилганидек (4.4.1. га қаралсин) потенциалга боғлиқ бўлмаган чегаравий диффузион токнинг пайдо бўлишидир.

Аслида эса потенциалнинг ўсиши чегаралангандир. Потенциални манфий томонган етарлича силжитилганда водороднинг ажралиши бошланиб, у кислород деполаризациясига кўшилади. Шундаё қилиб, умумий кутбланиш эгрилигининг  $E-i$  координаталари-даги кўриниши 4.10-расмда келтирилган. Графикнинг  $ABC$  қисми  $O_2$  нинг қайтарилиш жараёнига тўғри келади. Боғланишнинг  $СКD = i_D$  қисми чегаравий диффузион токнинг қийматига мос келади. Биргаликда борадиган  $O_2$  нинг ионизация жараёни ва  $H_2$  нинг ажралиши  $KDF$  қисм орқали ифодаланган.  $H_2$  ажралишининг парциал эгрилиги расмда пунктир чизиқ билан белгиланган.



4.10-расм. Кислород-водород деполаризация жараёни учун умумий кутбланиш эгрилиги

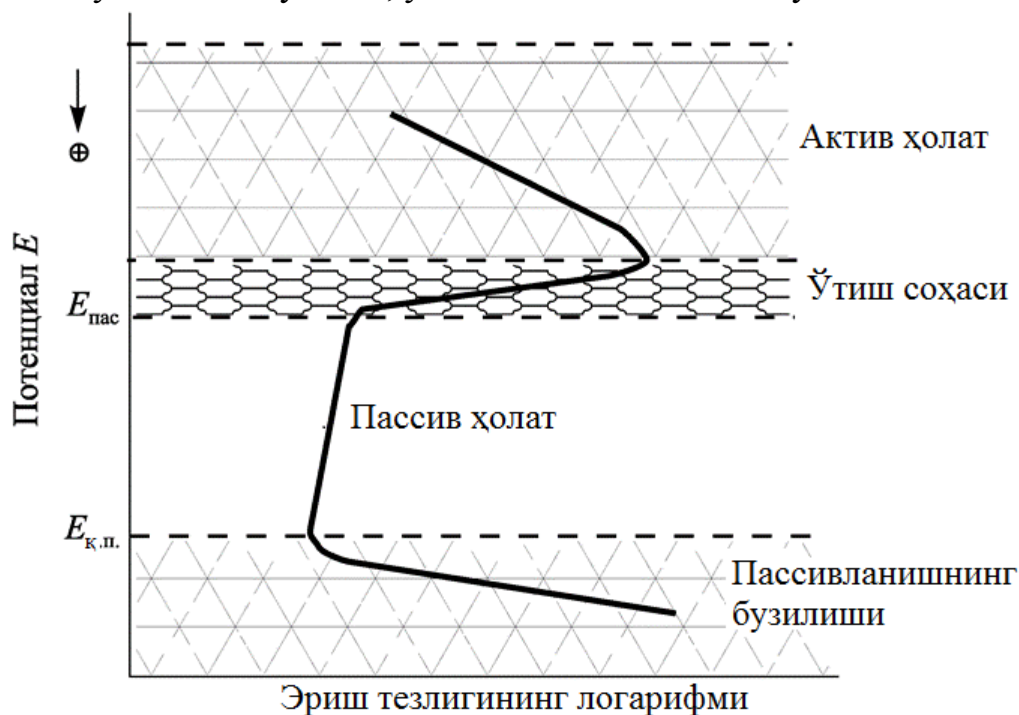
#### 4.8. Металлар эришининг анод реакцияси.

4.11-расмда металллар анод эриши кутбланиш эгрилигининг умумий кўриниши ифодаланган. Бу жараённи бир неча босқичлардан иборат деб қараш мумкин — фаол эриш, пассивланиш ва пассивланишнинг бузилиши.

Фаол эриш шароитида  $E$  потенциалнинг мусбат йўналишда силжиши билан жараённинг тезлиги қонуниятли ортади. Потенциал маълум бир қийматга эришганда эриш тезлиги кескин пасаяди. Бу ҳолат кузатиладиган потенциалнинг қиймати пассивланиш потенциали ( $E_{пас}$ ) дейилади. Бу соҳада электрохимий кинетика тенгламасига қарамай, потенциалнинг мусбат йўналишда силжиши билан металлнинг эриш тезлиги пасаяди. Бундай ҳолат

оксид ёки гидроксид плёнкаларининг ҳосил бўлиши билан изоҳланиши мумкин.

$E$  потенциалнинг  $E_{пас}$  дан мусбат йўналишда силжишида кўпинча металлнинг эриш тезлиги деярли ўзгармайди. Потенциалнинг бу интервалида металл пасив бўлади. Таъкидлаш лозимки, тўла пасивланиш токининг қиймати жуда кичик бўлсада, у ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди.



**4.11-расм. Металл эриш тезлигининг потенциалга боғлиқлиги.**

Ўтиш соҳаси металлнинг турғун бўлмаган пассив ҳолатига тўғри келади.

Потенциалнинг маълум бир қийматидан бошлаб (4.11-расмда  $E_{кп}$ ), потенциалнинг мусбат йўналишда силжиши билан металлнинг эриш тезлиги яна ортади. Бунда металл пассив ҳолатининг бузилиши юз беради, бундай ҳолат унинг актив ёки қайта пасивланиш ҳолати дейилади. Потенциал мусбат қийматининг ортиши билан металлнинг эриш тезлиги яна орта бошлайди. Бунда актив ҳолатдан фарқли ҳолда, металлнинг эриши юқори даражадаги оксидланиш ионларининг ҳосил бўлиши билан кечади. Масалан темир актив ҳолатда эритмага икки зарядли ионлар шаклида ўтса, қайта пасивланган соҳада у эритмага уч зарядли ионлар шаклида ўта бошлайди.

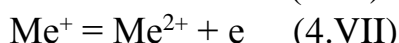
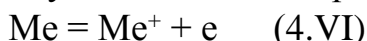
#### **4.9. Актив ҳолатда металлларнинг эриш қонуниятлари**

Актив ҳолат соҳасида металлларнинг эриши  $E$  потенциал билан ток зичлиги логарифми орасидаги чизиқли боғланиш билан характерланади.

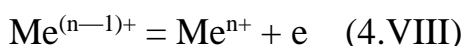
Металлар эришининг анод реакцияси механизмини ўрганишда шундай савол туғилади: металлнинг кристалл панжарадан эритмага ўтиши



реакцияда қатнашадиган барча  $n$  валентли электронларнинг бир вақтнинг ўзида (бир актда) ажралиши билан боғлиқми ёки бундай ажралиш қатор кетма-кет, масалан бир электронли қуйидаги босқичлар билан амалга ошадими:

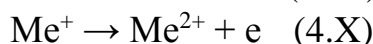
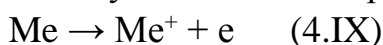


.....



Аниқ айтиш мумкинки, ҳозирги вақтда металлларнинг эриш жараёни деярли барча ҳолатларда кўп босқичли эканлиги аниқ қайд этилган.

Бироқ яна бир савол туғилади: босқичларнинг қай бири йиғинди реакция тезлигини ифодалайди? Бу саволга жавобни  $\text{Me}^{2+}$  (яъни,  $n=2$ ) ионларининг ҳосил бўлиши билан кечадиган  $\text{Me}$  металлнинг икки босқичли эришида кўрсатиш мумкин. Бу жараённи қуйидаги схема орқали ифодалаймиз:



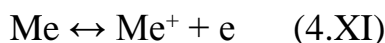
Бунда икки ҳол бўлиши мумкин:

1. (4.IX) босқич ундан кейинги (4.X) босқичга нисбатан секинроқ кечади ва у жараённинг йиғинди тезлигини лимитлайди. Биринчи босқич учун Тафел тенгламасига асосан анод токининг зичлиги:

$$i_a = k \cdot \exp[\beta F (E - E_m) / RT] \quad (4.26)$$

$b$  коэффициент  $b = 2,3RT/\beta F$  тенгламадан аниқланади (бунда  $\beta = 0,5$ ) ва ҳисоблашлар кўрсатадики  $b = 118$  мВ (4.4.2 бўлимга қаранг).

2. Иккинчи ҳолда лимитловчи босқич (4.X) ҳисобланади. Бу ҳолда (4.IX) босқичда ҳосил бўлган  $\text{Me}^+$  ионлари, металл сиртида тескари ( $\text{Me}^+$  нинг металлгача қайтарилиши) жараён бориш имкониятини яратувчи концентрация миқдорига етгунча йиғила боради. Бунда металлда мувозанат ҳолати вужудга келади:



Бу мувозанат ҳолатига мос келадиган потенциал қуйидаги тенгламага асосан аниқланади:

$$E = E_m + (2,3RT/F) \lg a_{\text{Me}^+}, \quad (4.27)$$

бу ерда  $E_m$  – (4.XI) реакциянинг мувозанат потенциали. Агар (4.27) тенгламадан  $E$  нинг ифодасини (4.20) тенгламага қўйиб, баъзи шакл алмаштиришларни бажарсак қуйидаги тенгламани оламиз:

$$E = K' + \frac{2}{3} \frac{RT}{nF} \lg i_a \quad (4.28)$$

$n = 1$  бўлганда доимий  $R$ ,  $T$ ,  $F$  катталикларнинг қийматларини қўйиб

$$b = \frac{2}{3} \frac{RT}{nF} = \frac{2}{3} 0,059 \approx 0,04 \text{ В} \quad (4.29)$$

бу ерда  $K'$  – константа.

$E$  билан  $\lg i_a$  нинг тўғри чизиқли боғланишидаги бундай “ностандарт” қиялик иккинчи электроннинг оҳиста ажралиши орқали қўш зарядли  $\text{Me}^{2+}$

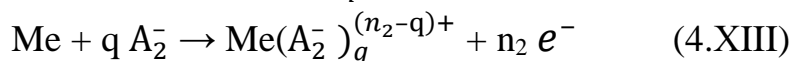
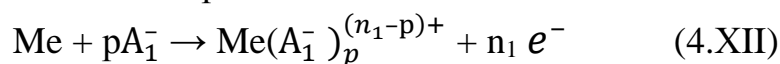
ионларигача икки босқичли механизм билан борадиган металл эриши электрохимёвий реакциясининг белгиси сифатида хизмат қилиши мумкин.

#### 4.10. Эритма компонентлари иштирокида борадиган металлларнинг анодли эриши.

Олдинги бўлимларда баён этилган коррозия жараёнларининг механизмига тегишли масалалар металллар эришидаги анод реакцияларининг тезлиги эритма таркибига боғлиқ бўлмаган ҳолларга тегишли эди. Аслида эса электрохимёвий босқичлар билан лимитланадиган эриш жараёнларининг тезлигига нафақат потенциал, балки (потенциал ўзгармас бўлганда) эритма компонентларининг концентрацияси, кўп ҳолларда электролит анионлари ҳам таъсир қилади. Бу эффектларнинг сабаблари Я.М.Колотыркин томонидан ривожлантирилган таълимотлар асосида тушунтириб берилди. Бу назариясига асосан, металл атомларининг ионизацияланиш реакциялари одатда, металл сиртидаги атомларнинг муҳит компонентлари билан кимёвий ёки адсорбцион-кимёвий таъсирлашиш босқичларини ҳам ўз ичига олади. Бундай ўзаро таъсирлашиш электрохимёвий босқичда эритма компонентлари билан бевосита барқарор ёки оралиқ металл комплексларининг ҳосил бўлишига олиб келади. Металлнинг эриш реакциясида қатнашувчи компонентнинг хемосорбциясида адсорбцияланадиган заррачалар билан электрод орасида маълум мустаҳкамликдаги боғлар ҳосил бўлади. Бунда потенциални мусбат йўналишда силжита борган сари ортиб боровчи ҳамда металлнинг эриш тезлигини белгилаб берувчи маълум даражадаги сиртнинг қопланиб бориши амалга ошади.

Металлларнинг эриш жараёнида турли хилдаги анионлар, шунингдек эритувчининг молекулалари ҳам реакцияда иштирок этиши мумкин. Бир вақтнинг ўзида бир неча, турли табиатли компонентлар бўлганда улар параллел ёки кетма-кет босқичларда қатнашиши мумкин.

$A_1^-$  ва  $A_2^-$  анионлар иштирокида параллел равишда кечаётган металл эришининг қуйидаги икки реакциясида



Ҳар бир реакция электроднинг бутун сирти бўйлаб кечиши учун бу анионлар ёки бир-бирига (Θ тўлдиришнинг кичик даражаларида) халақит бермаслиги лозим, ёки бу анионларнинг рақобатли адсорбцияси амалга ошиб, бунда электроддаги жой ҳамда электрод реакциясида қатнишиш учун улар орасида “кураш” кетиши лозим. Биринчи ҳолда металлнинг эриш тезлиги қуйидаги тенлама билан ифодаланади:

$$i_a = k_1 a_{A_1}^p \cdot \exp(\beta_1 n_1 FE / RT) + k_2 a_{A_2}^q \cdot \exp(\beta_2 n_2 FE / RT) \quad (4.30)$$

бу ерда  $a$  – анионларнинг активлиги,  $\beta_1$  ва  $\beta_2$  – кўчиш коэффициентлари.



(4.30) тенгламадан келиб чиқадики,  $A_1^-$  ва  $A_2^-$  анионлар активлигининг маълум бир нисбатида  $i_a$  нинг ифодасидаги ҳадларнинг бирини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бундай шароитларда жараённинг натижавий тезлиги амалда (4.XII) ёки (4.XIII) реакциялардан бирининг тезлиги орқали аниқланади.  $A_1^-$  ва  $A_2^-$  анионлар активлиги ва потенциалнинг “оралиқ” қийматларида (4.30) тенглама ҳадлари инобатга олинандиган даражада бўлганда  $i_a$  нинг  $\alpha_{A_1}$ ,  $\alpha_{A_2}$  ва  $E$  боғлиқлиги бир хил турдаги ионлар бўлган эритмаларникидан етарлича фарқ қилади.

Бир-бирига боғлиқ бўлмаган, параллел кечадиган икки реакцияларнинг юқорида баён этилган механизм билан бориши амалда жуда камдан-кам учрайди. Кўп ҳолларда анионлардан бирининг адсорбцияси бошқа анион адсорбциясининг шартлари ва қонуниятларининг ўзгаришига олиб келади. Масалан, куйидаги тенгламанинг бажарилиши ўринли бўлиши мумкин:

$$i_a = k_1 \Theta_1 \cdot \exp(\beta_1 n_1 FE / RT) + k_2 \Theta_2 \cdot \exp(\beta_2 n_2 FE / RT) \quad (4.30)$$

бу ерда  $\Theta_1$  ва  $\Theta_2$  – мос равишда электрод сиртининг  $A_1^-$  ва  $A_2^-$  анионлар билан тўлиб бориш даражаси.

Металлнинг эриш жараёнида адсорбцияланандиган заррачаларнинг ўзаро таъсири бошқача характерга эга бўлиши ҳам мумкин. Яъни компонентлардан бирининг адсорбцияси ўзида адсорбцияланган заррачалар бўлган комплекс ҳосил бўлиши билан борадиган бошқа компонентга имконият яратиши мумкин.

Металлнинг эриш реакциясида қатнашувчи икки турдаги заррачаларнинг рақобатли адсорбцияси натижасида улардан бири секинлашган эришга олиб келиши мумкин. Бундай ҳолат металлнинг секин эриш жараёнида қатнашувчи  $A_1$  заррача  $A_2$  заррачага нисбатан катта адсорбцион қобилиятга эга бўлган ҳолларда кузатилади. Яъни сиртдан янада кинетик активроқ бўлган  $A_2$  компонентни сиқиб чиқарган ҳолда  $A_1$  заррача металлнинг эришига тўсқинлик қилади. Масалан, хлор ионларини қўшиш таъсирида темирнинг сульфат кислотасида эриш тезлиги ана шу механизм асосида секинлашади.

Металлда адсорбцияланган заррачалар эритмада иккинчи турдаги адсорбцияланувчи заррачалар бўлмаганда ҳам металлнинг эришини секинлатиши мумкин. Колотыркин назариясига асосан адсорбцияланувчи компонентнинг функцияси (эришни кучайтирвчи ёки секинлатувчи) адсорбцияланган компонентнинг металл ва унинг солватловчи молекулалари билан ҳосил қилган боғларнинг мустаҳкамлик нисбати орқали аниқланади. Заррача томонидан металлнинг эришига тезлаштирувчи таъсир кўрсатиши учун у металл билан ҳам, эритма билан ҳам етарлича мустаҳкам боғланган бўлиши керак. Агарда солват қобиғи билан боғлар нисбатан заиф, ва металл билан жуда мустаҳкам бўлса, унда заррача эритма билан боғланишни йўқотади, металл сиртида қолган ҳолда унинг эришини секинлаштиради.

Металлнинг эриш жараёнида муҳит компонентлари ролини баҳолашда металл сиртининг энергетик биржинсли эмаслигини, яъни бир хил заррачанинг адсорбцияси сиртнинг баъзи қисмларида кучайтирувчи, бошқа қисмлари учун эса ингибирловчи бўлиши мумкинлигини эътиборга олиш лозим. Бу ҳолат турли табиатга эга бўлган, эритмада биргаликда мавжуд бўлган заррачалар учун ҳам ўринлидир. Бунда адсорбцияланган заррачаларнинг металл билан ҳосил қилган боғларининг мустаҳкамлиги ва улар томонидан амалга ошадиган эффект потенциалга жиддий равишда боғлиқ. Бу эса хусусий ҳолда металлнинг электрокимёвий табиатини характерловчи  $E - I_{gi}$  эгриликнинг четлашувига олиб келиши мумкин. Масалан бундай ҳолат темирнинг хлорид кислотаси эритмаларида эриш жараёнида кузатилади. Тезлаштирувчи адсорбция ингибирловчи адсорбцияга нисбатан жуда тез борадиган жараёнدير.

#### 4.11. Коррозия диаграммалари.

Алоҳида олинган анод ва катод кутбланиш эгриликлари ҳали коррозия жараёнларининг тезлигини ифодалаб бера олмайди. Коррозия жараённинг тезлиги энг секин, лимитловчи босқичнинг тезлиги билан аниқланади. Бу босқични назоратловчи фактор дейилади. Уни аниқлаш учун инглиз олими Эванс томонидан тавсия этилган ва энг кўп тарқалган, анод ва катод реакциялари кинетикасини ўзида акс эттирувчи график усул – диаграммалар методидан фойдаланилади.

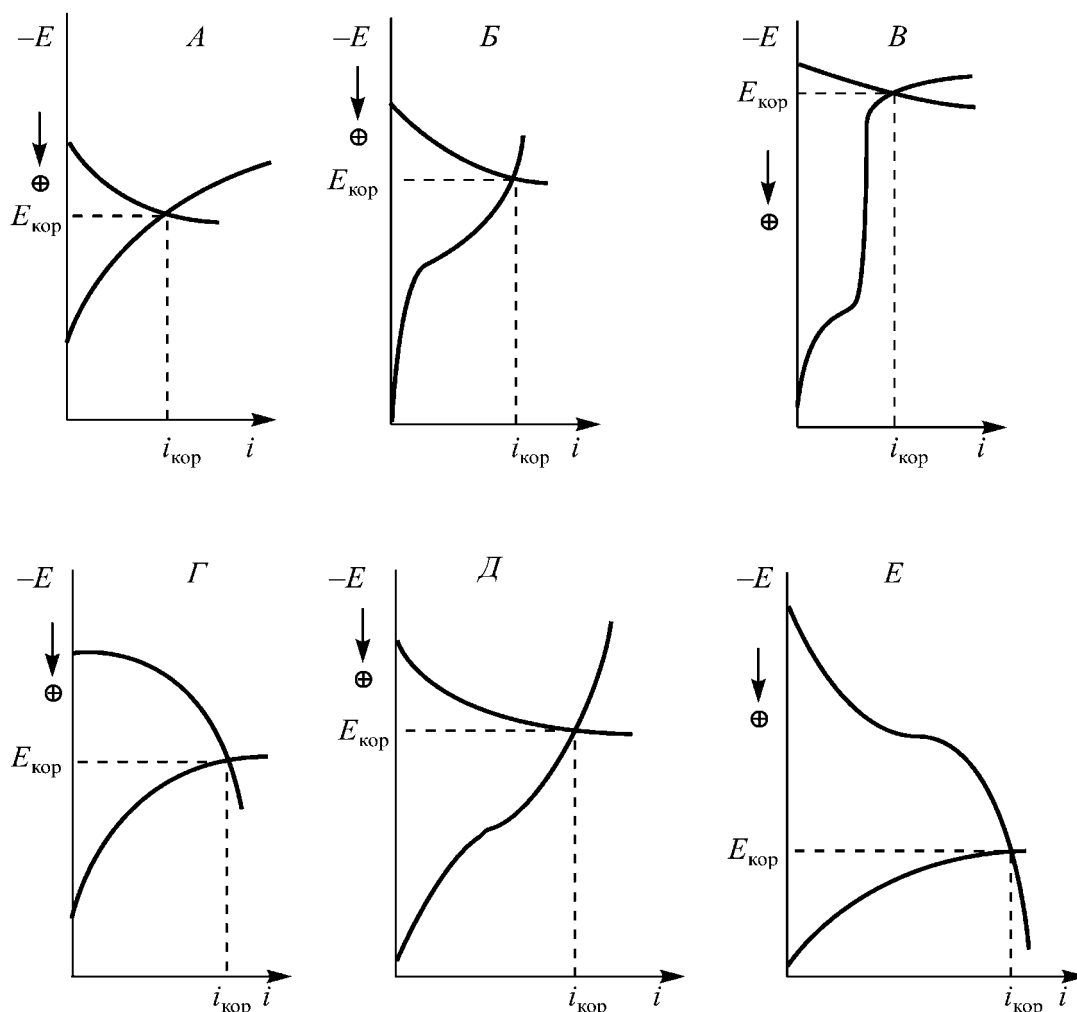
Бунда ўқи ордината бўйича потенциалнинг манфий қийматлари кўйилиб,  $E_a$  ва  $E_k$  ларнинг стационар қийматлари белгиланади ҳамда анод ва катод кутбланиш эгриликлари чизилади. Бу эгриликларнинг кесишиш нуқтаси коррозия токининг максимал қиймати  $i_{max}$  ни кўрсатади. Шунингдек унга мос келадиган коррозиянинг умумий потенциали  $E_{кор}$  белгилаб олинади.

Коррозия диаграммалари коррозия жараёнларининг тўхтатувчи (назоратловчи) факторини аниқлаш имконини беради. Бу эса коррозиядан ҳимоялаш усуллари танилашда жуда муҳим аҳамиятга эгадир. Чунки коррозиянинг лимитловчи босқичида уни бартарафлаш энг юқори самара беради.

Тегишли кутбланиш эгрилигидаги қияликнинг юқори қийматларидан жараённинг сезиларли кўриниб туради. Қиялаган эгрлик реакция қийинчилигининг кичиклигини кўрсатади. Масалан, сезиларли анод кутбланиши ва кичик катод кутбланишида коррозия потенциали  $E_{кор}$  ток ўтгунга қадар  $E_k$  катод потенциалига яқин бўлади.

Агарда  $\Delta E_a \gg \Delta E_k$  бўлса, коррозия анод тормозланиши билан кечади, агарда  $\Delta E_k \gg \Delta E_a$  бўлса, у ҳолда коррозия катод назорати билан кечади. Агар  $\Delta E_k \approx \Delta E_a$  бўлса, аралаш назорат ўринли бўлади.

Амалда учрайдиган коррозияни назоратлашнинг олтига асосий ҳолати Н.Д.Томашов томонидан аниқланган бўлиб, улар 4.12-расмда келтирилган.



4.12-расм. Коррозия жараёни назоратининг кўринишлари.

*Катод назорати* ( $\Delta E_k \gg \Delta E_a$ ):

*А. Тормозловчи фактор* –  $O_2$  молекулалари қайтарилиш реакциясининг қийинлиги. Яхши аралаштириладиган нейтрал эритмаларда учрайди.

*Б. Тормозловчи фактор* – кислород диффузияси. Бу диаграмма аралаштирилмайдиган нейтрал эритмалар учун характерли. Темир, рух ва баъзи бошқа металллар шундай коррозияланади.

*В. Лимитловчи фактор* – водород ионлари разряди реакциясининг қийинлиги. Темир ва рухнинг кислотали эритмаларидаги коррозия жараёнлари учун характерли.

*Г. Аралаш катод-анод назорати* ( $\Delta E_k \approx \Delta E_a$ ) – бу диаграмма пассив ҳолатдаги темир, пўлатлар, алюминий ва бошқа металлларнинг коррозиясига хосдир.

Д. Аралаш катод – қаршилик назорати ( $\Delta E_k \gg \Delta E_a$ ,  $R \neq 0$ ) – бундай коррозия паст электр ўтказувчанликка эга бўлган муҳитларда, масалан ер ости қувур ўтказгичларда кечади.

Е. Аралаш катод-анод-қаршилик назорати ( $\Delta E_k \approx \Delta E_a$ ,  $R \neq 0$ ) — коррозиянинг бу тури электролитнинг катта омик қаршиликларида пассивланишга мойил бўлган металлларда, масалан атмосферадаги пўлатда рўй бериши кузатилади.

#### 4.12. Коррозия тезлигининг эритма таркибига боғлиқлиги.

Коррозия жараёнини ташкил этувчи икки реакция парциал тезликларининг потенциалга ва эритма таркибига боғлиқлиги маълум бўлса, у ҳолда коррозия потенциали ва коррозия тезлигининг эритма таркибига боғлиқлик ифодасини олиш мумкин. Қуйида мисол тариқасида металлнинг водород деполяризацияси билан борадиган ҳол кўриб чиқилган. Бунда коррозия жараёни қуйидагича кечади деб қабул қилинади:



Йиғинди коррозия жараёнидаги анод ва катод парциал реакцияларининг тезликлари қуйидаги тенгламалар орқали аниқланади:

$$i_a = k_a \cdot \exp[2\beta F (E - E_M) / RT] \quad (4.32) \quad \text{ва}$$

$$i_k = k_k a_{\text{H}^+} \cdot \exp[\alpha F (E - E_M) / RT] \quad (4.33)$$

бунда  $a_{\text{H}^+} - \text{H}^+$  ионларининг активлиги;  $\beta$  ва  $\alpha$  анод ва катод реакциялари учун кўчиш коэффициентлари.

Ташқи ток бўлмаганда коррозия жараёнининг бориш шарти бўлиб  $i_a = i_k$  тенглик ҳисобланади. (4.32) ва (4.33) тенгламаларга асосан

$$k_a \cdot \exp[2\beta F (E_{\text{кор}} - E_M) / RT] = k_k a_{\text{H}^+} \cdot \exp[\alpha F (E_{\text{кор}} - E_M) / RT] \quad (4.34)$$

(4.34) тенглик фақат коррозия потенциалидагина амалга ошиши мумкинлиги сабабли бутенгламадаги  $E$  ўрнига  $E_{\text{кор}}$  қўйилди. Бу тенгламани  $E_{\text{кор}}$  га нисбатан ечиб (унинг ҳар иккала томонини логарифмлагандан сўнг) қуйидаги тенгламани оламир:

$$E_{\text{кор}} = K'' - \frac{2,3RT}{(2\beta + \alpha)F} \lg a_{\text{H}^+} \quad (4.35) \quad \text{ёки}$$

$$E_{\text{кор}} = K'' - \frac{2,3RT}{(2\beta + \alpha)F} \text{pH} \quad (4.36)$$

бу ерда  $\alpha$  ва  $\beta$  – мос равишда анод ва катод реакциялари учун кўчиш коэффициентлари;  $K''$  – константа.

Бу тенгламадан кўринадики, эритмада pH нинг ортиши билан коррозия потенциали чизикли равишда манфий йўналишда силжийди, бунда  $E_{\text{кор}}$  — pH чизикнинг қиялиги:

$$\frac{d(E_{\text{кор}})}{d(\text{pH})} = 2,3 RT / (2\beta + \alpha) F \quad (4.37)$$

Агарда  $\beta = \alpha = 0,5$  деб қабул қилинса, у ҳолда  $dE_{\text{кор}}/d\text{pH} \approx 40$  мВ бўлади.

Коррозия потенциали учун олинган (4.37) тенгламадан коррозия тезлиги билан эритманинг рН орасидаги боғланишни топиш мумкин. Бунинг учун (4.19) тенгламадаги  $E$  ўрнига (4.36) тенгламадаги  $E_{кор}$  ни қўйиб,  $i_a$  ни  $i_{кор}$  билан алмаштирамиз. Натижада  $E_m$  доимий катталиклар қаторига кирганлигини инобатга олган ҳолда коррозия тезлиги учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$i_{кор} = k \cdot \exp \left[ \left( K'' - \frac{2,3RT}{(2\beta + \alpha)F} \text{pH} \right) \frac{2\beta F}{2,3RT} \right] \quad (4.38)$$

Бу тенгламанинг логарифмик шакли қуйидаги кўринишда бшлади:

$$\lg i_{кор} = K + \left( K'' - \frac{2,3RT}{(2\beta + \alpha)F} \text{pH} \right) \frac{2\beta F}{2,3RT} \quad (4.39)$$

Ифодадаги доимий катталикларни умумлаштириб, коррозия тезлигининг эритма таркибига (рН) боғлиқлиги учун қуйидаги охириги тенгламани оламиз:

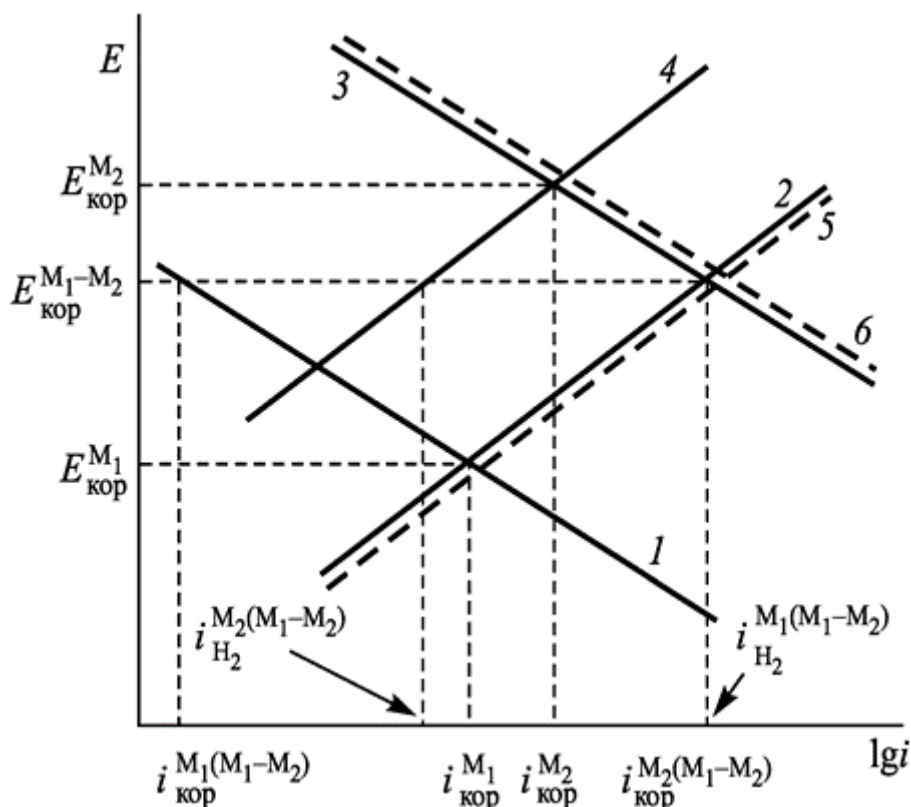
$$\lg i_{кор} = K''' - \frac{2}{2\beta + \alpha} \text{pH} \quad (4.40)$$

(4.40) тенглама кўрсатадики, агарда коррозия жараёни (4.VI) ва (4.VII) тенгламалар бўйича бориб, металл  $Me^{2+}$  гача эриса, эритманинг рН ортиши билан коррозия тезлигининг логарифми чизиқли равишда камаяди. (4.40) кўринишда ифодаганган боғланиш эгрилигининг қиялиги  $\beta = \alpha = 0,5$  деб қабул қилинса, у ҳолда  $d \lg i_{кор} / d\text{pH} = -1,33$  мВ бўлади.

Юқоридаги мулоҳазалар шуни кўрсатадики, эритма таркибининг (хусусий ҳолда рН нинг) коррозия жараёнини ташкил қилувчи парциал реакциялар тезлигига боғлиқлигини билган ҳолда, эритма таркибининг ўзгариши билан коррозия тезлиги қандай ўзгараётганлигини аниқлаш мумкин. Иккинчи томондан, бундай боғлиқлик тўғрисидаги маълумотлар металлларда кечадиган коррозия жараёнларининг олдини олиш, уларнинг кинетикасини ўрганиш учун муҳим аҳамият касб этади.

#### 4.13. Ўзаро контактда бўлган икки металлнинг эриши

Агарда ўзаро контактда бўлган икки ( $M_1$  ва  $M_2$ ) металл намунаси эритмага жойлаштирилса, улардан ҳар бирининг коррозияланишини тавсифлаш учун битта металл коррозияси учун қўлланган ёндошувлардан фойдаланиш мумкин. Чунончи, ҳар иккала металл учун ҳам (ҳар бир металлнинг бирлик юзасига тўғри келувчи)  $E - \lg i_k$  ва  $E - \lg i_a$  боғланишлар графиги чизилади ва улар таҳлил қилинади. Қуйида водород кутбсизланиши билан борадиган коррозия жараёни кўриб чиқилган. Соддалаштириш учун ҳар иккала металл сиртлари бир хил деб олинади. Юқоридаги боғланишларнинг графиклари 4.13-расмда келтирилган.



**4.13-расм.  $M_1(1,2)$  ва  $M_2(3,4)$  металллар учун  $E—\lg i_a$  (1,3) ва  $E—\lg i_k$  (2,4) боғланишларнинг графиклари. Шунингдек  $M_1$  (1, 2) ва  $M_2$  (3, 4) контактлашувчи металллар тизими учун катод (5) ва анод (6) йиғинди ток зичликларининг потенциалга боғлиқлиги.**

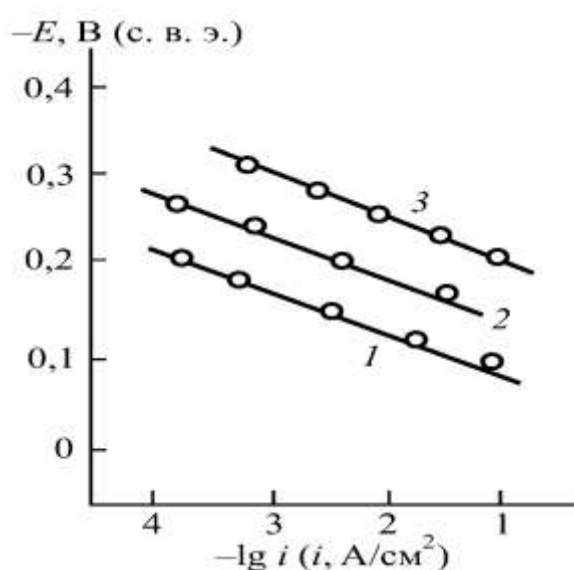
Расмдан кўринадики,  $M_1$  ва  $M_2$  металллар ўзаро контактда бўлмаганда мос равишда  $i_{кор}^{M_1}$  ва  $i_{кор}^{M_2}$  тезликлар билан ( $E_{кор}^{M_1}$  ва  $E_{кор}^{M_2}$  потенциалларда) коррозияланади.  $M_1$  ва  $M_2$  металллар контактда бўлганда система учун катод ва анод жараёнлари йиғинди тезликларининг потенциалга боғланиши 5 ва 6 штрихланган чизиқлар кўринишида бўлади. Бу тезликлар  $E = E_{кор}^{M_1-M_2}$  шарт бажарилганда бир-бирига тенг бўлади (4.13-расмга қ.). Шундай қилиб, ташқи ток бўлмаганда контакт ҳосил қилувчи ҳар иккала металлда  $E = E_{кор}^{M_1-M_2}$  потенциал қарор топади. Бу потенциалда  $M_1$  металлда катта тезлик билан водород ажралиши рўй беради (бу тезлик  $i_{H_2}^{M_1(M_1-M_2)}$  га тенг). Шу билан бир вақтда бу металл  $i_{кор}^{M_1(M_1-M_2)}$  га тенг бўлган жуда кичик тезлик билан эрий бошлайди. Иккинчи металлда эса аксинча, водород жуда кичик тезликда (бу тезлик  $i_{H_2}^{M_2(M_1-M_2)}$  га тенг) ажралиб чиқади, металлнинг эриш жараёни анчагина тез (бу тезлик  $i_{кор}^{M_2(M_1-M_2)}$ ) боради.

#### 4.14. Кислотали эритмаларда темирнинг эриши.

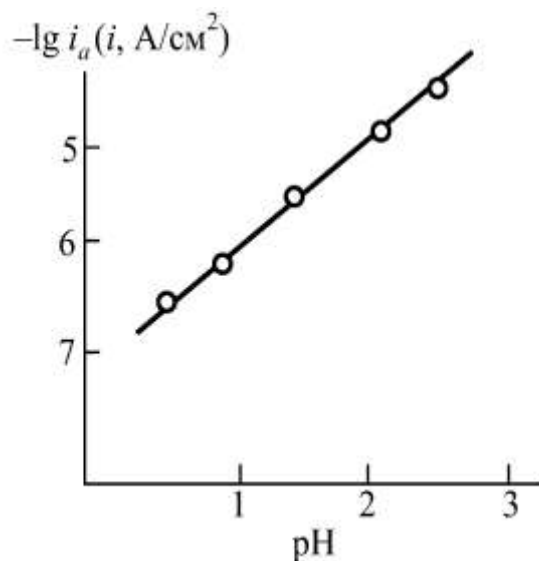
Юқорида баён этилган электрохимий реакцияларни ўрганиш усуллари аналда қўлланилишини намойиш этиш учун темир коррозиясининг механизмини кўриб чиқамиз.

Темирнинг стандарт электрод потенциали  $E_{Fe^{2+}/Fe}^0 = -0,44$  В ва  $E_{Fe^{3+}/Fe}^0 = -0,037$  В. Шунинг учун темирнинг коррозияланишида эритмага  $Fe^{2+}$  катионлари ўтади. Бунда Бокрис томонидан таклиф этилган ва ҳозирда жуда кенг тарқалган механизм кўриб чиқилади. Бу механизм эриш жараёнида эритма анионларининг қатнашишини ҳисобга олмайди ва шунинг учун кинетика қонунларига салмоқли ўзгартиришлар киритилишини талаб қилади.

Кислотали эритмаларда темирнинг эришини кўриб чиқамиз. Эритмадаги рН нинг ортиши билан темирнинг анод эриши тезлашади. Сульфатнинг концентрацияси доимий, аммо кислоталилиги ўзгарувчан бўлган эритмаларда рН ортиши билан Тафел тўғри чизиқлари потенциалнинг манфий томон йўналиши бўйича маълум қонуният асосида силжийди. Тафел чизиқларининг қиялиги рН га боғлиқсиз ҳолда 40 мВ қийматга эга бўлиб (4.14-расм), эриш жадаллиги эффеки рН нинг бир бирликка ортишида  $i_a$  нинг ўн карра каттала-



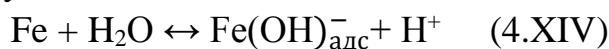
4.14-расм. Сульфат концентрацияси 1 н ва турлича рН да  $H_2SO_4 + Na_2SO_4$  эритмаларида темир учун анод қутбланиш чизиқлари. рН: 1—0,2; 2—1,2; 3—2,3



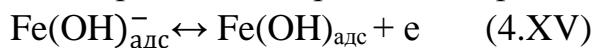
4.15-расм.  $H_2SO_4 + Na_2SO_4$  эритмаларида темир эриши тезлигининг рН га боғланиш чизиқлари.  $E = -0,2$  В;  $C_{SO_4} = 1$  н.

шуви ( $E = \text{const}$  бўлганда) билан характерланади (4.15-расм). Бошқача айтганда, темир эришидаги анод реакциясининг тартиби водород ионлари бўйича  $-1$  га тенг. Бу эса топилган Тафел қиялигини инобатга олган ҳолда жараённинг қуйидаги схемасини тузиш имконини беради.

Темир сиртида  $\text{H}_2\text{O}$  молекулалари диссоциацияга учраган ҳолда адсорбцияланади. Бундай диссоциацияланган адсорбция  $\text{Fe}(\text{OH})_{\text{адс}}^-$  комплекснинг ҳосил бўлишига олиб келади:



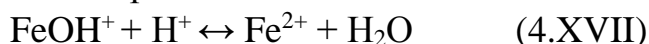
Адсорбция босқичидан сўнг биринчи электроннинг  $\text{OH}$  зарраси билан боғланган темир атомидан ажралиш электрохимий реакцияси боради:



Шуни айтиш лозимки, (4.XV) босқич иккинчи электроннинг секинлашган узилишидан олдин юз беради ва у мувозанатли ҳисобланади. Бутун жараён тезлигини лимитловчи босқич қуйидагича бўлади:



ва  $\text{FeOH}^+$  комплексининг эритмада диссоциацияланиши билан бирга кечади:



(4.XVI) босқич секинлашган жараён бўлганлиги учун бунда темирнинг эриш тезлиги қуйидаги тенглама ўринли бўлади:

$$i_a = k a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}} \exp(\beta FE/RT) \quad (4.41)$$

$a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}}$  катталикни (4.XV) босқич учун Нернст тенгласидан фойдаланиб топиш мумкин:

$$E = E_m + \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}}}{a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}}^-} \quad (4.42)$$

Бу тенгламага (4.XIV) босқич учун диссоциация тенгласидан  $a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}}^-$  ни қўйиб:

$$a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}}^- = K/a_{\text{H}^+} \quad (4.43)$$

(4.42) ва (4.43) тенгламаларни биргаликда ечиб:

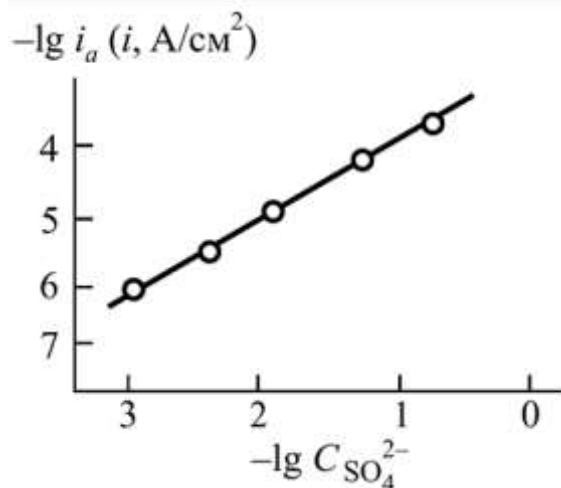
$$a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}} = k' a_{\text{H}^+}^{-1} \exp(FE/RT) \quad (4.44)$$

(4.44) тенгламани (4.41) қўйиб, темирнинг эриш тезлиги ифодасини оламиз:

$$i_a = k' a_{\text{H}^+}^{-1} \exp[(1+\beta) FE/RT] \quad (4.45)$$

Бу тенглама билан топилган қийматлар эксперимент натижалари билан мос келади (4.16-расм).

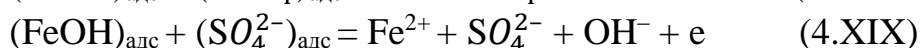
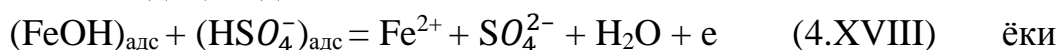
Темирнинг эриши нафақат рН нинг ортиши, балки эритма анионларининг концентрацияси, масалан сульфатнинг ортиши билан ҳам тезлашади. Бунда анионлар бўйича реакциянинг тартиб рақами 1 га яқин. Бу натижалар юқорида кўриб



**4.16-расм.**  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмаларида темир эриш тезлигининг концентрацияга боғланиш чизиқлари.  $E = -0,2 \text{ В}$ ;  $\text{pH} = 3,0$



чиқилган (4.XIV) ва (4.XV) босқичлардан кейин қуйидаги босқичлар амалга ошишини тасдиқлайди:



Бу тенгламалар бутур жараён тезлигини лимитлайди. Бунда кетма-кет борувчи (4.XIV), (4.XV), (4.XVIII) реакциялар мажмуи, шунингдек (4.XIV), (4.XV), (4.XIX) реакциялар параллел равишда кечади. Шундай қилиб, темир эришининг натижавий тезлиги учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$i_a = k' a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}} a_{\text{HSO}_4^-} \exp(\beta \text{FE}/RT) + k'' a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}} a_{\text{SO}_4^{2-}} \exp(\beta \text{FE}/RT) \quad (4.46)$$

Агарда ҳар икки турдаги ионлар иштирокида борадиган реакциялар тезликларининг доимийлари қиймати бйича бир-бирига яқинлигини ( $k = k' \approx k''$ ) инобатга оладиган бўлсак (4.46) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$i_a = k a_{(\text{FeOH})_{\text{адс}}} (a_{\text{HSO}_4^-} + a_{\text{SO}_4^{2-}}) \exp(\beta \text{FE}/RT) \quad (4.47)$$

бу тенгламадаги  $(a_{\text{HSO}_4^-} + a_{\text{SO}_4^{2-}})$  йиғиндини  $a_c$  билан белгилаб, тенгламани логарифмлаб:

$$\lg i_a = k''' + \text{pH} + \lg a_c + (1 + \beta) \text{FE}/2,3RT \quad (4.48)$$

Тажрибаларда топилган темир эриш тезлигининг сульфат кислотаси эритмаларининг таркибига боғлиқлиги (4.48) тенглама билан жуда яхши мос келади. Яъни  $E = \text{const}$  бўлганда  $\lg i_a$  билан  $\lg a_c + \text{pH}$  ( $a_c$  – сульфатнинг йиғинди аналитик концентрацияси).

#### 4.15. Қотишмалар анод эришининг механизми.

Олдинги бўлимларда индивидуал металлларнинг эриш қонунлари кўриб чиқдик. Улардан шу нарса аён бўлдики, бу қонунларни эритмада бир-бири билан контактда бўлган турли хилдаги икки металлдан иборат системанинг табиатини ифодалаш учун қўллаш мумкин. Қаттиқ эритмадан иборат қотишмалар учун бу ёндошувлар бошқача бўлиши лозимлиги тадқиқотлардан аён бўлиб бормоқда. Уларга индивидуал металллар учун ривожлантирилган тасаввурларни оддийгина қўллаш етарли бўлмайди. Қаттиқ эритмалардан ташкил топган қотишмаларнинг коррозион электрохимёвий ўзига хослиги улардаги эриш жараёнларини ўрганиш учун баъзи бир алоҳида ёндошувларни талаб қилади.

Ҳақиқатан ҳам, қотишма таркибидаги турли металлларнинг табиати турлича бўлганлиги сабабли уларнинг эриш тезлиги ҳам, кинетик характеристикалари ҳам бир-биридан фарқ қилади. Шу билан бир қаторда, кўп ҳолларда стационар шароитларда қотишмалар бир текис эрийди, яъни уларнинг компонентлари бир-бирига яқин тезликларда эритмага ўтади.

Қотишмаларнинг эриш жараёнини тавсифлашда турлича қарашлар мавжуд. Улардан баъзиларини кўриб чиқамиз.

Фараз қилайлик, қотишма турли металллардан (анча фаол А компонент ва асл металлдан иборат В компонент) ташкил топган бўлсин. В.Мюллер, шунингдек Н.Д.Томашов томонидан таклиф этилган эриш механизми ҳозирча фақат сони унчалик кўп бўлмаган қотишмалар учун ўз тасдиғини топган. Унинг моҳияти қуйидагича. Дастлаб, қотишманинг бевосита эритмага тегиши билан компонентларнинг ҳар бири индивидуал ҳолатда қандай тезлик билан эриса, қотишмада ҳам шундай тезлик билан эрий бошлайди деб оламиз, яъни А – жуда тез, В эса – секин. Қотишма сиртининг В компонент билан бойиши ўз навбатида ундан А компонентнинг эритмага ўтиш тезлигининг пасайишига (электроднинг бирлик фаол юзасига нисбатан) ва В нинг қотишмадан чиқиш тезлигини ортишига сабаб бўлади (чунки, энди А кичик, В эса каттароқ юза улушидан эрий бошлайди). Электроднинг А ва В компонентлар билан қопланиш даражаси  $\Theta$ , токи  $\Theta_A$  ва  $\Theta_B$  ларнинг қиймати қотишманинг раво ва стационар эриш шarti бажарилгунча ўзаришда давом этади. Бу ҳолатда эритмадаги икки металл ионлари концентрацияларининг нисбати қотишмадаги улар массаларининг нисбати каби бўлади.

Қотишма компонентлари эришининг “бир хил эмаслик” даражаси танлаш коэффициентлари ёки селективлик коэффициенти деб аталадиган катталиқ билан характерланади. Эритмадаги А ва В ларнинг нисбати қотишмадаги бу металллар миқдорларининг нисбатидан неча марта фарқ қилишини кўрсатувчи катталиқ *танлаш коэффициенти ёки селективлик коэффициенти* дейилади:

$$Z_A = \frac{i_A^{(к)} N_A C_B}{i_B^{(к)} N_B C_A} \quad (\text{А компонент учун}); \quad Z_B = \frac{i_B^{(к)} N_B C_A}{i_A^{(к)} N_A C_B} \quad (\text{В компонент учун}) \quad (4.49)$$

бу ерда  $i_A^{(к)}$  ва  $i_B^{(к)}$  – қотишманинг кўринувчи бирлик юзасига тўғри келадиган эриш тезликлари;  $C_A$  ва  $C_B$  – мос равишда А ва В компонентларнинг қотишмадаги концентрациялари.

Стационар ҳолатларда  $Z_A = Z_B = 1$  бўлиб, ностационар ҳолатлар учун  $Z_A > 1$  (эритмадаги А компонентнинг миқдори қотишмадагига нисбатан кўпроқ) ёки  $Z_B > 1$  (эритмадаги В компонентнинг миқдори қотишмадагига нисбатан кўпроқ) бўлиши мумкин. Шунинг эътиборга олиш лозимки, кўриб ўтилган механизмлардан охиргиси қотишманинг эришида (берилган компонент томонидан эгалланган бирлик сирт ҳисобига)  $i_A$  ва  $i_B$  ларнинг улар индивидуал металл ҳолида эриганда қандай бўлса, шундайлигича сақланишини тақозо қилади.

Бундан фарқли ҳолда қотишмалар эришининг механизмларидан яна бири – фаолроқ компонентнинг қотишма ҳажмидаги секинлашган диффузияси назариясидир.

Бу механизмга асосан, А компонент устунлик билан эритмага ўта бошлайди, қотишма сирти эса В компонент билан бойиб боради. Бироқ бу назарияга асосан, қотишма таркибининг ўзгариши қаттиқ фазанинг ичига томон кириб боради. Ностационар вақт давомида таркиби ўзгараётган сирт

катламининг  $\delta$  қалинлиги ортиб боради. Айтиш лозимки, бу қатламда А ва Б концентрацияларининг градиенти мавжуд бўлади. А нинг миқдори қотишма-эритма чегарасидаги нол қийматдан сиртдан  $\delta$  чуқурликдаги  $C_A$  ҳажмий концентрациягача ўзгаради; Б нинг миқдори бу кўрсатилган чегараларда тахминан 100 % дан  $C_B$  гача ўзгаради. Бунга мос равишда қарама-қарши йўналишда А компонентнинг қотишма ҳажмидан унинг сиртига томон ва Б компонентнинг сиртдан қотишма ичига томон диффузияси содир бўлади. А нинг эритмага ўтиш тезлиги  $\delta$  орқали аниқланиб, қалинлик ортиши билан тезлик камайиб боради. Бу тезлик яна А компонентнинг  $\delta$  қатламдаги  $D$  диффузия коэффициентига ҳам боғлиқ бўлади.

А нинг қотишмадаги диффузия ва Б нинг қотишма сиртидан эриш тезликларининг нисбати қотишманинг бир текисда эришини таъминлайдиган бўлгандагина қотишма эришининг стационар режимига эришилади. Бу шарт таркиби ўзгарган қатлам қалинлигининг маълум бир  $\delta = \delta_{ст}$  қийматида (одатда  $10^{-6} - 10^{-5}$  см ни ташкил қилади) бажарилади. Шундай қилиб, стационар режимда қотишманинг эриш тезлиги А компонентнинг диффузияси билан лимитланади.

Қотишмаларнинг А компонентнинг секинлашган диффузияси механизми бўйича эриш назарияси В.В. Лосев ва бошқа олимлар томонидан ўрганилган бўлиб латун, қотишмалардан қалай-жез, индий-жез ва бошқалар учун ўз исботини топган.

Жараённинг тезлиги етарлича катта бўлиб, таркиби ўзгарган якуний сирт қатлами ҳосил бўла олмайдиган шароитларда қотишмаларнинг эриши Колотыркин механизми бўйича амалга ошади. Бу механизмга кўра, қотишма компонентларидан бири индивидуал ҳолатига хос кинетика бўйича эрийди. Иккинчи компонентнинг эритмага ўтиши, биринчисининг ўзини тутишига боғлиқ бўлганлиги сабабли ўша кинетика билан тавсифланади. Буни қуйидагича изохлаш мумкин.

Фараз қилайлик,  $C_A \gg C_B$  бўлсин. Соф А ва Б компонентлар учун  $i_A^{(M)} \gg i_B^{(M)}$  бўлганлиги сабабли эришнинг дастлабки босқичида сиртда Б атомларни қолдирган ҳолда А катта тезлик билан эритмага ўта бошлайди. Қўшни атомлар билан боғларини йўқотган Б атомлар индивидуал ҳолатдаги эриш тезлигидан катта бўлган тезлик билан эритмага ўтиш имкониятига эга бўлади. Бундай шароитда сирт концентрациясининг камайиши сабабли, А нинг эриш тезлиги аксинча соф металл фазалигидагига нисбатан пасаяди. Б нинг эритмага ўтиш тезлиги А нинг эриш тезлиги билан аниқланади. Чунки А нинг эриш тезлиги қанча катта бўлса, Б томонидан қўшни атомларни йўқотиш эҳтимоллиги ва ўз навбатида уларнинг кристалл панжарадан чиқиш тезлиги шунча катта бўлади.

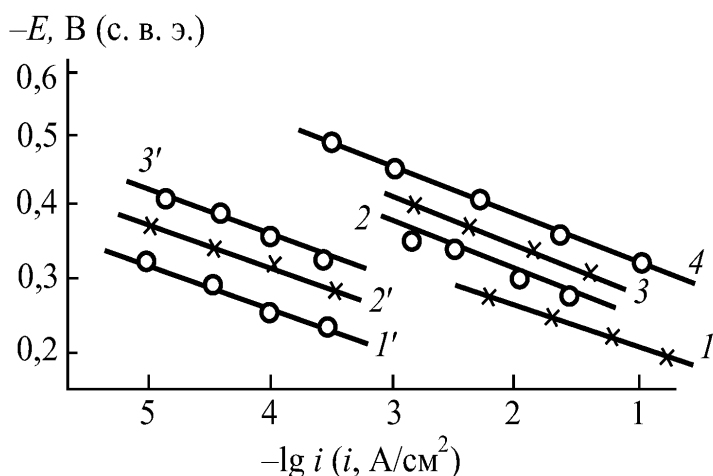
Агарда  $i_A^{(M)} \gg i_B^{(M)}$  ҳолатда  $C_A \ll C_B$  бўлса, сирт жараённинг дастлабки босқичларида Б компонент билан кучли бойийди. Қотишманинг эриш тезлиги

яхлит ҳолда айнан шу компонентнинг эриш кинетикаси билан аниқланиб, А компонент унинг сиртга ўтиришидан кейин эрий бошлайди (бу фақат Б нинг эришидан кейин амалга ошади ва шундай қилиб у А нинг эриш тезлигини лимитлайди). Бундай шароитда Б компонент аниқловчи рол ўйнайди, бунинг устига унинг эриш тезлиги анча сустр бўлсада, соф металл ҳолдаги металлнинг эриш тезлигига нисбатан юқори бўлади. А компонент эса, соф металл ҳолдаги металлнинг эриш тезлигига нисбатан анча секин, бироқ Б компонент учун ўринли бўлган кинетика бўйича эрийди.

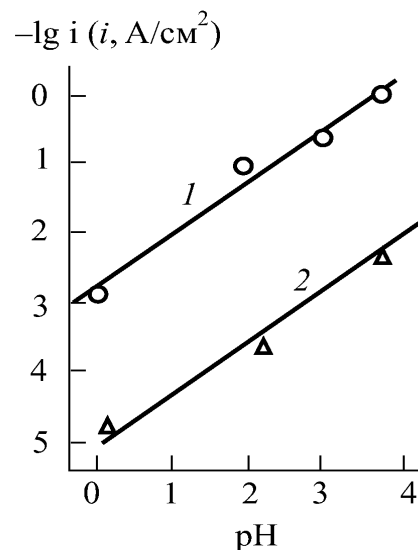
Колотыркин механизмига асосан, эриш кинетикаси компонентларнинг бири орқали аниқланадиган қотишмадан иккинчи компонентга хос эриш кинетикасига ўтишни характерловчи қотишмаларнинг чегаравий таркиби мавжуд.

Баён этилган тасвурларни темир-хром қотишмасининг коррозия-электрохимий табиати мисолида ойдинлаштириш мумкин. Бундай қотишмаларни ташкил қилувчиларнинг эриш механизмлари бир-биридан сезиларли фарқ қилади. Юқорида баён этилганидек, эритманинг рН ортиши билан темирнинг эриши тезлашади. Шу жараённинг тезлиги хром учун кислоталиликка боғлиқ бўлмайди.

4.17 – 4.20-расмларда сульфат кислота эритмаларидаги кислоталиликнинг турли таркибли қотишмалардаги темир ва хром актив эришининг стационар парциал тезликларига таъсири келтирилган.



**4.17-расм.** Парциал эриш тезликларининг потенциалга боғлиқлиги. Fe–0,85% Cr қотишмадаги темир (1–4) ва хром (1'–3') учун, рНнинг турли қийматларида: 1, 1'– 0,03; 2, 2'– 1,84; 3, 3'– 3,01; 4, 4'– 3,91;



**4.18-расм.** Эритма рН нинг парциал эриш тезлигига таъсири.  $E = -0,34$  В бўлганда  $H_2SO_4+Na_2SO_4$  эритмаларидаги Fe–0,85% Cr қотишмасидаги темир (1) ва хром (2) учун.

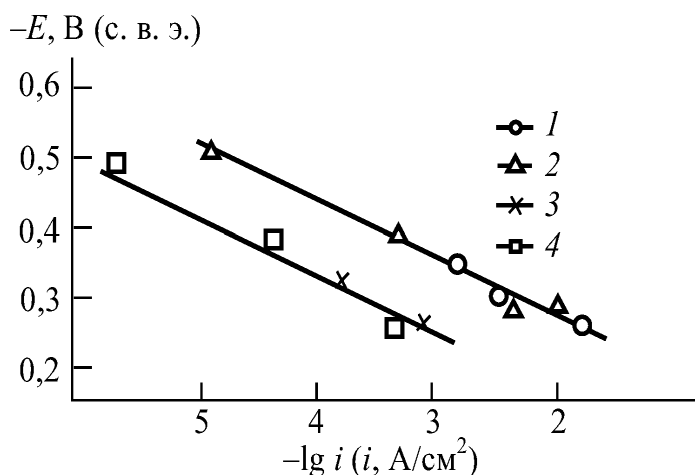
4.17-расмда кислоталиликнинг турли қийматларида Fe–0,85% Cr қотишмадаги темир ва хром парциал эриш тезликларининг потенциалга боғлиқлиги кўрсатилган. Темир ва хром парциал эгриликлардаги тоқларни солиштириш натижасида келиб чиқадиган хулосага асосан, эритмага ўтадиган темир ва хром миқдорларининг нисбатининг, бу элементларнинг дастлабки қотишмадаги нисбати билан мувофиқ келиши қотишмаларнинг текис эришидан далолат беради.

Эритмадаги рН нинг ортиши билан исталган потенциалларда қотишма таркибидаги темирнинг эриш тезлиги ортади. Қотишмадаги хромнинг эришида ҳам худди шундай ҳолат кузатилади. 4.17-расмда келтирилган натижалар 4.18-расмда суммаланган. 4.18-расмдан келиб чиқадики, 0,85 % хромли қотишмалардаги темир ва хромнинг актив эриш кинетикасига рН нинг таъсир этиш қонуниятлари соф темирнинг тегишли эриш қонуниятларига ўхшашдир (яъни  $\partial(\lg i_a^{Fe,Cr})/\partial(\text{pH}) = 1$ ). 13 % хромли қотишмалар учун эса бошқача манзара кузатилади. 4.18- ва 4.19-расмларда келтирилган маълумотлар асосида шуни айтиш мумкинки, кўрсатилган қонуниятлар хлор учун маълум бўлган қонуниятларга мос келади.

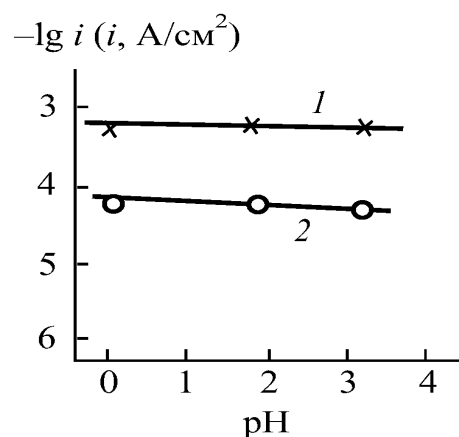
4.17- – 4.20-расмлар кўрсатадики, Fe-Cr қотишмаларини қуйидаги икки гуруҳга ажратиш мумкин:

- темирга хос кинетика бўйича эрийдиган қотишмалар;
- кинетик характеристикалари хромга хос бўлган қотишмалар.

Бу икки гуруҳга тўғри келадиган қотишманинг чегаравий таркиби Fe-12%Cr.



4.19-расм. Fe-13% Cr қотишмадаги темир (1,2) ва хром (3,4) нинг  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмасида парциал эриш тезликларининг потенциалга боғлиқлиги. Бунда рН: 1, 3 – 0,0; 2, 4 – 1,78



4.20-расм.  $E = -0,4$  В бўлганда  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмасидаги рН нинг Fe-13% Cr қотишмадаги темир (1) ва хром (2) нинг парциал эриш тезликларига таъсири.

Юқорида кўриб чиқилган қотишмалар эришининг барча механизмлари стационар шароитларда эриш жараёнларининг текис характерда эканлигини

тушинтириб беради. Баъзи ҳолларда қотишмалар эришнинг стационар режимида ҳам нотекис, яъни танланиб эрийди. Бунда активроқ компонентнинг эритмага кўпроқ ўтиши (масалан, латуннинг денгиз сувида эришида, латуннинг рухсизланиш эффекти) кузатилади.

Одатда бундай ҳолларда эритмада дастлаб А компонентнинг ортиб кетиши, кейин эса эритмадаги А ва Б компонентларнинг нисбий миқдори худди қотишмадагидек ( $Z = 1$  шартга мос келади) бўлиб қолади. Ниҳоят жараённинг охирида яна А компонент кўпроқ бўлиб қолади, бунда ортиқча А (яъни  $Z_A > 1$ ) қотишманинг бутун кейинги эриш даври давомида сақланиб туради. Бундай ҳодисанинг моҳияти шундан иборатки, сезиларли миқдорда эритмага ўтган Б компонент яна қайтиб электродга ўтира бошлайди. Ўтириш электрохимёвий амалга ошади, балки шунинг бўлса керак учун электрод сирт қатламнинг таркиби қотишманинг дастлабки таркибидан фарқли бўлиб қолади. Бундай ҳолларда қотишманинг сиртида соф Б металл чўкмасидан иборат қалин ғовакли қатламнинг ўсиб боришини кузатиш мумкин.

Софроқ компонентнинг бундай қайтадан ўтириш механизми бўйича борадиган қотишмаларнинг эриши *псевдотанлаш* дейилади.

#### **4.16. Металларнинг эришида кузатиладиган аномал ҳодисалар.**

Металлар эришининг электрохимёвий механизмини тасдиқловчи маълумотлар билан бир қаторда баъзан бу тасаввурларга мос келмайдиган натижалар ҳам қайд қилинган.

Баъзи бир металлларда уларнинг потенциални  $E_{кор}$  дан мусбат томонга силжитилганда водород ажралишининг тезлашуви бунга мисол бўлади. Электрохимёвий қонуниятларга кўра бундай шароитларда ажраладиган водород ҳажми камайиши лозим. Ҳақиқатда эса  $H_2$  токи бўйича чиқиш ортади. Масалан, алюминий учун баъзи эритмаларда бу реакциянинг токи бўйича чиқиш 100 % 10 мартагача ортади.

Кўп сонли аномал ҳодисаларнинг ичида актив соҳада бўлган металл эриш тезлигининг  $E$  потенциалга боғлиқ бўлмаслик эффекти деярли биринчи ўринда туради. Бу айниқса ишқорли металллар қотишмалари, темир, никел, хром, жез, алюминий ва унинг қотишмалари, кобалт, марганец, титан, германий, мис ва темир асосидаги қотишмаларнинг эришида кузатилади. Бу металлларнинг эриш реакцияларида ток бўйича чиқиш маълум бир шароитларда 100% дан ортади.

4.21-расмда темир, хром ва никелларнинг актив соҳа потенциални манфий томонга силжитилгандаги эриш эгриликлари келтирилган.

Келтирилган маълумотлардан кўринадики, потенциалнинг манфий қийматларида металлнинг эриш тезлиги билан потенциал ўртасидаги

электрохимический реакцияларга хос бўлган Тафел боғланишлари амалга ошмайди.

Металларнинг табиатидаги электрохимический кинетика қонунларидан баён этилган четлашиш эффекти хилма-хил шароитларда учрайди ва систематик характерга эга. Бундай эффектлар учун металларнинг эришидаги «аномал ҳодисалар» термини қўлланилади.

Эритмага оксидловчиларнинг масалан,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ларнинг киритилиши билан катод қутбланишида темирнинг аномал эриши кучаяди. Кислотали муҳитларда соф темирдан унинг асосидаги қотишмаларга ўтиш билан бу жараённинг кучайиши кузатилади.

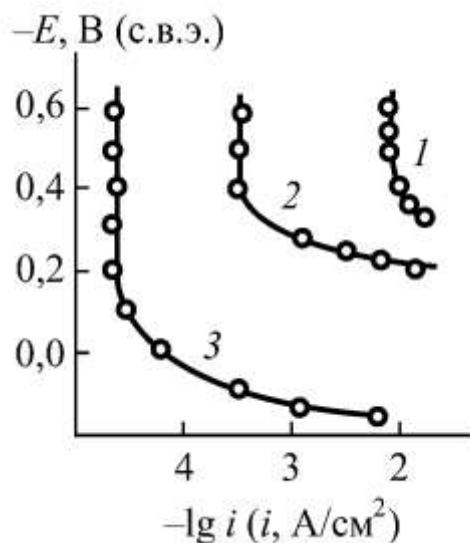
Анод қутбланишидан катод қутбланишига ўтишида ўзида  $\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{Mg}^{2+}$  ионларини сақловчи платиналанган титан учун ҳам денгиз сувида металл эриш тезлигининг ортиши қайд этилган. Пассивланиш потенциалининг кийматига эришилганда аномал эриш жараёнларининг тормозланиши шубҳасиз соҳа мутахассисларида кизиқиш уйғотади.

Бундай ҳодисаларни изоҳлашда олимлар металларнинг электрохимический механизм асосида эриши билан бир қаторда бу жараён кимёвий механизм бўйича ҳам амалга ошади деган ғояни илгари сурдилар. Бу фикр биринчи марта кристалл панжарадан металл атомларини узиб чиқаришдаги активлаш энергиясини водород ионларининг разрядланишида ажраладиган энергия ҳисобига камайтириш мумкинлигини кўрсатган А.Н. Фрумкин томонидан шакллантирилди.

Кимёвий эришни тушунтириб бериш учун жараённинг бориш реакциясида металлнинг эритма компоненти билан комплекс ҳосил қилиш босқичи инобатга олиниши лозим. Бундай комплекс ҳосил қилувчилар сифатида оксидловчилик хоссасига эга бўлган компонентлар қатнашиши мумкинлигидан эришни – бевосита электронни металлдан адсорбцияланган металл-оксидловчи оралиқ комплекс лигандига бериш жараёни деб қараш мумкин.

Бундай физикавий ҳодиса манзараси экспериментал қайд қилинган металлар кимёвий эриш тезлигининг потенциалга боғлиқ бўлмаслик тамойилига зид эмас.

Айтилганларнинг ҳақиқатга яқинлиги электр тиндиришдаги спектроскопия усулини қўллаб олинган натижалар билан исботланган. Бу натижаларнинг



4.21-расм. Эриш тезлигининг потенциалга боғланиши: 1-хром; 2-темир; 3-никел учун 1 н сульфат кислотасида, 50°C ҳароратда

тахлилига кўра, металлнинг аномал эришига мос келадиган потенциалда унинг сиртидаги сув молекулалари адсорбцияси сирт комплексида заряднинг ўтиши билан кечиши мумкин. Бу жараён потенциалнинг мусбат томонга силжиши билан кучаяди. Шу сабабли, кўрсатиб ўтилган шароитларда электрохимий эришнинг жадаллашуви бундай комплекс реакцияларнинг сусайиши билан компенсацияланиши мумкин.

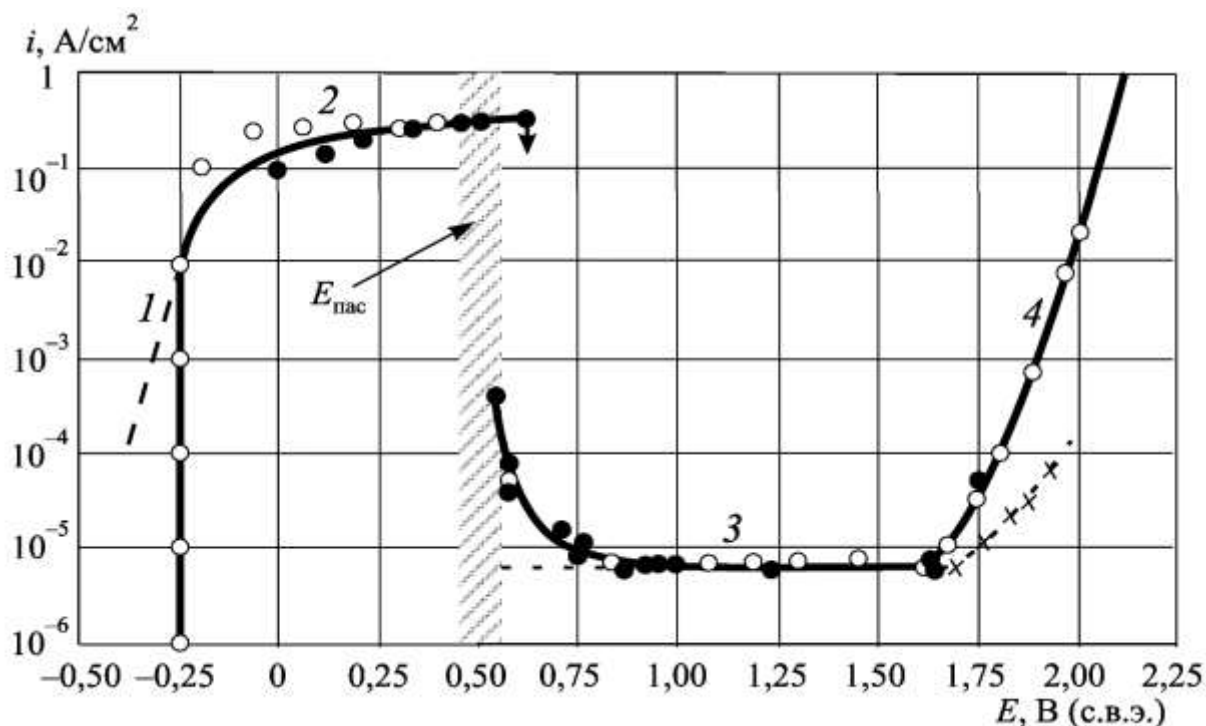
#### 4.17. Пассивлик

Агрессив муҳитда бўлган металллар ва қотишмаларнинг потенциалларнинг маълум соҳасида вужудга келадиган коррозияга энг юқори чидамли ҳолати *пассивлик* дейилади.

Пассивлик соҳасида металл эриш жараёнининг тезлиги актив эриш соҳасидагига нисбатан бир неча тартибда (баъзан 10 мартагача) кичик бўлади ва исталганча узок вақт давомида у шундай сақланиши мумкин.

Пассивланиш ҳодисасининг очилиши 150 йилдан ортиқроқ вақт ичида М.Фарадей номи билан боғлиқ бўлсада, бу ҳодиса дастлаб М.В.Ломоносовнинг илмий ишларида (1738 й.) ўз аксини топган.

Сулфат кислотаси эритмасида темир электроди учун қутбланиш эгриликлари 4.22-расмда ифодаланган.



4.22-расм. Деаэрацияланган 0,5 М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> эритмасида 25°С учун темирнинг стационар анод қутбланиш эгриликлари. 1 – Франк; 2 – Франк ва Вайль; 3 – Хербслеб ва Энгель маълумотлари бўйича.



Термодинамик нуқтаи назардан электрод потенциалини мусбат томонга силжитилиши металлнинг эриши жараёнида электрохимёвий реакция бориш эҳтимоллигининг ортишига олиб келиши керак. Аслида эса бундай бўлмайди.

Пассивланиш ҳодисаси, амалда термодинамик имкониятларни амалга ошириш қанчалик қийин эканлигини яққол кўрсатади.

Расмдан кўринадики, анод қутбланиши билан борадиган металлнинг актив эриш соҳасини ифодаловчи қисмида (1 соҳа) дастлаб ток зичлигининг ортиши кузатилади. Ток зичлигининг потенциалга боғлиқлиги Тафел эгриликлари орқали яхши ифодаланади. Янада мусбатроқ потенциалларда (2 соҳа) тўғри чизиқли боғланишдан четлашиш кузатилиб, токнинг қиймати потенциалга деярли боғлиқ бўлмайдиган соҳа (2 соҳа) пайдо бўлади. Бу ҳодиса металл сиртида  $\text{FeSO}_4$  дан иборат тузли плёнканинг ҳосил бўлиши билан боғлиқдир. Эриётган металл ионларининг металл сиртидан ажралиб, эритмага ўтиш тезлиги етарли даражада бўлмаганлиги сабабли плёнка ҳосил бўлади. Электрод яқинида  $\text{Fe}^{2+}$  ионларининг юқори концентрацияси ҳосил бўлиб,  $\text{Fe}^{2+}$  ва  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлари активлигининг кўпайтмаси тузлар эришининг кўпайтмасидан ортиб кетади ва қуйқа ҳосил бўлади. Токнинг қиймати эритмани аралаштириш интенсивлигига, яъни ҳосил бўладиган  $\text{Fe}^{2+}$  ионларнинг металл сиртидан олиб чиқиб кетиш тезлигига боғлиқ бўлади.

Фладе-потенциал деб аталадиган  $E_{\text{нас}}$  орқали ўтишда кескин, ток зичлигининг бир неча тартибда камайиши кузатилади ва металл пассив ҳолат соҳасига ўтади. Бу соҳада токнинг катталиги потенциалга ва электролитни аралаштириш тезлигига боғлиқ бўлмайди.

Потенциали тахминан +0,5 В (с.в.э.) дан манфийроқ соҳада темир  $\text{Fe}^{2+}$  ионлар кўринишида эрийди. Потенциалларнинг +0,5 дан +0,8 В (с.в.э.) гача бўлган соҳасида эритмага бир йўла  $\text{Fe}^{2+}$  ва  $\text{Fe}^{3+}$  ионлари ўта бошлайди. Потенциалнинг мусбатроқ +0,8 В (0,8 – 1,7 В) қийматларида темирнинг эриши  $\text{Fe}^{3+}$  ионларининг ҳосил бўлиши билан боради. 25 °С ҳароратда темир оксидлари (вюстит –  $\text{FeO}$ , магнетит –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ва гематит –  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) ҳосил бўлишининг мувозанат потенциаллари 4.7-жадвалда келтирилган.

4.7-жадвал

25 °С ҳароратда темир оксидлари ҳосил бўлишининг мувозанат потенциаллари

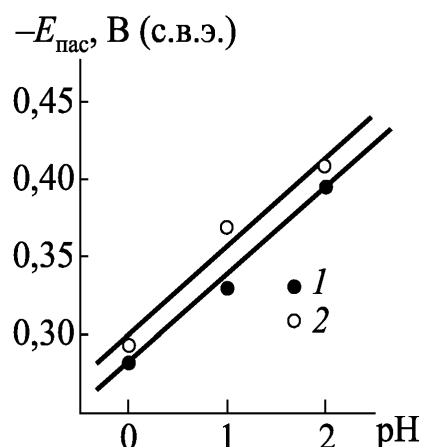
Реакция	Мувозанат потенциалининг қиймати, E
$\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{FeO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$E_{\text{Fe/FeO}} = -0,04 - 0,059\text{pH}$
$3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}$	$E_{\text{Fe/Fe}_3\text{O}_4} = -0,09 - 0,059\text{pH}$
$2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}$	$E_{\text{Fe}/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3} = 0,05 - 0,059\text{pH}$
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 3\text{Fe} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}$	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ нинг м.п. аниқланмаган

$\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оксид энг юқори химоялаш хоссасига эга. Бироқ темир сиртидаги плёнкалар компонентларининг нисбати турлича бўлган  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ва  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оксидларининг аралашмасидан ташкил топган бўлиб, плёнканинг қалинлигига боғлиқ ҳолда ўзгаради. Бунинг натижасида юқорида таъкидланганидек, пассивлаштирувчи плёнкаларнинг химоявий қобилияти темир сиртида унчалик юқори эмас. Темир сиртида ҳосил бўладиган плёнкаларнинг қалинлиги металл потенциали ва эритманинг кислородлилигига боғлиқ.

Электрод потенциалини мусбат томонга янада сурилса пассивланиш соҳаси қайта пассивланиш деб аталувчи соҳага ўтади ва бу соҳада токнинг қиймати яна ортади (4.22-расм, 4 соҳа). Потенциал билан ток зичлиги орасидаги боғланишдаги бундай манзара нафақат темир учун, балки бошқа кўпгина металллар учун ҳам кузатилади.

Металлнинг пассив ҳолатга ўтишини кўпгина тадқиқотчилар ҳозиргача металл сиртида химояловчи гидратланган оксид плёнкаларининг ҳосил бўлиши билан боғламоқдалар. Уларнинг барқарорлиги катта эҳтимоллик билан эритманинг рН билан аниқланади. Бунга мос ҳолда кўпгина тадқиқотларда агрессив муҳитнинг кислоталилиги ортиши билан металлларнинг пассивланиш потенциали мусбат йўналишда силжиганлиги қайд этилган. Хусусий ҳолда 4.23-расмда келтирилган маълумотлар ҳам буни тасдиқлайди. Унда сульфат кислотали ва хлорид кислотали эритмаларда хром пассивланиш потенциалининг рН га боғлиқлиги келтирилган. Расмдан кўринадики, рН ортиши билан бу металлнинг пассивланиш потенциали  $E_{\text{пас}}$  манфий йўналиш томонга (мазкур ҳолда рН бир бирликка ўзгарганда у 58 мВ га) силжийди. Бундай эффектни масалан  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2$  муҳитларининг оксидловчи компонентлари ҳам ҳосил қилиши мумкин.

Ҳозирги пайтда электролитларнинг сувли эритмаларида пассивлашти-рувчи заррачалар сифатида сув молекулаларининг ҳам хизмат қилишига ҳеч кимда шубҳа йўқдир. Уларда  $\text{H}_2\text{O}$  нинг кислород молекулалари таъсирни бошлаб берувчилар бўлиб ҳисобланади. Бу ҳолатни инobatга олган ҳолда кислород сақловчи оксидловчиларни (пассиваторлар сифатида) металлга нисбатан кислород донорли қобилиятга эга бўлган заррачалар сифатида қараш мумкин. Бироқ, пассивлашган ҳолатнинг шаклланишида асосий рол потенциалга тегишлидир. Никелнинг 0,5М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  эритмасида турли оксидловчилар иштирокидаги коррозиясини ўрганиш



**4.23-расм.** Хром пассивланиш потенция-лининг ( $E_{\text{пас}}$ ) муҳит рН га боғлиқлиги. Эритма  $\text{HCl}+\text{KCl}$  (1) ва  $\text{H}_2\text{SO}_4+\text{Na}_2\text{SO}_4$  (2), анионларнинг концентрацияси доимий (1 н.).

бўйича Я.М. Колотыркин ва Н.Я. Бунэларнинг олиб борган ишларида аниқланишича, электродлар потенциалининг ўзгаришида кўшимчаларнинг хиссаси мавжуд бўлиб, бу ўзгариш металлнинг электрохимик ва коррозия хусусиятларини, шунингдек, металлнинг пассив соҳага ўтиш эҳтимоллигини аниқлаб беради.

Пассив ҳолатдаги металлнинг табиатига тегишли қонуниятлар асосан пассивлаш-тирувчи плёнкаларнинг хоссалари орқали аниқланади. Агар плёнка электролит билан секин таъсирлашса, яримўтказгичли ўтказувчанлик ўринли бўлиб, амалда қўйилган потенциаллар фарқининг ҳаммаси плёнка ичида тушади. Натижада пассивланиш соҳаси потенциалнинг жуда юқори қийматларигача кузатилиши мумкин. Бунда система орқали оқётган токнинг деярли барчаси оксид пленкаси қалинлигининг ортишига сарф бўлади. Боғланишнинг бундай кўриниши титан, тантал ва ниобийда кузатилади.

Агарда сирт плёнкалари юқори электрон ўтказувчанликка эга бўлса, плёнка-эритма чегарасидаги анод қутбланишида кислород ҳосил бўлиши билан борадиган сув молекулаларининг парчаланиш жараёни учун етарли бўлган потенциаллар фарқи вужудга келиши мумкин ёки қайта пассивланиш жараёни амалга ошади. Исталган ҳолда ҳам бундай ҳодисаларга токнинг ортиши сабаб бўлади (4.22-расмда 4 соҳа).

Қайта пассивланиш пассивлаштирувчи плёнка хоссаларининг ўзгариши билан боғлиқ бўлиб, натижада локал емирилишлар ва питтинглар ҳосил бўлади. Кўриб ўтилган сульфат кислотаси эритмасидаги темир коррозияси мисолида ток зичлигининг ортиши бир вақтнинг ўзида икки – питтинг ҳосил бўлиши ва кислород ажралиши жараёнларининг боришидан далолат беради.

Экспериментал ўз тасдиғини топган ва тан олинган назариялардан бири 80-йилларда Макдональд ва унинг шогиртлари томонидан яратилган. Бу назария пассивланиш соҳасида металллар ва плёнкаларнинг табиатини тушунтириб бера олади ва эксперимент натижаларига етарлича яхши мос келади.

Модел металлдаги кислород ва катион вакансияли жуда кўп сонли нуқтавий дефектларга эга бўлган кристалл структурасимон оксид плёнка ҳақидаги тасаввурларга асосланган.

Кислород вакансиялари металл–плёнка чегарасида ҳосил бўлиб, плёнка–эритма чегарасида ютилади. Айнан уларнинг плёнкада, металл билан бўлган чегарадан эритма билан бўлган чегара томон ҳаракати оксид плёнкаси қалинлигининг ортишига сабаб бўлади. Бу жараённи газ коррозиясидаги оксид плёнкасининг ҳосил бўлиш механизмига ўхшатиш мумкин.

Яна бир ўзаро боғлиқлиги мажуд жараён – катион вакансияларининг плёнкада эритма-плёнка чегарасидан плёнка-металл чегараси томон ҳаракати билан изоҳланадиган металлнинг эришидир.

Умуман олганда, оксид қатламининг шаклланиш жараёни металлнинг эриши билан параллел борадиган жараёндр. Плёнка қалинлигига боғлиқ ҳолда унинг ўсиш қонуниятлари ҳам ўзгаради. Плёнка қалинлигининг камайиши билан ўсишнинг логарифмик қонуни параболик боғланишга ўта бошлайди.

### **Тўртинчи бобга тегишли услубий тавсиялар**

Бу бобда келтирилган маълумотларни ўрганиш натижасида *талаба қуйидагиларни билиши шарт:*

- металл-электрлит чегарасида юз берадиган физик-кимёвий ҳодисаларнинг моҳияти ва уларнинг электрод реакциялари қонуниятларига таъсири;
- электрокимёвий коррозия жараёнларининг асосий характеристикалари;
- коррозия жараёнларининг асосини ташкил этувчи катод ва анод реакцияларининг термодинамик и кинетик қонуниятлари;
- актив ва пассив ҳолатдаги металллар электрокимёвий табиатининг ўзига хос томонлари.

### **Назорат саволлари**

1. Технологик амалиётдан сизга маълум бўлган, жиҳозлар ва қурилмаларнинг электрокимёвий коррозияси билан боғлиқ жараёнларга мисоллар келтиринг.
2. Қўш электр қавати қандай ҳосил бўлади?
3. Қўш электр қаватининг схематик кўринишини чизиб, унинг механизмини тушинтиринг.
4. Қандай термодинамик катталиклар асосида коррозия кечиши мумкинлиги тўғрисида хулоса қилиш мумкин?
5. Пурбе диаграммаси нимани ифодалайди?
6. Концентрацион қутбланиш деб нимага айтилади?
7. Концентрацион қутбланишнинг асосий тенгламаларини ёзиб, уларни изоҳлаб беринг.
8. Секинлашган разряд – ионизация босқичли электрокимёвий реакция кинетикасининг асосий тенграмасини ёзинг.
9. Тафел тенграмасини ёзинг ва уни изоҳлаб беринг.
10. Қайси координаталар системасида ток зичлиги билан потенциал орасидаги боғланиш тўғри чизиқдан иборат бўлади?
11. Водород депольаризацияси билан борадиган коррозия жараёни тавсифлаб беринг.

12. Кислород деполяризацияси билан борадиган коррозия жараённи тавсифлаб беринг.
13. Металл эришининг кутбланиш эгрилигини тасвирлаб беринг.
14. Металл эришининг кутбланиш эгрилигида қандай асосий соҳалар мавжуд?
15. Актив ҳолатдаги металлнинг ионизациясида қандай қонуниятлар бор?
16. Актив ҳолатдаги металлнинг эришида эритма компонентларининг таъсири қандай?
17. Коррозия диаграммаси деганда нимани тушунасиз?
18. Коррозия диаграммаси қандай қурилади у нимани изоҳлайди?
19. Коррозия жараёнларининг қандай назоратларини биласиз? Уларни санаб беринг.
20. Металларнинг эришида қандай аномал ҳодисалар кузатилади?
21. Металларнинг пассивланиши нима?
22. Пассивланиш потенциали нима?
22. Пассив ҳолатдаги металл табиатининг қандай қонуниятлари мавжуд?

### **Тўртинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари**

1. Қўш электр қаватининг моҳияти ва унинг коррозия жараёнларига таъсирини изоҳланг.
2. Қўш электр қаватининг металл-эритма чегарасидаги потенциалнинг сакрашидаги роли ва унинг электрод жараёнлари кинетикасига таъсири.
3. Электрод жараёнлари термодинамикасининг қонуниятлари.
4. Коррозия жараёнлари амалга ошишининг термодинамик шарти.
5. Электрохимий кинетиканинг асосий қонуниятлари.
6. Концентрацион кутбланиш ва диффузиянинг чегаравий токи.
7. Секинлашган разряд – ионизация босқичли электрод реакцияларининг асосий тенгламасини таҳлил қилинг.
8. Тафел тенгламаси ва унда қатнашувчи «*a*» ва «*b*» доимийларнинг физикавий маъноларини очиб беринг.
9. Коррозия жараёнларининг асосий характеристикалари. Биргаликда боровчи реакциялар.
10. Водород ва кислород деполяризацияси билан борадиган коррозия жараёнлари.
11. Металлар ионизациясининг анод реакцияси.
12. Коррозия жараёнлари реакцияларининг асосий босқичлари.
13. Актив ҳолатдаги металлнинг эришидаги қонуниятлар.
14. Коррозия жараёнларидаги назорат турлари.
15. Коррозия диаграммасини қуришдаги асосий тамойиллар.
16. Пассив соҳада металлнинг ўзини тутиши.
17. Металлни пассивлаштириш тамойиллари.
18. Металлни пассив ҳолатга ўтказиш усуллари.

## II ҚИСМ

### КОРРОЗИЯ КЎРИНИШЛАРИ.

#### КОНСТРУКТИВ ФАКТОРЛАРНИНГ МАШИНА ВА ЖИҲОЗЛАРДАГИ КОРРОЗИОН ЕМИРИЛИШНИНГ РИВОЖЛАНИШИГА ТАЪСИРИ

«Материалларнинг кимёвий қаршилиги» тушунчаси материалларнинг ташқи муҳит билан таъсирлашиши натижасида борадиган кенг доирадаги ҳодисаларни қамраб олади. Коррозиянинг энг оддий кўриниши — металл сиртининг текис емирилиши. Бироқ, одатда турли қисмлардаги коррозия озми ёки кўпми барибир нотекис бўлиб чиқади. Масалан, нуқтавий коррозия ҳолида деярли шикастланмаган сирт фонида кўзга кўринмайдиган, деворларни тешиб ўтувчи ва аппаратларни ишдан чиқарувчи чуқур нуқтавий нуқсонлар — питтинглар катта тезлик билан ривожлана бошлайди. Баъзан металллар коррозияси «пичокли» ёки «арикчали» характерга эга бўлади: пайвандланган чоклар бўйлаб узун, чуқур арикчалар ҳосил бўлади.

Кўп ҳолларда энг аввал металл доналарининг чегараси емирила бошлайди, доналар ўртасидаги боғланиш заифлашади ва булар ўз навбатида металл механик хоссаларининг кескин ёмонлашувига ҳамда жиҳозларнинг ёрилишига олиб келиши мумкин. Коррозиянинг бу кўриниши кристаллараро коррозия (КАК) дейилади. Агарда жиҳоз динамик ва механик юклама остида турган бўлса ёрилиш ёки синиб кетиш хавфи янада юқори юўлади. Баъзи ҳолларда муҳитнинг таъсири материал таркиби ва хоссаларининг чуқур ўзгаришига олиб келади. Масалан, водород миқдорининг ортиб кетиши (гидрогенация), углеродсизланиш, азотланиш — бундай ҳодисалар газ коррозиясида тез-тез учраб туради.

Коррози жараёнлари ва ҳодисаларининг хилма-хиллиги уларни ўрганиш жараёнида синфларга ажратиш ва тизимлаштиришни тақозо қилади.

## У БОБ

### **КОРРОЗИЯНИНГ ЛОКАЛ КЎРИНИШЛАРИ. МАТЕРИАЛЛАРНИНГ КОРРОЗИЯГА ҚАРШИ ЧИДАМЛИЛИГИНИ СИНАШ УСУЛЛАРИ**

#### **5.1. Коррозиянинг локал кўринишлари.**

Металл материалларда коррозия жараёнлари пайдо бўлишининг хилма-хиллигига қарамасдан амалда кузатиладиган коррозион нуксонларни у ёки бу даражадаги аниқлик билан маълум бир синфга тааллуқли деб олишга имкон берадиган синфлаш мавжуд. Бир синфга локал коррозия жараёнлари деб аталадиган, барчаси металл сиртининг нисбатан кичик юза қисмларида борадиган ва ниҳоятда катта тезликда ривожланадиган умумий томонларга эга бўлган металл емирилишининг кўринишлари ажратилган. Бу жараёнларда металл конструкциясидаги нисбатан кичкина жойларидаги емирилишлар сабабли уларнинг эксплуатацион хоссалари йўқолади. Сиртдаги емирилган жойлар ўлчамларининг жуда кичиклиги ҳамда бу жойларда металл эриш тезлигининг катталиги сабабли емирилиш ўчоғининг мавжудлиги аксарият ҳолларда қурилманинг ишдан чиқиш моментидагина маълум бўлади. Шунинг учун коррозиянинг локал кўриниши ўта хавfli ҳисобланади. Металл қурилмаларни ишлатиш шароитларининг доимий равишда қатъийлашиб бориши ва саноат соҳасига янгидан-янги конструкцион материалларнинг кириб келиши коррозиянинг локал кўринишлари ҳиссасининг вақт ўтиши билан сўзсиз ортиб боришига олиб келмоқда.

Локал коррозиянинг асосий кўринишларига питтинг, ярали, тирқишли, кристаллараро, селектив бузилиш ва контакт коррозиялари киради.

Локал коррозия жараёнларининг ажралиб турадиган томонларидан бири шуки, улар томонидан металл конструкциялар сиртининг кичик қисми емирилади. Бў жойларда металлнинг эриш тезлиги асосий сирт улишидагига нисбатан етарли даражада катта бўлади. Локал коррозия ўчоғининг металл ичига кириб бориш тезлиги йилига ўнлаб сантиметргача етиши мумкин. Кўпгина локал коррозия жараёнлари (селектив эриш ва контакт коррозиясидан ташқари) эҳтимолли характерга эга. Баён этилган қирралар умумий бўлсада, улар локал коррозия жараёнлари механизмининг ўзига хос томонларини тўла очиб бера олмайди. Локал коррозия жараёнлари механизмини ўрганишда кузатиладиган ўхшашликлар металлар коррозияси назарияси учун жуда муҳимдир.

Барча локал коррозия жараёнлари кўпинча кетма-кет, бир-биридан кейин келадиган бир неча босқичлардан иборат бўлиб, ҳар бирининг ўз лимитловчи жараёни бўлади.

Бу босқичларнинг энг асосийлари қуйидагилардир:

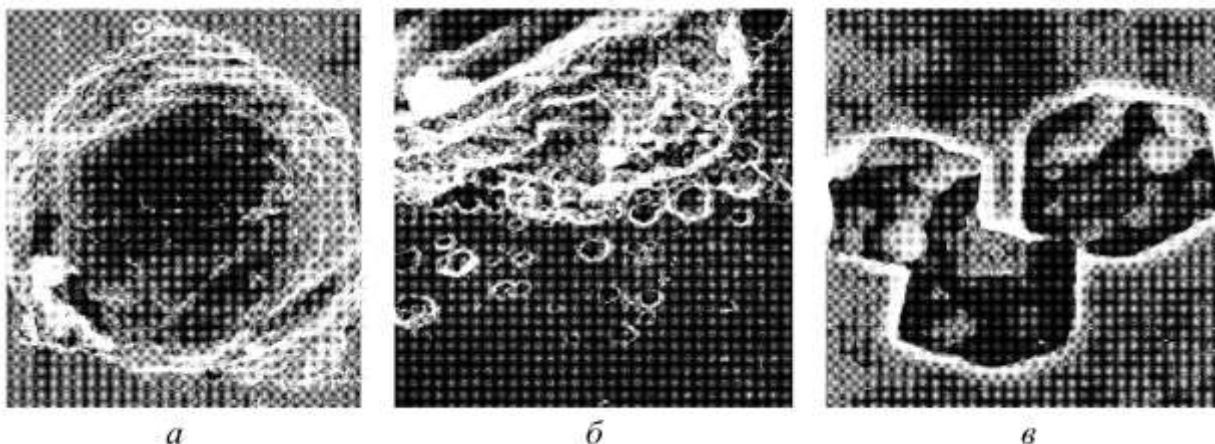
- коррозия текис боришининг бузилиши бошланадиган ва локал коррозия ўчоғларининг стационар ривожланиш жараёнига ўтишига мос келадиган бошланиш (юзага келиш) босқичи; босқич етарлича узок давомийликка эга бўлиб, у индукцион давр  $\tau_{\text{инд}}$  дейилади.
- металлдаги локал фаоллашган қисмларнинг катастрофик тезликда емирилиши амалга ошадиган, локал коррозия ўчоғининг барқарор фаолият кўрсатиши босқичи;
- фаолликнинг (ривожланишининг) яқунланиш—локал коррозия ўчоғларининг тузалиш (репассивация) босқичи.

Локал коррозия жараёнларининг ривожланишида кўпинча бир кўри-нишдан бошқасига ўтиш ҳоллари кузатилади. Масалан, ярали, тирқишли, кристаллараро ва яна бир қатор коррозион–чарчаш жараёнлари ёки кучланиш остидаги статик, коррозион–механик бузилишларнинг ривожланиши кўпинча питтинг коррозиясидан бошланади. Питтинг коррозиясига ўхшаш емирилишлар металл сирти яссилигининг бузилиш ва турли хилдаги копламаларнинг кўпорилиш жойларида пайдо бўлади ва ривожланади.

### 5.1.1. Питтинг коррозияси.

Питтинг коррозияси (ПК) локал коррозиялар орасидаги энг хавфлиси ҳисобланади. Пассивлашадиган кўпгина металллар (Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Ti, Al, Mg, Zr, Nb, Ta, Si, Zn ва б.) ва улар асосидаги қотишмалар ҳамда конструкцион материаллар бундай коррозияга мойилдирлар.

Питтинг коррозияси денгиз сувлари, тузли эритмалар, совутгичларнинг совитиш тизимлари ва кимёвий саноат корхоналари жиҳозларида учрайди. “Питтинг” ибораси нафақат нуқтавий коррозияни, балки ўзига хос кўпгина коррозион жароҳатларни (5.1-расм) тавсифлаш учун ҳам қўлланилади. жиҳатидан хилма-хилдир. Улар яримсферик, цилиндрсимон, полиэдриқ,



5.1-расм. 03X18H11 маркали зангламайдиган пўлат сиртидаги йирик питтинг.

Катталаштириш: *a* – х·300; *б* – х·1000; *в* – х·8000;



Питтинг атамаси одатда чуқур нуқтавий жароҳатларни изоҳлаш учун ишлатилади. Ҳосил бўлиш ва ривожланиш шароитларига кўра (ҳарорат, кислоталилик, эритманинг кимёвий таркиби) питтинглар шакли ва кўриниши очик, ёпиқ, қиррали ва ҳ.к. бўлиши мумкин. Питтингларнинг ички сиртида пассив ҳолат ва фаол эриш соҳалари бўлади. Маслан, кислотали эритмалардаги темир ва никел учун питтинг туби ва намунанинг пассив сирти орасидаги потенциаллар фарқи 1В гача етиши мумкин.

Силлиқланган деб аталувчи питтинглар яримсферик шаклда бўлади. Уларнинг ички сирти ялтироқ бўлиб, структурага, эришга боғлиқ бўлмаган изотроп ва механизми бўйича электр силлиқлашга яқин эканлигидан далолат беради. Бундай питтинглар темир, зангламайдиган пўлат, алюминий, танталда ва никел, титан, кобалт асосидаги қотишмаларда кузатилган.

Қиррали (кристаллогрфик) ва нотўғри шаклли (турли ориентирдаги металлнинг доналарида анизотроп ўсадиган) питтинглар кўп ҳолларда ўйиқсимон бўлади. Улар темирда, углеродли, паст легирланган ва зангламайдиган пўлатларда шунингдек никел, алюминий, рух, хромда кузатилган.

Кўпинча йирик (яримсферик) питтинглар жуда кўп майда кристалло-график питтингларнинг қўшилишидан ҳосил бўлади (5.1-расм).

Питтинг коррозияси одатда қуйидаги шартлар бажарилганда амалга ошади:

- питтинглар пассив ҳолатда бўлган металллар сиртида ҳосил бўлади;
- пассивлаштирувчи плёнкадаги дефектлар питтингнинг ривожланишига олиб келади (структуравий бир жинсли бўлмаслик, бегона аралашмалар ва ғовакликларнинг бўлиши);
- айниқса уларнинг кучайишига қирралар, дарзлар, лак–бўёқ қопламаларнинг чегаралари каби заиф жойлар сабаб бўлади;
- эритмада бир вақтнинг ўзида питтинг коррозияси активаторлари ва металл пассиваторлари бўлиши лозим;

Сувли муҳитларда  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлари металллар питтинг коррозиясининг стимуляторлари ҳисобланади. Металл жиҳозлар ва конструкциялар ишлатиладиган кўпчилик табиий ва технологик муҳитларда у ёки бу миқдордаги анион-активаторлар мавжуд бўлади.

Анион-активаторлар таъсирининг нисбий самарадорлиги қуйидаги қатор бўйича жойлашади  $\text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ . Бироқ муайян шароитларга боғлиқ ҳолда (муҳит ҳарорати, анион-активаторлар концентрацияси, металл табиати) бу кетма-кетлик ўзгариши мумкин.

Анион-активаторларга қўйиладиган асосий талаб – уларнинг металл сиртида юқори даражада адсорбцияланиши ва металл компонентлари билан эрийдиган комплекслар ҳосил қилиши лозим.

Металл пассиваторлари сифатида турли, кўпинча кислотали ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ) анионлар хизмат қилади, шунингдек кўп ҳолларда сув универсал

пассиватор ҳисобланади. Питтингларнинг ҳосил бўлиши электрокимёвий механизм бўйича боради.

Металлар питтингга чидамлилигининг электрокимёвий мезони бўлиб, питтинг коррозиясининг чегаравий потенциаллари – питтинг ҳосил бўлиш  $E_{пх}$ , репассивланиш  $E_{рп}$  ва критик потенциал  $E_{кп}$  ҳисобланади.

Питтинг ҳосил бўлиш потенциали  $E_{пх}$  пассив ҳолатнинг бузилишини характерлайди. У питтинг ҳосил бўлишида стабил жараён бошланадиган энг кичик потенциал ҳисобланади.

Репассивланиш потенциали  $E_{рп}$  питтинг ҳосил бўлиш соҳасидан пассив ҳолатга ўтишни характерлайди.

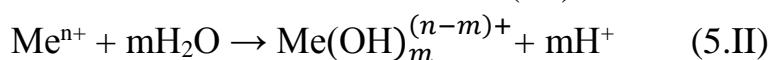
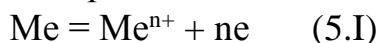
Ҳар бир конкрет металл/эритма системаси учун маълум  $E_{кр}$  критик потенциал мавжуд бўлиб, у барқарор пассив ҳолатни ( $E_{кр}$  дан манфийроқ) ва питтинг коррозия соҳасини ( $E_{кр}$  дан мусбатроқ) чегаралаб туради. Критик потенциал  $E_{кп}$  дан манфийроқ потенциал соҳаларида металл ўзининг питтинг коррозиясига учрамайдиган пассив ҳолатини исталганча узоқ вақт сақлаб туриши мумкин.  $E_{кр}$  дан мусбатроқ потенциалларда питтинг коррозияси бошланиши мумкин.  $E_{кр}$  дан мусбатроқ потенциалларда металлнинг квазипассив ҳолатда бўлиш давомийлиги металлнинг ҳақиқий потенциали билан  $E_{кр}$  қийматининг фарқи орқали аниқланади. Бу фарқ қанчалик катта бўлса пассивлик шунча тез бузилади ва металл сиртида питтинг чуқурчалари пайдо бўлади.

$E_{рп}$  ва  $E_{кр}$  потенциаллари металл сиртининг дастлабки ҳолатига деярли боғлиқ эмас (оксидланганлик даражаси, ғадир-будурлик, нотекислик ва ҳ.к.). Уларни ҳар иккала – металл-эритма коррозион системасининг физик-кимёвий параметрларини аниқловчи объектив характеристикаси сифатида қараш мумкин.  $E_{пх}$  потенциали эса аксинча металл сиртининг ҳолатига, аэрация шароитига, ҳароратнинг кичик тебранишларига ва эритма таркибига нисбатан сезувчан, яъни у металлнинг питтингбардошлигининг объектив характеристикаси ҳисобланмайди. Бироқ  $E_{пх}$  баъзан сиртдаги коррозион бузилиш катталигининг билвосита характеристикаси сифатида хизмат қилиши мумкин.

Металл материаллар питтингбардошлигининг асосий амалий мезони бўлиб, питтинг коррозиясининг чегаравий потенциаллари ( $\Delta E_{пк}$ ,  $\Delta E_{пх}$  ва  $\Delta E_{рп}$ ) билан металл эркин коррозия потенциали  $E_{кор}$  нинг айирмаси орқали аниқланадиган питтингбардошлик базислари  $\Delta E_{пк}$ ,  $\Delta E_{пх}$  ва  $\Delta E_{рп}$  лар ҳисобланади.

Питтингбардошлик базислари ҳисобланган  $\Delta E_{пк}$  ва  $\Delta E_{рп}$  лар металлларнинг питтинг коррозиясига бўлган мойиллигининг ишончли характеристикаси ҳисобланади. Улар қанча катта бўлса, стабил питтингларнинг ҳосил бўлиш эҳтимоллиги шунча кичик бўлади. Питтингбардошликнинг  $\Delta E_{пх}$  базиси қўшимча ҳисобланади.

Питтинг ҳажмида металлнинг эриш шarti металл сиртида кузатиладиган жараёндан кескин фарқ қилади. Питтинг ичидаги эритма анион-активатор билан бойиган бўлиб, ҳажмийга нисбатан камроқ кислоталиликка эга ва баъзан сувсизланган бўлади. Бу анион-активаторларнинг миграцион етказилиши, питтинг ҳажмидан эриш маҳсулотларининг қийинлашган диффузион чиқиб кетиши ва қуйидаги реакция бўйича кечувчи эрийдиган металллар тузларининг гидролизи орқали таъминланади:



(5.2) реакциянинг мувозанат константаси қуйидагига тенг бўлади:

$$K = \frac{[\text{Me}(\text{OH})_m^{(n-m)+}] \cdot [\text{H}^+]^m}{[\text{Me}^{n+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^m} \quad (5.1)$$

Иккинчи томондан  $K$  константани Гиббснинг стандарт энергиясидан фойдаланиб ҳам аниқлаш мумкин:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (5.2)$$

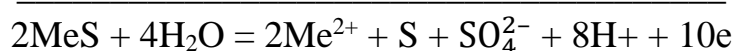
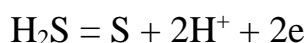
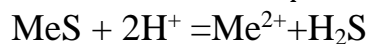
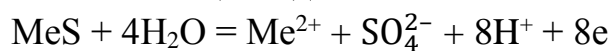
(5.2) тенгламадан  $K$  нининг ифодасини (5.1) тенгламага қўйиб, питтингда ҳосил бўлган эритманинг  $[\text{H}^+]$  кислоталилигини аниқлаш мумкин. Питтинг ичидаги эритмада тузларнинг концентрацияси юқори бўлганлиги сабабли активлик коэффициентларидан фақат маълум бир аниқлик дарасида фойдаланиш мумкинлигидан бу каби ҳисоблашлар баҳолаш характериға эга.

Питтинг ичидаги эритманинг рН питтинг коррозиясига учраётган буюмнинг материалига боғлиқ. Пўлат учун питтинг ичидаги эритманинг кислоталилиги ҳисобланган ва ўлчанган натижаларға асосан  $\sim 3,5$  дан 0 гача бўлган ораликда ётади. Бундай фарқ зангламайдиган пўлатдаги питтингда металлнинг эришида эритмага  $\text{Fe}^{2+}$  ионлари билан бир қаторда темирға нисбатан гидролиз даражаси юқори бўлган легирловчи элементлар ионларининг –  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mo}^{3+}$  ҳам ўтиши орқали изоҳланади.

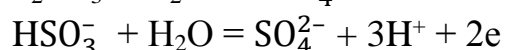
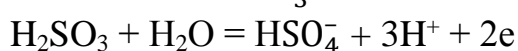
Реал металл материаллар структурасидаги дефектларнинг мавжудлиги (биржинсли бўлмаслик) питтинглар ҳосил бўлишининг асосий сабаби ҳисобланади. Металл структурасидаги дефектларнинг питтинг коррозияси стимулятори сифатида таъсир этиш эффективлиги турлича бўлиб, қуйидаги қатор бўйича камади: иккиламчи фаза > аралашмаларнинг сегрегацияси > дислокациялар > нуқтавий дефектлар.

Кўпгина металл конструкторон материаллар учун иккиламчи фазалар ичида питтинг коррозиясини чақирувчи энг хавфлиси нометалл сульфидли (сульфид оксидли) аралашмалар ҳисобланади. Пассивлаштирувчи плёнканинг металл сиртига чиққан жойида вужудға келадиган ҳимоя хусусиятларининг ёмонлашуви ва металл/сульфидли аралашма чегарасида микротирқишларнинг ҳосил бўлиши сульфидли аралашмалар туфайли питтингларнинг ривожланишиға сабаб бўлади.

Локал коррозия ўчоғида репассивациянинг қийинлашуви ва металл эриш тезлигининг ортиши унда ва унинг атрофида қуйида келтирилган реакциялар бўйича вужудга келувчи юқори эффектли коррозия стимуляторлари –  $\text{H}_2\text{S}$  ва  $\text{HS}^-$  ларнинг тўпланиши билан изоҳланади:



Ундан ташқари, сулфид аралашмаларининг эришида питтингдаги эритма қуйидаги реакциялар бўйича янада кўпроқ кислотали бўлиб боради:



Металларга термик ишлов берилиши ва совуқ ҳолдаги деформацияланиши туфайли структура дефектлилигининг ўзгариши уларнинг питтинг коррозиясига бўлган мойиллигига таъсир қилиши мумкин. Бунда таъсир даражаси ва йўналиши турлича бўлиб, у металлнинг хоссалари ҳамда унга аниқ қандай турдаги ишлов бериланлигига боғлиқдир. Масалан, кучсиз деформациялар дислокациялар зичлигининг ортиши, силжиш чизиқларининг пайдо бўлиши ва б. туфайли металлларнинг питтинг коррозиясига бўлган мойиллигини кучайтириши мумкин. Кучли деформациялар эса металллар структурасида биржинслиликни кучайтириши сабабли, аксинча уларнинг питтингбардошлилигини ошириши мумкин.

Кўп ҳолларда питтинг коррозиясининг тезлашишига ҳароратнинг ортиши сабаб бўлади, бироқ унинг кучли таъсир қилиш интервали турли табиатдаги металллар учун турличадир.

Доимий ҳароратда аниона-активатор (мазкур ҳол учун  $\text{Cl}^-$  ва  $\text{Br}^-$ ) концентрацияси  $C_{\text{ак}}$  нинг ортиши ҳам қаралаётган потенциалнинг манфий йўналишда силжишига олиб келади. Бундай ҳолат зангламайдиган ва углеродли пўлатларда кузатилган.

$C_{\text{ак}}$  нинг доимий қийматида эритма рН нинг ўзгариши  $E_{\text{рп}}$  нинг катталигига деярли таъсир қилмайди. рН нинг маълум бир критик қийматида металл электрохимик ҳолатининг ўзгариши амалга ошади – металлнинг ўз-ўзидан пассивланиши кузатилади. Бундай ҳолатда (заиф кислоталидан заиф ишқорли муҳитгача) пўлатлар учун  $E_{\text{кор}}$  эритманинг рН га заиф боғланган, яъни уларнинг  $\Delta E_{\text{рп}}$  ва  $\Delta E_{\text{пк}}$  базислари, ва ўз навбатида питтингбардошлилиги ҳам муҳитнинг рН га деярли боғлиқ эмас.

### 5.1.2. Ярали коррозия

Ярали коррозия ўзининг ривожланиш характери бўйича ПК га жуда яқин бироқ, бунда коррозия жароён локализацияси унчалик ўткир эмас ва ярали коррозия ўчоғининг диаметри ПК нисбатан анча катта бўлади. Яраларнинг диаметри одатда уларнинг чуқурлигига нисбатан етарлича каттадир. Ярали коррозия пассив металлларда ҳам, актив эрийдиган металлларда ҳам кечади. Коррозиянинг бундай кўриниши углеродли ва паст легирланган пўлатларда кўпроқ учрайди.

Углеродли ва паст легирланган пўлатларнинг ярали коррозияга чидамлилиги уларнинг структурали ва структура-фазали ташкил этувчиларига сезиларли даражада боғлиқдир. Ярали коррозияга пўлатлар чидамлилигининг кескин пасайиши уларнинг структурасида калций асосидаги металлмас сульфидларнинг қўшилиб қолиши сабабли юзага келади.

Анча камроқ ва фақат углеродли пўлатлар учун амалий аҳамиятга эга бўлган емирилиш хавфи марганец сулфидининг аралашуви туфайли вужудга келади. Нозик дисперс перлит ажралмаларининг узлуксиз тўри ҳосил бўлиши билан феррит-перлит структурали пўлатлар учун ярали коррозияга мойиллик ортади.

Калций асосидаги сульфидларнинг таъсир механизми зангламайдиган пўлатлар учун питтинг коррозияси механизмига жуда ўхшашдир. Марганец сульфидига нисбатан уларнинг коррозия хавфлилиги электролитлардаги эриш тезлигининг юқорилиги билан изоҳланади.

Перлит фазаларининг таъсир механизми қуйидагича. Перлит — феррит ва цементит пластинкали фазалар нисбати (7–8):1 бўлган пластинкасимон қатламли структурага эга. Термик қайта ишлаш шароитига қараб, пластинкаларнинг қалинлиги тахминан 10 мартагача ўзгариши мумкин, масалан феррит учун 0,1 дан 1,0 мкм гача ўзгариб, пластинка қанча юпқа бўлса, у шунчалик кўпроқ эгриланади. Неутрал муҳитларда феррит 1–2 тартиб катталиқда цементитдан тезроқ эрийди. Эритманинг кислоталилиги кучайиши билан ферритнинг эриш тезлиги яна бир неча тартибда ортади. Цементитнинг эриш тезлиги эса агар ўзгарадиган бўлса, у 10 мартадан ошмайди.

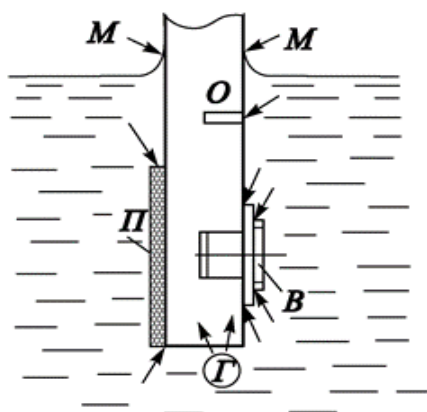
Неутрал эритмада коррозия кечганда феррит пластинкаси томонидан қолдирилган микрозордаги локал муҳит оксидланиб, унда ферритнинг эриш тезлиги янада ортади. Перлит колониясидаги пластинка қанча юпқа бўлса, дастлаб ҳосил бўлган зазорлардаги муҳит шунча тез оксидланади ва феррит пластинкаларининг кейинги эриш тезлиги янада ортади. Бунда металл матрица ферритининг эриш тезлиги ўзгармай қолади. Металл билан боғланишни йўқотган цементит пластинкалари коррозия яралар ҳосил қилиб бошқача тусга киради. Эритманинг локал оксидланиши коррозия жароёнининг стимули бўлганлиги сабабли, кўриб ўтилган механизм питтинг ва тирқиш коррозиялари билан умумий жиҳатларга эгадир.

### 5.1.3. Тирқиш коррозияси ва конструктив факторларнинг бу турдаги коорозияга таъсири.

Конструкцияларда ингичка тирқишлар, зазорлар, жуда кичик ўлчамли ораликлар бўлганда ёки металл материал микротирқишлар ва микроёпиқлар кўринишидаги технологик дефектларга эга бўлган ҳолларда тирқиш коррозияси кузатилади (5.2-расм). Кўп ҳолларда кўрсатилган дефектларда коррозион питтингларнинг ривожланиши оқибатида тирқиш коррозияси бошланади.

Тирқиш коррозиясининг жадаллашуви тирқиш ва зазорлардаги эритма хоссаларининг ўзгаришига олиб келади — вақт ўтиши билан у оксидланади, агрессив анионларга янада бойийди. Бундай коррозияга кўпгина металллар ва металл буюмлар маҳкумдирлар.

Агар буюмнинг асосий юзасида кислород деполяризацияси орқали кечадиган бўлса, тирқиш ва зазорлар жойларига кислород етиб боришининг диффузион қийинчилиги сабабли у ердаги эритмада кислород танқислиги



5.2-расм. Тирқишли коррозия авж оладиган (стрелкалар билан кўрсатилган) жойларнинг схематик кўриниши.

П – изоляцияловчи қошлама; Г – газ пуфаги;  
О – ингичка тешик; В – шайба, фланц, прокладкали резбали бирикма; М – металл буюм билан эритманинг туташ чегараси;

вужудга келади. Бу пассив ҳолатда бўлган жиҳозлар коррозиясини, айниқса зангламайдиган пўлатдан тайёрланган кимё саноати жиҳозлари коррозиясини ўрганишда жуда муҳимдир. Эритмадаги кислород концентрациясини камайтириш орқали катод реакциясининг тезлигини камайтириш – металлнинг фаол ҳолатга ўтишига, яъни металл эриш тезлигининг кескин ортишига (бир неча тартибга) сабаб бўлиши мумкин.

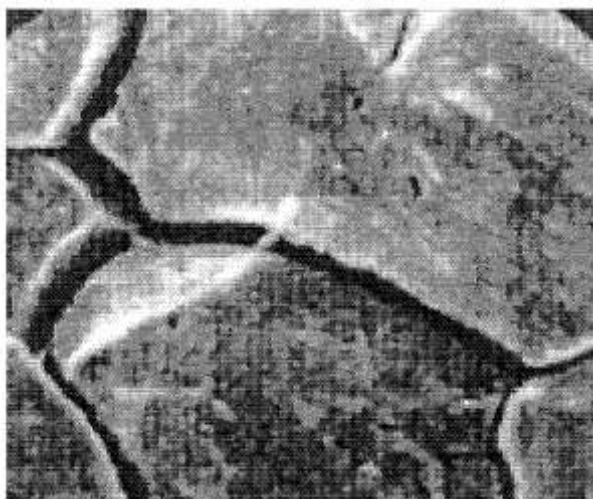
Пўлатларнинг легирланганлик даражаси ортиши билан уларнинг тирқиш коррозиясига мойиллиги камаяди бироқ, питтинг коррозияси ҳолидагидек, таркиби бир русумли пўлатлар локал коррозиянинг кўрилаётган турига нисбатан кескин фарқ қиладиган турлича чидамлиликини намоён қилиши мумкин. Энг чидамли материаллар қаторига таркибида кўп миқдордаги хром, никел ва молибден бўлган суперқотишмалар, шунингдек никел асосидаги қотишмалар киради.

### 5.1.4. Кристаллараро коррозия

Кристаллараро коррозия (КК) поликристалл материалларда, кўпроқ темир, алюминий ва мис қотишмаларида учрайди. Бу коррозия доналар чегарасида ва доналар таркиби билан дона чегарасидаги кимёвий хилма-хиллик оқибатида вужудга келади.

Доналар чегараси икки макроскопик ўлчовли (микронлар тартибда) кўш ўлчамли дефект ҳисобланади. Металлнинг доналар чегараси қатламида кўшни доналарнинг бир-бири билан ёмон боғланиши оқибатида вужудга келадиган металлнинг юқори дефектлилиги туфайли қотишма компонентлари диффузиясининг тезлиги доналар чегараси соҳасидаги ҳажмий диффузия тезлигидан бир неча тартибда юқори бўлади. Бу эса доналар чегараси соҳасида аралашма элементларнинг сегрегация жараёнини, шунингдек янги фазаларнинг ҳосил бўлиши ва ўсишини осонлаштиради.

Кристаллараро коррозияга осон пассивлашадиган металл материаллар, масалан зангламайдиган пўлатлар ҳамда никел, алюминий асосидаги қотишмалар учрайдилар. Доналар чегарасида металлнинг жадаллашган эриши КК га сабаб бўлади (5.3-расм). Чегарага яқин зоналар эриш тезлигининг асосий металл эриш тезлигида бир неча тартибда катта бўлиш ҳол муҳим амалий аҳамиятга эга. Бунда металлнинг алоҳида доналари орасидаги боғланишлар бузилади ва металлнинг туси ўзгариб, у ўзининг эксплуатацион хоссаларини йўқотади.

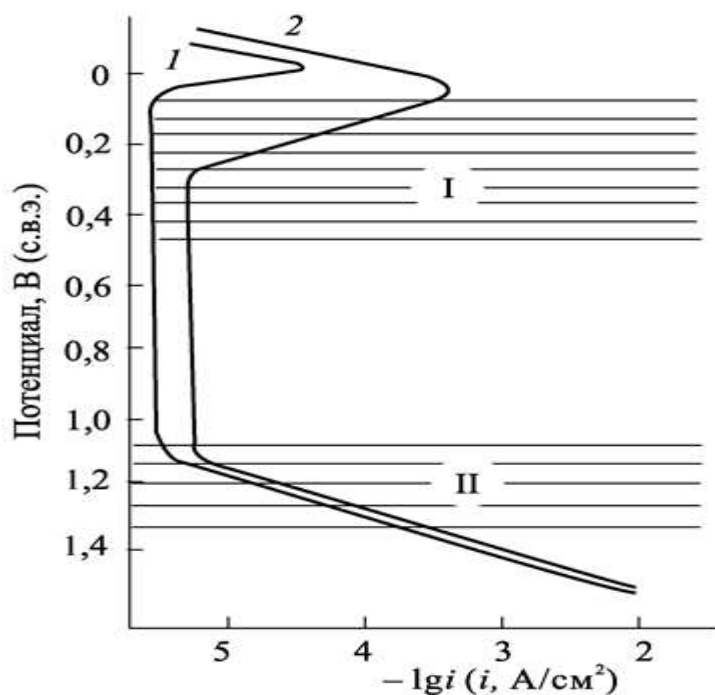


**5.3-расм. Пўлатнинг кристаллараро коррозиядан емирилиш характери.**

Сураг 0,75 % Si ли 09X18H14 русумли 650°C ҳароратдан чиққан пўлатга таълуқли

КК нинг ривожланиш тезлиги металлнинг потенциалига боғлиқдир. Ривожланишнинг юқори жадаллашуви актив-пассив ўтиш потенциалида  $\sim +0,35$  В (5.4-расм, I–соҳа) ва транспассив соҳа бошланадиган потенциалда 1,15–1,25 В (5.4-расм, II–соҳа) кузатилади. Биринчи соҳа зангламайдиган пўлатларнинг суст оксидловчи муҳитлар, иккинчиси эса – кучли оксидловчи муҳитлар билан контакти амалга ошганда ҳосил бўладиган потенциалларга мос

келади. Кўрсатилган соҳаларда КК нинг ривожланиш механизлари принципиал фарқ қилиши мумкин.



**5.4-расм. X18N10T русумли пўлатнинг тобланган, КК га мойил бўлмаган (1) ва тобланмаган, КК га мойил (2) ҳолатлар-даги схематик анод кутбланиш эгриликлари.**

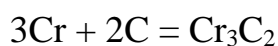
I – КК га мойилликнинг биринчи соҳаси (сув оксидловчи муҳитлар); II – КК га мойилликнинг иккинчи соҳаси (кучли оксидловчи муҳитлар);

Зангламайдиган пўлатлардаги доналар чегарасида металлнинг жадаллашган эриши икки фактор туфайли юзага келиши мумкин: чегаравий зоналарнинг хром билан кучсизлантирилиши ва кўрсатилган соҳаларда метал коррозияси тезлигини кескин оширувчи аралашмалар сегрегациясининг вужудга келиши.

Аралашма элементларининг сегрегацияси бир неча атомлараро масофагача тарқалиб, мувозанатли (анча қисқа) ва мувозанатсиз бўлиши мумкин. Сегрегация туридан қатъий назар, улардаги аралашма элементларининг концентрацияси дона ичидагига нисбатан ўнлаб ва ҳатто юзлаб марта катта бўлади. Бу эса металл таркибининг аниқ ифодаланган гетерогенлигига ва натижада доналар билан чагараланган соҳалар эриш тезлигининг кескин локал ортишига олиб келади. Фосфора, кремний ва модификацияловчи бор elementi аралашмаларининг сегрегацияси КК нинг энг кучли промоторлари бўлиб ҳисобланади. Зангламайдиган пўлатлар структурасидаги доналар билан чагараланган соҳаларнинг хромга танқислиги хром карбидининг ажралиши оқибатида вужудга келади.

Карбид ҳосил бўлиш жараёни қуйидагича амалга ошади. Металлни киздирилганда ва унга термик ишлов бериш учун юқори ҳароратда ушлаб турилганда металлдаги диффузия тезлиги хромга нисбатан катта бўлган углерод доналар чегараси яқинига нафақат доналар чегарасидан, балки металлнинг ички ҳажмидан ҳам етиб келади. Бунга ўхшаш эффектлар термик ишлов бериш ва пайвандлаш жараёнларида ҳам кузатилади.





Диффузия тезлигининг кичиклиги сабабли хром фақат чегаравий соҳалардангина етказилади ва унинг миқдори металл ҳажмидан диффузия туфайли келадиган хром ҳисобига тўлдирила олмайди. Термик ишлов бериш хавфи – ҳарорат билан металлни бу ҳароратда ушлаб туриш вақтининг нисбати орқали аниқланади. Шундай қилиб, карбид фазаси ажраладиган соҳа атрофида хром танқислиги зонаси пайдо бўлади. Хром карбидлари доналар чегараси бўйлаб узлуксиз занжир ҳосил қилиши боис, чегаравий соҳалардаги яхлит металл зонасида хром танқислиги кузатилади. Хром етишмайдиган соҳаларнинг агрессив муҳит билан контактида устунлик билан эриш амалга ошади. Доналардаги ва унинг чегаравий соҳаларидаги хром концентрациясининг фарқи қача катта бўлса, кристаллараро коррозия тезлиги шунча катта бўлади.

Карбид ҳосил бўлиш мойиллигига пўлатларни легирловчи элементлар ҳам таъсир қилади. Ni, Si, Co углерод активлигининг ортиши оқибатида карбидлар ҳосил бўлишини осонлаштиради. Аксинча, Mo, W, V, Nb, Mn углероднинг активлигини пасайтиради. Юқори оксидловчи муҳитларда КК нинг ривожланиши (потенциалларнинг иккинчи соҳаси) кўп ҳолларда бир неча омилларнинг биргаликдаги таъсири натижасида амалга ошади, уларнинг асосийлари сифатида қуйидагиларни эътироф этиш мумкин:

- юқори оксидловчи муҳитларда бекарор бўлган ортиқча фазаларнинг селектив эриши;
- хром танқислигидаги чегаравий соҳаларнинг танланиб эриши;
- пўлатнинг эришидан ҳосил бўлган хромат-ионларнинг ўзига хос таъсири;
- аралашмаларнинг сегрегация жойлари бўлган чегаравий соҳаларнинг танланиб эриши;

Бир қатор ҳолатларда КК нинг ривожланиши доналар чегарасида питтинглар ҳосил бўлишидан бошланади. КК нинг ривожланишига чегаравий соҳаларнинг дастлабки эришида ҳосил бўлган ариқчаларни тўлдирувчи электролит хоссаларининг ўзгариши ҳам таъсир қилади. Питтинг коррозия ҳолида бўлгани каби вақт ўтиши билан электролитнинг кислоталилиги ортиб боради ва ҳажмийга нисбатан янада концентрланган бўлади.

Кристаллараро коррозиянинг яна бир кўринишларидан бири «пичоқли» коррозия бўлиб, унда коррозия жараёни металлнинг чегаравий соҳаларидаги жуда тор қисмида пичоқ шаклида амалга ошади. Пичоқли коррозия пайвандланган кўп қаватли чокларда кузатилади. Коррозиянинг бу кўриниши азот кислотаси муҳитидаги титан билан барқарорлаштирилган пўлатларда, таркибида молибден миқдори юқори бўлган пўлатларда учрайди. Кам углеродли ва ниобий билан барқарорлаштирилган пўлатлар бундай коррозияга чидамлидир.

### 5.1.5. Селектив эриш

Селектив эриш (селектив-танланиб эриш) структура компонентларининг электрохимёвий табиати бўйича кескин фарқ қиладиган кўп фазади конструкция материалларга хосдир. Сиртларнинг эквипотенциал ҳолатида конструкция материаллардаги турли фазавий ташкил этувчиларнинг эриш тезлиги (потенциалнинг бир хил қийматларида) бир неча мартадан (бир хил эриш характерида масалан, актив эриш) бир неча катталиқ тартибига фарқ қилиши мумкин (агарда ташкил этувчилардан бири актив, иккинчиси—пассив ҳолатда бўлса).

Селектив эришда материал фазавий ташкил этувчиларидан бирининг кучли эриши оқибатида турли шаклда ва турли чуқурликда ҳосил бўладиган бўшлиқлар туфайли конструкция ўзининг функционал хоссаларини йўқотади.

Селектив эриш мис асосидаги қотишмаларда учрайди, бу жараён — жезни “рухсизлантириш” ҳодисаси номи билан маълум.  $Fe_3Al$  қотишмасининг селектив эришида унинг сиртида коррозия яраларга ўхшаш емирилишларни яққол кузатиш мумкин. Зангламайдиган пўлат учун кучли оксидловчи муҳитлардаги ККнинг ривожланиши структуравий-танлаб эришнинг хусусий ҳоли ҳисобланади. Бунда қуйидаги ҳоллар кузатилиши мумкин:

- доналар чегарасида ажраладиган карбид фазаларнинг устунлик билан эриши;
- марганец сулфиди аралашмасининг устунлик билан эриши туфайли питтингларнинг ҳосил бўлиши;
- структурасидаги калций сулфиди ажралиши билан боғлиқ бўлган углеродли ва кам легирланган пўлатларнинг сиртида ярали коррозиянинг ривожланиши;

### 5.1.6. Контакт коррозияси.

Контакт коррозияси икки ва ундан ортиқ турли металлларнинг ўзаро бириккан (контактда бўлган) жойларида вужудга келади. Коррозиянинг бу тури турли электрохимёвий табиатга эга бўлган металллар (масалан углеродли пўлат – зангламайдиган пўлат, углеродли пўлат – алюминий ёки унинг қотишмаси ва б. системалар) контактида электролит эритмалари муҳитида ривожланади. Контакт коррозияси бир хил металлдан тайёрланган конструкцияларнинг қовшарланган ёки пайвандланган жойларида ҳам пайдо бўлади. Бундай коррозия бир хил русумли металлдан тайёрланган, бироқ шу металл доирасида хоссалари кескин фарқ қиладиган деталларнинг контактида ҳам кузатилади. Металл электрохимёвий характеристикаларининг ўзгаришига олиб келадиган механик кучланишлар ҳам бир хил металлдан тайёрланиб, турлича механик ишлов берилган деталларнинг бирикишида контакт

коррозиясига олиб келиши мумкин. Шундай қилиб, мураккаб металл объектларга конструкцион нуқтаи назардан нотўғри жило берилганда ҳам контакт коррозияси туфайли улар муддатидан олдин ишдан чиқиши мумкин.

Контакт коррозиясида системанинг иккала ташкил этувчилари сиртида ҳам йиғинди анод ва катод қутбланиш эгриликларининг кесишиш нуқтаси билан аниқланадиган муроса потенциали вужудга келади. Бу потенциалда системадаги иккала ташкил этувчининг эриш тезлиги, ҳар бир ташкил этувчининг айнан бир эритмадаги алоҳида эриш тезликларидан фарқ қилади.

Агарда электролит эритмаси чексиз электр ўтказувчанликка эга бўлганда эди, сиртнинг эквипотенциаллиги исталганча узоқ масофага тарқалар эди. Эксплуатацион муҳит чекли электр ўтказувчанликка эга бўлган реал шароитларда эса эквипотенциаллик биметалл система сиртнинг бевосита контакт жойлари яқинидаги маълум бир қисмидагина кузатилади. Контакт жойидан узоқлашган сари системани ташкил этувчи ҳар бир металлнинг потенциали компромисс потенциалдан шунча кўпроқ фарқ қилиб, ўзининг хусусий қийматига яқинлаша боради. Муҳитнинг электр ўтказувчанлиги қанчалик юқори бўлса эквипотенциаллик зонаси шунчалик чўзилган бўлади. Бундай ҳолат заиф электр ўтказувчанликка эга бўлган муҳитда омик қаршилиқнинг йўқолиши – IR четлашишлар мавжудлиги билан изоҳланади.

Электрохимёвий табиати турлича бўлган металллар контактида потенциали манфийроқ бўлган металл анод ва потенциали янада мусбатроқ бўлгани — катод вазифасини бажаради. Система эгаллаган потенциалга боғлиқ ҳолда катоднинг эриш тезлиги айнан шу эритмадаги унинг хусусий тезлигидан катта, кичик ёки унга тенг бўлиши мумкин.

Аноднинг эриш тезлиги биринчи навбатда анод ва катод орасидаги потенциаллар фарқига боғлиқ, бироқ кислороднинг ионизация жараёни, анод эриши маҳсулотларининг иккиламчи ўтириши ва б. ҳам унга сезиларли таъсир қилиши мумкин. Бир хил металлнинг электрод потенциали унинг таркиби, температураси, аэрация шароити ва муҳитнинг бошқа характеристикаларига боғлиқ бўлганлигидан компромисс потенциалининг қиймати ҳам нафақат ташкил этувчи металлларнинг табиати, балки муҳитнинг характеристикалари орқали ҳам аниқланади.

Контакт коррозиясининг амалдаги ҳодисаларидан бири *дифференциал аэрация жуфтлигининг* ҳосил бўлишидир. Бир хил металлдан тайёрланган металл конструкциянинг турли қисмларида катод жараёни тезлигининг турлича бўлиши оқибатида эркин коррозиянинг ҳар хил потенциали ҳосил бўлганда дифференциал аэрация жуфтлиги юзага келади. Бу турдаги коррозия катод реакциялари асосий деполяризатор – кислород етиб келиши диффузион чекланган шароитларда кечадиган, яъни ер ости иншоотларида кузатилади. Кислород концентрациясидаги фарқ одатда иншоотларнинг турлича хоссаларга эга бўлган тупроқларда ётиши билан билан боғлиқдир.

Контакт коррозиясининг яна бир ҳоли бир хилдаги катод реакцияларида металл конструкциясининг турли қисмларида турлича эркин коррозия потенциалининг, анод реакцияси қонуниятларининг ўзгариши туфайли амалга ошганида кузатилади. Бу ўзгариш металлнинг турли таркибли муҳит билан контактда бўлганлиги оқибатидир. Бундай ҳолат кўпинча таркиби ва кислоталилиги турлича бўлган тупроқларда узоқ масофаларга чўзилиб ётувчи қувурларнинг ер ости коррозиясида кузатилади.

Ўхшаш ҳолат иссиқлик узатиш тизими қувурларини ишлатишда ҳам жуда кўп учрайди. Бунда коррозия иссиқлик узатиш ва ўтказиш шароитларида кечади, потенциалнинг ўзгариши ҳароратнинг таъсири туфайли бўлади. Кўп ҳолларда таъсир шу қадар кучли бўладики, металл конструкцияси сиртининг баъзи қисмларида потенциалнинг пассив, бошқа қисмларида – актив соҳаси тўғри келиши мумкин. Коррозиянинг кўриб чиқилган бу тури ишлаб чиқаришнинг жуда кўп соҳаларида фойдаланиладиган иссиқлик алмашилиш қурилмалари учун характерлидир.

## **5.2. Металларнинг коррозион-механик емирилиши.**

Бир вақтнинг ўзида агрессив муҳит билан бир қаторда механик кучланиш таъсирларига ҳам учрайдиган шароитларда ишлатиладиган металл конструкциялари янада кучлироқ коррозияга учрайдилар.

Кимё саноатидан бу икки факторнинг биргаликдаги таъсирига жуда кўп мисоллар келтириш мумкин, масалан:

- аммиак, мочевина, метил спирти ва шу кабиларнинг синтези жараёнлари агрессив муҳит билан бир қаторда юқори ҳарорат ва 35-40 МПа босим остидаги газ оқими шароитида амалга оширилади;
- коррозион актив ва механик юклама таъсирида ишловчи тебранма дастгоҳлар, ғалвир машиналар, филтрлар, штангали насослар ва б;
- буғ ва юқори босим остида ишловчи жиҳозлар, қувур ўтказгичлар, автоклавлар ва шу каби жиҳозлар коррозион ёрилишга учрайдилар;
- ўзгарувчан юклама ва агрессив муҳитнинг биргаликдаги таъсири ҳам хавfli коррозияга олиб келиши мумкин. Бундай таъсирга насос ва компрессорлар, роторлар, дисклар, турбиналарнинг қураклари, кривошип-шатун механизмлари ва б. учрайди.

Механик кучланишларнинг икки – ички ва ташқи кўринишлари мажуд. Ички кучланиш деталларга механик ва термик ишлов беришда, уларни пайвандлашда вужудга келади. Ташқи, яъни ташқаридан қўйиладиган кучланиш статик ва ўзгарувчан бўлиши мумкин.

Механик кучланиш таъсирида металл сиртки қатламининг структураси ўзгаради, бу эса баъзи қисмлардаги потенциалнинг ўзгаришига, ҳимоя плёнкасининг бузилишига ва натижада металлдаги коррозия тезлигининг ўзгаришига олиб келади.

Механик юкламалар таъсирида металл коррозион емирилишининг куйидаги кўринишлари вужудга келиши мумкин:

- коррозион ёрилиш;
- коррозион чарчаш;
- коррозион кавитация;
- коррозион эрозия ёки фреттинг-коррозия.

Механик кучланиш таъсиридаги коррозион емирилиш локал коррозия жараёнига кирмада у билан жуда кўп умумий жиҳатларга эга. Коррозион чарчаш жараёнлари ёки статик кучланиш остидаги коррозия жараёнларида ёриқлар, фреттинг-коррозияда эса питтинглар ҳосил бўлиши билан кечади.

Механик кучланиш таъсиридаги коррозион жараёнлар куйидаги уч кетма-кет босқичда амалга ошади:

- ўринадиган бузилишлар кўзга ташланмайдиган инкубацион давр;
- коррозия ўчоғлари вужудга келадиган босқич;
- масштабли тез емирилиш бошланадиган давр;

Эластик ёки деформация билан боғлиқ ҳолатда бўлган металлда механик кучланишларнинг мавжудлиги ҳимоя плёнкалари яхлитлигининг бузилишига олиб келади. Одатда чўзувчи ёки сиқувчи кучланишлар текис коррозиянинг тезлигига камроқ таъсир қилади. Коррозион муҳит таъсирида механик факторларнинг локализацияси металл конструкциясининг тез бузилишига олиб келади.

Кучланиш остида коррозион ёрилишнинг кечиши коррозион муҳит ва механик таъсирларнинг биргаликдаги таъйиқи туфайли амалга ошади. Дастлабки даврда ёриқлар коррозион муҳит актив ионларининг хемосорбцияси таъсиридаги дарзлар туфайли ҳосил бўлади. Ёриқларнинг пайдо бўлиши металлнинг дефектлари бўлган (масалан доналар чегарасида, кўшимчаларда, дислокациялар тўпламида) баъзи қисмларида тунелларнинг (0,05 мкм тартибдаги ўлчамли) ва питтингларнинг вужудга келиши билан боғлиқ. Механик факторнинг жуда катта устунлиги туфайли ёриқларнинг ривожланиши ва конструкциянинг узилишига олиб келиши мумкин.

### **5.2.1. Металларнинг коррозион ёрилиши.**

Коррозион ёрилиш (КЁ) – чўзувчи кучланиш ва коррозион муҳитнинг биргаликдаги таъсири оқибатида дарзларнинг ҳосил бўлиши ва ривожланиши сабабли металл яхлитлигининг бузилишидир. КЁ металлда пластик деформациянинг умуман йўқлиги билан характерланади.

Коррозион ёрилиш – металл бузилишининг хавfli кўринишларидан биридир. Термик ёки механик ишлов беришдан кейин, жиҳозларни йиғиш ва монтаж қилишда, пайвандлашда, юқори босим ва ҳароратда ишлатиш

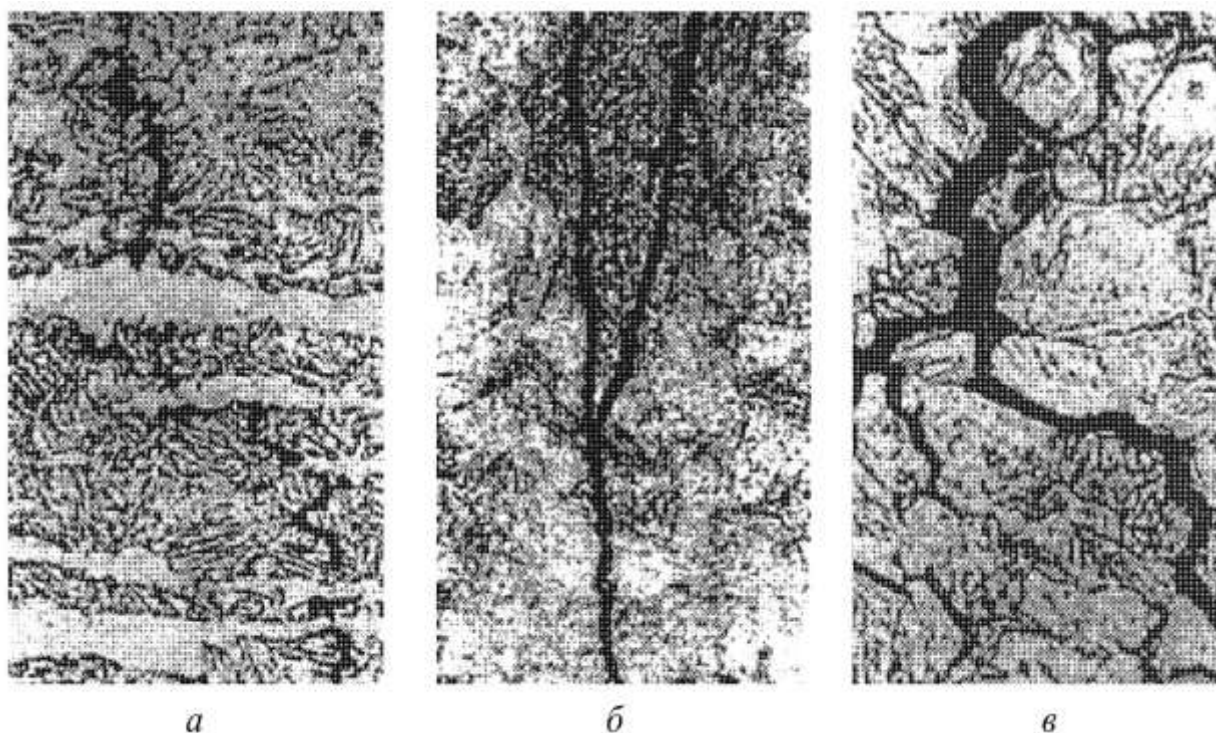
оқибатида юзага келадиган қолдиқ кучланиш ҳосил бўлган кимё саноатидаги конструкцияларда КЁ энг кўп учрайди.

Агрессив муҳитнинг табиати, унинг концентрацияси ва таркиби КЁ нинг вужудга келиши ва ривожланишига катта таъсир кўрсатади. Кучланиш остида юз берадиган КЁ га деярли барча металллар ва қотишмалар дучор бўладилар. Кимё, нефт-газ ва иссиқлик энергетикаси соҳаларида рўй берадиган коррозион емирилишларнинг 20 дан 40 % гачаси коррозион ёрилиш улушига тўғри келади.

Коррозион ёрилиш учун қуйидаги ўзига хосликлар характерлидир:

- металл мўртлигини юзага келтирувчи дарзларнинг ҳосил бўлиши;
- кристалларо ва транскристалл дарзларнинг ҳосил бўлиши ва тармоқланиши;
- қўйилган чўзувчи кучларнинг қийматига кўра дарзлар ҳосил бўлгунча индукцион давр давомийлиги.

Коррозион ёрилиш таркибида  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ , нитратлар, хлоридлар, кислоталар ва ишқорлар бўлган эритмаларда юз беради (5.5-расм). Таркибида 0,2 % углерод бўлган, феррит-перлит ёки перлит структурали углеродли пўлатлар КЁ га камроқ мойилдирлар.



**5.5-расм. 200 мг/л  $Cl^-$  концентрацияли, 320°C ҳароратли сувдаги пўлатларнинг типик коррозион ёрилиши (x·900):**

- а* – 03X16H4C2 пўлат, кристалларо бузилиш, заиф тармоқланган ёриқ,  $\delta$ -ферритнинг айланиб ўтиши; *б* – 03X12K12H2 пўлат, транскристалл бузилиш; *в* – 03X12K12Д2 пўлат, кристалларо бузилиш, тармоқланган ёриқ;

Мартенсит структурали пўлатлар бундай коррозияга анча сезгир хисобланади. Мартенсит ҳосил бўлишига олиб келадиган термик қайта ишланишнинг барча режимлари пўлатни КЕ га мойил қилади.

Яримферритли ва ферритли хромланган пўлатлар коррозион ёрилишга аустенит хромникелли пўлатларга нисбатан камроқ мойилдирлар.

Аустенит хромникелли пўлатлардаги КЕ қатор кимёвий ишлаб чиқариш саноатларида кузатилган. Бу ҳодиса зангламайдиган пўлатлардаги аустенитнинг нотурғунлиги билан изоҳланади.

Углеродли пўлатларни легирлаш, турғунлаштирувчи кўшимчаларни киритиш, никел миқдорини ошириш аустенитли пўлатларнинг коррозион ёрилишга бўлган мойиллигини сезиларли ўзгартирмайди.

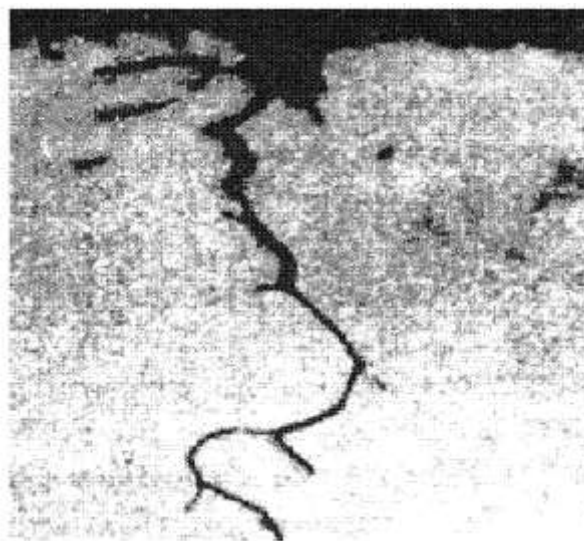
Рангли металллар ва улар асосидаги қотишмалар шунингдек, алюмин-магний ва мис-жез қотишмалари ҳам КЕ га учрайдилар.

Кучланиш остида бўлган магнийли қотишмалар – хлоридлар, сульфатлар, карбонатлар ва хроматларнинг эритмаларида коррозион ёрилишга учрайдилар. Миснинг рух, қалай ва алюминий билан қотишмалари аммиак буғлари мажуд бўлган муҳитда бу турдаги коррозияга учрайдилар.

### 5.2.2. Металлларнинг коррозион чарчаш.

Металлнинг чарчаш – мустаҳкамлик чегарасидан анча кичик бўлган кучланишлардаги даврий динамик юклама таъсирида унинг емирилишидир. Кимё саноатидаги машина ва ускуна деталларининг бундай коррозияга учраганини тез-тез кўриш мумкин. Чарчаш туфайли емирилиш одатда чўзувчи кучланиш қўйилган даврда ривожланадиган кристаллараро ва транскристалл ёриқлар ҳосил бўлиши билан бирга кечади (5.6-расм). Металлнинг чарчашдаги емирилишга мойиллиги унинг чидамлилиқ чегараси билан характерланади.

*Чидамлилиқ чегараси деганда  $10^7$  ва ундан кўпроқ циклда ҳам металлларнинг чарчашдаги емирилиши бошланмайдиган максимал кучланишнинг қиймати тушинилади.* Металлга ўзгарувчан кучланиш ва агрессив муҳит бир вақтнинг ҳзида таъсир қилганида бу цикллар сони камаёди, яъни чарчашга чидамлилиқ чегараси пасаяди.



5.6-расм. Л63 латундан тайёрланган конденсатор трубкасидаги чарчаш ёриғи

Коррозион чарчаш ҳолатига муҳитнинг таъсири ҳам кучлидир. Масалан, Х13 маркали пўлатнинг вакуумдаги чарчашга чидамлилиги ҳаводагига нисбатан анча юқори. Чучук сувда унинг чарчашга чидамлилиги 1,5–3 марта камайса, чучук сувдан денгиз сувига ўтганда бу кўрсаткич яна 2 мартага пасаяди.

Қотишмаларга термик ишлов бериш ҳам уларнинг коррозион чарчаш чегарасига таъсир қилади. Тоблаш ва ундан кейинги бўшатиш натижасида уларнинг чарчашга чидамлилиги юмшатиш ёки нормаллаштирилган ҳолатига нисбатан сезиларли даражада ортади.

### 5.2.3. Фреттинг-коррозия

*Ишқаланиш туфайли вужудга келадиган коррозия фреттинг-коррозия дейилади.* Коррозиянинг бу тури даврий равишда унча катта бўлмаган нисбий силжишлар туфайли бир-бирига тегиб турган сиртлардаги шикастлар ва емирилишлар билан характерланади. Бу жараён одатда турли хилдаги болтли, шлицали, қулфакли, парчинли, шарнирли ва шу каби деталларда кўп учрайди. Иш жараёнида бу деталлар такрорланувчи нисбий силжишлар тарзида ҳаракат қилиши сабабли сирт плёнкаларида механик бузилишлар келиб чиқади. Тегиб турган сиртлар фреттинг коррозия жараёнида бир-биридан ажралмаганлиги сабабли емирилиш маҳсулотлари контакт зонасидан чиқиб кета олмайди. Бу эса металллар ейилишини ва ўз навбатида коррозияни кучайтиради.

Фреттинг коррозиянинг тезлиги металлнинг табиати, муҳит таркиби, ҳарорат, солиштирма юклама, сиртларнинг ҳолатига боғлиқ.

Тегиб турувчи сирт материалларини рационал танлаш, қопламалар ҳосил қилиш, мойлаш материалларини қўллаш орқали фреттинг коррозиядан ҳимояланиш мумкин.

### 5.2.4. Кавитацион эрозия

Кавитацион эрозия гидротурбиналар, эшкаксимон винтлар, насослар, беркитувчи қурилмалар ва қувур ўтказгичларни ишлатиш жараёнларида кузатилади. Коррозиянинг бу тури қаттиқ жисмни суйриб ўтадиган суюқлик оқимининг ностационарлиги билан боғлиқ.

*Кавитация – суюқликда пуфакчаларнинг ҳосил бўлиши ва йўқолиши жараёнидир.* Пуфакчаларнинг гидравлик зарба билан йўқолиши кавитацион эрозияга сабаб бўлади. Пуфакчаларнинг ҳосил бўлиши паст босимли соҳада, йўқолиши эса юқори босимли соҳада юз беради. Шунинг учун кўпинча кавитацион емирилиш соҳаси пуфакчаларнинг ҳосил бўлиш соҳасдан анча узокда бўлади.



Дастлаб кўпсонли микродарзларни вужудга келтирувчи материалнинг прогрессив юмшалиш жараёни боради. Шундан сўнг кичик заррачаларнинг бошқа тусга кириши бошланади. Маълум шароитларда кавитацион эрозия ўша муҳитдаги коррозион емирилишдан минг, ҳаттоки ўн минг марта кучли бўлиши мумкин. Суюқ коррозион муҳитлардаги кавитацион таъсир туфайли деталларнинг бузилишига қотишманинг таркиби ва структураси ҳамда оқимнинг тезлиги муҳим рол ўйнайди.

### **5.3. Материалларни коррозиянинг турли кўринишларига қарши чидамлилиқка синаш усуллари.**

#### **5.3.1. Материалларни синашнинг асосий усуллари**

Коррозиянинг турли кўринишларига қарши металл материалларнинг чидамлилигини синаш конструкциялар ва жиҳозларнинг узок вақт ва хавфсиз ишлашига қўйиладиган талаблардан келиб чиқади. Материаллар коррозион чидамлилигининг сифат ва миқдорий мезонлари бўлиши мумкин. Коррозион синаш давомида синаладиган намуна ташқи кўриниши билан коррозион муҳитда бўладиган ўзгаришларни баҳолаш *сифат мезонига* киради.

Намуна ташқи кўринишида бўладиган ўзгаришларни баҳолаш визуал ёки микроскопларни қўллаш орқали амалга оширилади. Бунда металл сирти морфологиясининг ҳамда рангининг ўзгариши таҳлил қилинади. Коррозион муҳитда бўладиган ўзгаришларни унда эримайдиган коррозия маҳсулотларининг пайдо бўлиши ва шаффофлигининг бузилишига қараб баҳолаш мумкин. Сифат методларига индикаторли методлар мисол бўлади. Бундай усуллар синалаётган материалнинг эриш маҳсулотлари таъсирида коррозион муҳитга махсус қўшиладиган реактивлар рангининг ўзгаришини кузатишга асосланган. Пўлатларни синаш амалиётида бундай реактивлар сифатида калий ферроцианиди ва феррицианидларининг аралашмаси олинади. Уларнинг икки валентли темир ионлари билан таъсирлашуви натижасида темир сиртида кўк ранг билан бўялган соҳалар пайдо бўлади. Алюминий ва унинг қотишмаларини синашда сифат индикаторлари бўлиб, кучли эриш соҳаларини қизил рангга бўяйдиган ализарин хизмат қилади.

Материаллар коррозион чидамлилигининг *миқдорий мезонлари* қўлланиладиган синов усуллариининг ўзига хослиги билан белгиланади. Бундай усуллар одатда турлича физик ва физик-кимёвий катталиқлар масалан, ток ва потенциалнинг қиймати, металлнинг йўқотган массаси (массанинг ўзгариши), коррозиянинг кетган чуқурлиги, металлдаги локал жароҳат ўчоғларининг жойи ва сони, коррозион ёриқларнинг борлиги ва чуқурлиги ва б. баҳолашга асосланади. Энг кўп ишлатиладиган металллар коррозион чидамлилигининг миқдорий мезони – металл қалинлигининг текис юпқаланиш тезлиги (мм/йил) ҳисобланади. Пўлат учун коррозион

чидамлиликининг ўн балли шкаласи ишлаб чиқилган бўлиб, унга кўра ҳар хил чидамлилиқ балларига металлнинг маълум бир юпқалашиш тезлиги тўғри келади (5.1-жадвал).

5.1-жадвал

Металлар каррозияга бардошлилигининг ўн балли тизим буйича баҳоланиши  
(Гост 13819-68 бўйича)

№	Бардошлилик гуруҳи	Коррозия тезлиги (мм/йил)	Балл
1.	Мутлақо бардошли	0,001 дан кам	1
2.	Анча бардошли	0,001 дан 0,005 гача	2
		0,005 дан 0,01 гача	3
3.	Бардошли	0,01 дан 0,05 гача	4
		0,05 дан 0,1 гача	5
4.	Бардошлилиги паст	0,1 дан 0,5 гача	6
		0,5 дан 1,0 гача	7
5.	Кам бардошли	1,0 дан 5,0 гача	8
		5,0 дан 10,0 гача	9
6	Бардошсиз	10,0 дан юқори	10

Бу шкалага асосан ҳар қандай металл ёки қотишманинг бардошлилиги 0,1мм/йилдан катта бўлмаса, у технологик жараёнларда ишлатиладиган қурилма ёки жиҳозлар тайёрлашга яроқли ҳисобланади.

Ҳозирги вақтгача мавжуд бўлган барча синов усуллари куйидаги уч гуруҳга бўлиш мумкин:

- 1) дала синов усуллари;
- 2) табиий шароитдаги (натур) синов усуллари;
- 3) лаборатория шароитидаги синов усуллари;

Дастлабки икки турдаги синовлар табиий шароитда ўтказилиб, улар узок вақт (ойлаб) талаб қилади. Биринчисида ишлатиладиган жиҳознинг керакли жойга ўрнатилган намуна – гувоҳнинг ўзини тутишига қараб материалнинг коррозия бардошлилиги тўғрисида хулоса қилинади. Иккинчи ҳолда жиҳозлар (ёки конструкциялар) нинг тажриба намуналари синовлардан ўтказилади. Шунини айтиш лозимки, баён этилган синов усуллари иккаласи ҳам юқори ишончликка эга эмас. Бунга сабаб, дала шароитида агрессив муҳитнинг намуна-гувоҳ билан металл конструкциясидаги элементга таъсири ҳамма вақт ҳам бир хил бўлавермайди. Намуна-гувоҳларни ҳаракатланаётган суюқлик оқимида коррозия синовлар ўтказишда оқимнинг сирт яқинидаги шаротлари жиҳозлар элементларининг реал сирт шароитларидан сезиларли фарқ қилиши мумкин (оқимнинг локал турбулизацияси, туриб қолиш зоналари, кавитацион эффектлар ва б. ҳосил бўлиши мумкин).

Лаборатория синовларининг ишончлиги эксплуатация шароитларини реал моделлаштиришнинг адекватлиги ва коррозия бардошлилик мезонларининг тўғри танланиши билан белгиланади. Синов вақтининг жуда

қисқалиги (соат, экспресс усуллар учун – минутлар), эҳтимолли баҳолаш учун синовларни кўп марта такрорлаш, синаш шароитларини қатъиян назорат қилиш мумкинлиги тезкор лаборатория синовлари усулининг устунлиги ҳисобланади.

*Коррозия жараёнларини моделлаштиришда* қуйида келтириладиган тамойилларга амал қилиш лозим:

- коррозия жараёнларининг жадаллашуви унинг механизмини ўзгартириш ҳисобига бўлмаслиги керак;
- синов ўтказиладиган шароитларни моделлаштиришда реал коррозия муҳит табиқининг ўзига хос томонларини ҳисобга олиш зарур;
- коррозия жараёнини янада самарали тезлаштириш учун асосий назорат қилувчи факторни аниқлаб, сўнгра айнан унга таъсир қилиш лозим;
- синов усуллари синаладиган материал кимёвий таркибининг ўзига хос томонларини ҳисобга олиб ишлаб чиқиши лозим;
- коррозияга бардошлилик мезонлари тўғри танланиши керак;

### **5.3.2. Материалларни коррозиянинг локал кўринишларига қарши чидамликка синаш.**

Материалларни коррозиянинг локал кўринишларига синаш учун икки асосий тадқиқот усуллар гуруҳи мавжуд – *кимёвий ва электрокимёвий*. Металл сиртини ўрганишда одатда кимёвий ва электрокимёвий усуллар билан биргаликда қўлланиладиган физикавий тадқиқот усулларини алоҳида қўшимча гуруҳга ажратиш мумкин. Бу усулларга оптик ва электрон микроскопия, рентгеноспектрал микроанализ, Оже-электрон ва рентген фотоэлектрон-спектроскопия ва б. киради.

*Кимёвий тадқиқот усуллари* анион активаторлари ва оксидланиш-қайтарилиш потенциалига эга бўлган муҳит билан синаладиган материал ўртасидаги контактни ҳосил қилиш ва маълум вақт давомида ушлаб туриш мақсадида қўлланилади. Бундай усуллар оддий, ўтказиш учун маҳсус жиҳозларни талаб қилмайди ва жуда кўп металлларнинг бардошлилигини аниқлаш имконини беради. Маслан, питтинг коррозияга чидамликни аниқлаш учун асосий катталик ҳисобланган питтинг коррозиясининг шартли тезлигини гравиметрик усул билан қуйидаги формула орқали аниқлаш етарлидир:

$$V_{\text{ПК}} = \frac{\Delta m}{S t} \quad (8.1)$$

Бу ерда  $V_{\text{ПК}}$  – питтинг коррозиясининг шартли тезлиги,  $\text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$ ;  $\Delta m$  – металл массасининг умумий йўқолиши;  $S$  – параллел синаладиган намуналарнинг йиғинди юзаси.

Ҳозирги вақтда зангламайдиган пўлатларни питтинг коррозиясига қарши чидамлилигини кимёвий синашлар АҚШ ва Россияда стандартлаштирилган. Ҳар иккала стандартлар ҳам пўлатларни 10% ли  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  эритмасида сақлашга асосланган ( $\text{Cl}^-$  ионининг бу эритмадаги активлиги унинг денгиз сувидаги активлигига тенг).

Кимёвий синашларнинг яна бир кўриниши турли мақсадларда кенг қўлланиладиган рангли индикаторлар усулидир. Унинг моҳияти шундан иборатки, турли нисбатдаги  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  ва  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  анион-активаторлари ва оксидловчилари бўлган ҳамда синовчи сув эритмаси шимдирилган ғовак гигроскопик материал металл сиртига маълум вақт ёпиб қўйилади.

Кимёвий синашларнинг навбатдагиси зангламайдиган пўлат сиртида ҳосил бўлган питтинг коррозияси ўчоғларини сиртга  $\text{NaCl}$  эритмасининг томчиси томизилгандан сўнг уларни санашга (оптик микроскоп ёрдамида) асосланган.

Ишлаб чиқариладиган коррозияга чидамли пўлатларнинг барчаси учун кристаллараро коррозияга қарши бардошлиликка синов мажбурий ҳисобланади. Бундай синовлар металл намуналарини агрессив муҳитда узок вақт қайнатишга асосланган кимёвий усуллар ёрдамида ўтказилади. Штраус ва Гюи усуллари ана шундай усуллардан ҳисобланади.

**Тадқиқотлар ва синовларнинг электрокимёвий усуллари.** Электрокимёвий усулларнинг афзаллиги биринчидан, улар металлларнинг коррозияга бардошлилигини реал ишлатиш шароитларида аниқлаш имконини беради. Иккинчидан, бу усуллар юқори экспресс усуллар ҳисобланади. Уларнинг асосий камчилиги – жиҳозлаш таминотининг мурак-қаблиги ва ходимлар малакасига қўйиладиган талабларнинг юқорилиги. Шундай бўлсада, электрокимёвий усулларнинг оммавийлиги борган сари ортиб бормоқда.

Электрокимёвий тадқиқотларнинг икки асосий тури – *потенциодинамик ва гальваностатик* мавжуд. Ҳар иккала усул ҳам питтинг коррозиянинг чегаравий потенциалларини аниқлашга асосланган. Кўрсатилган потенциаллардан муҳими металлнинг физик-кимёвий ҳолатини ифодаловчи ва сиртнинг дастлабки ҳолатига боғлиқ бўлмаган  $E_{\text{пк}}$  ҳисобланади.

Синашларнинг электрокимёвий усули биринчи марта Россияда стандартлаштирилган ва нейтрал сув муҳитларида осон пассивланувчи зангламайдиган пўлатларнинг питтинг коррозиясига бардошлилигини аниқлаш учун тавсия қилинган.

Потенциодинамик қутбланиш  $E_{\text{кор}}$  нинг барқарорлашган қийматидан бошланиб, дастлаб бир йўналишда, сўнгра  $E$  ёйилиш йўналишини ўзгартириб тескари томонга амалга оширилади. Қутбланиш эгрилигидан фойдаланиб, токнинг кескин ошишига мос келувчи потенциал  $E_{\text{по}}$  аниқланади.  $E_{\text{рп}}$  потенциал тўғри ва тескари йўналиш эгриликларининг кесишган нуқтадаги потенциали сифатида топилади.

Гальваностатик қутбланиш камида 30 дақиқа давомида потенциални қайд қилиб бориш орқали  $i_{\min} = 0,3 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$  ток билан ўтказилади.  $E_{\text{тк}}$  нинг катталиги учун охирги 25–30 дақиқа давомида ўлчанган  $E$  нинг ўртача қиймати олинади. Бунда унинг тебраниш амплитудаси 30 мВ дан ошмаслиги лозим.

Материалларнинг кристаллараро коррозияга қарши бардошлилигини синашнинг электрохимёвий усулларида бири потенциостатик юмшатишдир. Бунда синаладиган пўлат металлографик шлифларини 1М HCl + 0,4М NaCl ( $T = 25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) эритмасида юмшатишга асосланган. Электрохимёвий ячейкада бир вақтнинг ўзида бир неча намуна синовдан ўтказилиши мумкин. Бу усул X18H10T турдаги пўлатларни синаш учун мўлжалланган АМ ва АМУ усулларнинг электрохимёвий аналоги ҳисобланади.

### **5.3.3. Материалларнинг коррозия-механик таъсирларга чидамлилигини синаш.**

Материалларнинг коррозия ёрилишга ( $K\ddot{E}$ ) мойиллигини баҳолаш учун намуналарни ўрганилаётган коррозия муҳитда, доимий чўзувчи кучланиш остида ёки деформациянинг доимий катталиги ва тезлиги билан синовлар ўтказилади.

Биринчи ҳолда бузилишгача бўлган вақтнинг кучланиш катталигига боғлиқлиги аниқланади. Бошланғич механик кучланиш  $\sigma_6$  да металл бузилгуча кетган вақт  $K\ddot{E}$  га нисбатан металл чидамлилигининг мезони ҳисобланади.  $\sigma_6$  дан кичик қийматларда синов қанчалик узок давом этмасин,  $K\ddot{E}$  вужудга келмайди.

Иккинчи гуруҳ усулларида асосида намуналарни чизикли бузиш механикаси тамойилларидан фойдаланиб, олдиндан ҳосил қилинган дарзлари билан синаш усули ётади. Бу ҳолда кейинчалик ёрилишга сабаб бўладиган дарзларнинг стабил ўсишига олиб келувчи, дарзлар юқорисидаги кучланиш интенсивлигининг коэффиценти  $K\ddot{E}$  га чидамлик мезони бўлиб ҳисобланади. Бу мезон «кучланиш интенсивлиги  $K_1$ — дарзларнинг ўсиш тезлиги  $da/dt$ » диаграммасини тузиб аниқланади, бунда  $a$  – дарзнинг чуқурлиги.

Материалларнинг коррозия-чарчашга мустаҳкамлигини аниқлаш учун бузилишнинг чизикли механикаси усуллари қўлланилади. Таъсир этганда синов базаси деб аталадиган маълум циклар сонидан сўнг бузилиш содир бўладиган кучланиш (чарчашнинг шартли чегараси) материал чидамлилигининг мезони сифатида қабул қилинади.

Материалнинг тозаллиги, сиртдаги дағалликларнинг камлиги, буюм диаметрининг катталиги унинг умрбоқийлигини узайтиради. Шу сабабли синаш учун мўлжалланган намуналарнинг шакли, ўлчами ва сифати регламентланган (ГОСТ 25.502-79 ва ГОСТ 2189-73).

### 5.3.4. Коррозион мониторинг

Исталган аппарат ёки конструкциянинг «Хаёт цикли» тўртта – лойиҳалаш, тайёрлаш, ишлатиш ва реновация (реконструкция, таъмирлаш) босқичларидан иборат.

Жиҳозлар коррозион ҳолатини (уларни лойиҳалаш, ишлатиш, реновация босқичларида) баҳолашнинг самарали усули коррозион мониторинг ҳисобланади. Бу жараён мумкин бўлган коррозион ноҳушликлар ҳақида замона-вий маълумот олиш мақсадида олиб бориладиган объектлар коррозион ҳолатининг ташхислари ва барча турдаги кузатишлар мажмуини қамраб олади.

Мониторинг регламенти ташхисланадиган тизимнинг ишлатилиш шароитларидан келиб чиққан ҳолда белгиланади.

Ишлатиш босқичида жиҳознинг коррозион мониторинги унинг ҳолатини узлуксиз (ёки даврий) назорат қилишдаги қуйидаги усуллардан ташкил топади: визуал кўздан кечириш; жиҳознинг ноқулай қисмларини телеметрик тизимлар ёрдамида кўздан кечириш; коррозион муҳитнинг технологик хоссаларини (оксидланиш-қайтарилиш потенциали, металл конструкцияси элементларининг эриш маҳсулотлари борлиги, коррозион-актив агентлар концентрациясининг ўзгариши ва б.) аниқлаш; металл потенциалини аниқлаш; намуна-гувоҳларнинг коррозия тезлигини аниқлаш; намуна-гувоҳларнинг электр қаршилигини аниқлаш; ултратовуш, магнитометрик ва акустик дефектоскопия.

Реновация босқичидаги мониторинг конструкцион ва қайта тиклаш бўйича техник ечимларнинг назоратини ҳамда бу ишларни ҳисобга олган ҳолда унинг кейинги фаолиятини ташхислашни ўз ичига олади.

### Бешинчи бобга тегишли услубий тавсиялар

Бу бобда келтирилган маълумотларни ўрганиш натижасида *талаба қуйидагиларни билиши шарт:*

- коррозиянинг локал кўринишлари;
- металлларнинг коррозион-механик емирилиши;
- Материалларни коррозиянинг турли кўринишларига қарши чидамликка синаш усуллари;

### Назорат саволлари

1. Коррозиянинг локал турига қандай кўринишдаги коррозиялар киради?
2. Локал коррозия кўринишларининг характерли белгилари қандай?

3. Питтинг нима?
4. Питтинг коррозиясининг характерли белгилари нималардан иборат?
5. Тирқиш коррозиясини тушунтириб беринг.
6. Қурилмалар конструкциясининг тирқиш коррозиясига таъсири қандай?
7. Кристаллараро коррозиянинг вужудга келиши ва унинг ўзига хослик томонларини тушунтиринг.
8. Металларнинг селектив эриши қандай жараён?
9. Контакт коррозиясининг механизмини тушунтиринг.
10. Коррозион-механик емирилишларнинг қандай турларини биласиз?
11. Коррозион ёрилиш ёрилиш нима? Унга мисоллар келтиринг.
12. Коррозион чарчаш нима? Унга мисоллар келтиринг.
13. Фреттинг коррозия нима? У қандай шароитларда вужудга келади?
14. Кавитацион эрозия ҳодисасини тушунтиринг. У қандай шароитларда кузатилади?
15. Материалларнинг коррозияга бардошлилигини синашда қандай асосий усуллар мавжуд?
16. Металлар каррозияга бардошлилигининг ўн балли тизимини тушунтириб беринг.
17. Материалларни коррозиянинг локал кўринишларига қарши чидамликка қайси усуллар билан синалади?
18. Материалларнинг коррозион-механик таъсирларга чидамликгини синаш қандай амалга оширилади?
19. Коррозион мониторинг нима ва у нима мақсадда ўтказилади?
20. Жиҳозлар коррозион ҳолатини аниқлашнинг қандай босқичлари мавжуд?

### **Бешинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари**

1. Питтинг коррозияси амалга ошадиган шартлар.
2. Металл материаллар питтингбардошлилигининг асосий амалий мезони
3. Ярали коррозияга олиб келувчи шарт-шароитлар.
4. Тирқиш коррозияси ва конструктив факторларнинг бу турдаги коорозияга таъсири.
5. Кристаллараро коррозиянинг вужудга келишининг асосий сабаблари
6. Металларнинг коррозион-механик емирилиши ва унинг техникада аҳамияти.
7. Металларнинг коррозион ёрилишига сабаб бўлувчи асосий омиллар.
8. Металларнинг коррозион чарчаши сабаблари.
9. Материалларни синашнинг асосий усуллари
10. Материалларни коррозиянинг локал кўринишларига қарши чидамликка синаш.
11. Материалларнинг коррозион-механик таъсирларга чидамликгини синаш.

## VI БОБ. ТАБИЙ ВА ТЕХНОЛОГИК МУҲИТЛАРДА МЕТАЛЛАР КОРРОЗИЯСИ

### 6.1. Табиий муҳитларда металллар коррозияси.

Машиналар, аппаратлар ва металлконструкциялар ўзининг вазифасига кўра табиий ёки саноат муҳитларда ишлайди. Технологик муҳитларнинг характери коррозион жараёнларнинг қонуниятларига сезиларли таъсир қилади ва металлларни коррозиядан ҳимоя қилишдек асосий муҳандислик масаласини ҳал қилишда турли қарорлар қабул қилишни тақозо қилади.

Ушбу бобда қабул қилинган синфлашга мос ҳолда табиий шароитларда кечадиган коррозия жараёнларининг асосий қонуниятлари кўриб чиқилади. Булар атмосфера, тупроқ ва денгиз коррозияси жараёнларидир.

Кимёвий ишлаб чиқаришдаги технологик муҳитлар кўп қирралиги, коррозион-актив компонентларнинг хилма-хиллиги билан ажралиб туради ва ҳар бир ҳол учун алоҳида ёндошувни талаб қилади. Шунинг учун китобнинг бу қисмида машина ва жиҳозлар конструктив факторларининг коррозион емирилиш ривожланишига таъсири, металл ва қотишмаларнинг ўзига хос деструктив ўзгаришларига сабаб бўлувчи газ коррозиясининг баъзи кўринишлари каби умумий масалалар кўриб чиқилади.

Кўпгина металлоконструкциялар табиий муҳитларда, жуда кўп пўлат иншоотлар атмосфера шароитларида эксплуатация қилинади. Магистрал ва кон қувур ўтказгичлари, сув қувурлари, нефт ва газ конлари қудуқларининг колонналари ер остида ишлатилади. Ер остида ишлатиладиган пўлатнинг умумий массаси 200 млн тоннадан ортади. Тупроқ коррозиясига маҳкум бўлган пўлат иншоотларининг умумий сирт юзаси 1,5 миллиард м<sup>2</sup> дан зиёддир.

Портлар, причаллар, кемалар ва шу кабиларнинг металл конструкциялари денгиз суви билан доимий контактда бўлиб, шўр сув коррозиясига учрайдилар.

Табиий шароитдаги коррозия жараёнларининг барчаси электрокимёвий механизм бўйича кечади. Бироқ, ҳар бир табиий муҳит ўзига хос хусусиятга эга.

#### 6.1.1. Металлларнинг атмосфера коррозияси.

*Нормал Ер атмосферасида ишлатиладиган иншоотлар ва жиҳозларнинг коррозияси атмосфера коррозияси дейилади.*

Коррозиянинг тезлиги ва коррозион емирилишнинг кўриниши металлнинг табиати, атмосферанинг ифлосланганлик даражаси (ГОСТ 16350-80) ва намлигига боғлиқ бўлади. Ўртача олганда металллар коррозиясининг



атмосферадаги тезлиги тупроқдаги ва денгиз сувидаги тезлигидан бирмунча пастдир.

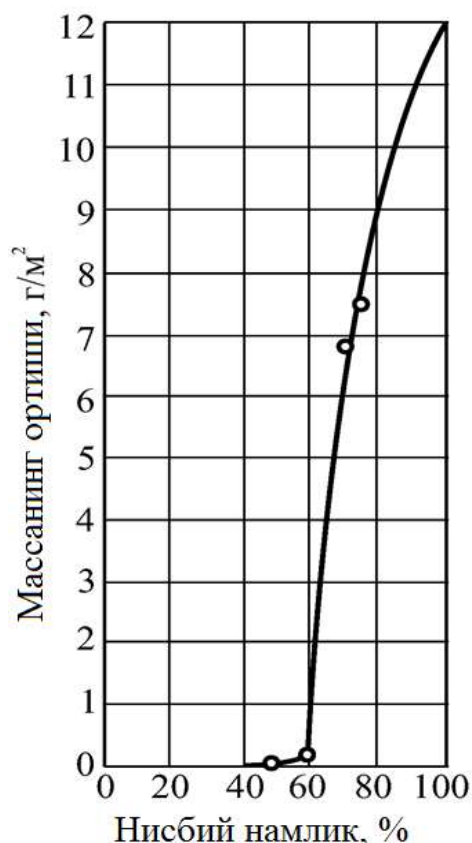
Атмосфера коррозиясининг асосий омили сув бўлиб ҳисобланади. Ҳавонинг нисбий намлиги 60% гача бўлганда металл сиртида намлик аломатлари сезилмайди. Бундай ҳолда коррозия кимёвий механизм бўйича боради. Металл сиртида ҳосил бўлган оксид плёнкаси химоявий хусусиятга эга бўлиб, коррозион емирилишларнинг ривожланишини секинлатади (6.1-расм).

Ҳавонинг нисбий намлиги 60-70% га тенг бўлганда, намликнинг конденсацияланиши бошланади ва металл сиртида сувнинг адсорбцион плёнкаси пайдо бўла бошлайди. *Металл сиртида намликнинг конденсацияла-ниши бошланадиган нисбий намлик критик намлик дейилади.* У металлнинг ҳолати ва ҳаво атмосферасининг ифлосланганлик даражасига боғлиқ.

Ҳавонинг нисбий намлиги 100% га яқинлашганда ёки металл бевосита ҳўл бўлганда (туман, ёмғир сабабли) сиртда кўринадиган фазавий сув қатламининг ҳосил бўлиши кузатилади.

Кўрсатилган уч турдаги ҳолат коррозия жараёнининг кечиш механизми билан бир-биридан фарқ қилади. Юқорида айтилганидек, қуруқ коррозия соҳасида жараён кимёвий механизм билан боради ва металлнинг емирилиш тезлиги унча юқори эмас. Оксид плёнкасининг ўсиши дастлабки секундлар ва минутларда амалга ошади. Икки-уч соатдан сўнг плёнканинг қалинлашуви тўхтайди. Бунда плёнка қалинлигининг энг юқори қиймати темир учун 30–40Å ни, зангламайдиган пўлатлар учун эса 10–20Å ни ташкил қилади.

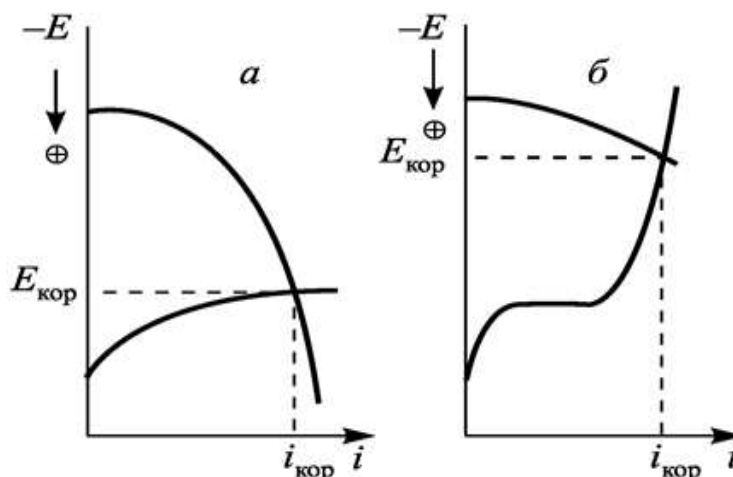
Намликнинг адсорбцион қавати юзага келганда металл сиртида электролит пайдо бўлади. Бундай шароитда жараён электрокимёвий механизм билан амалга ошади ва коррозия тезлиги сезиларли ортади. Намлик плёнкаси юпқа бўлганлиги сабабли ундан кислород бемалол ўтади ва катод жараёни осон кечади. Анод жараёнининг қийин кечишига сабаб коррозия маҳсулотларидан ҳосил бўлган экран металл сиртини химоялайди. Намлик плёнкаси жуда юпқа бўлганлиги сабабли унинг қаршилиги кичик бўлиб, жараён анод тормозланиши билан назорат қилинади (6.2-расм, а).



**6.1-расм.** Темирнинг таркиби-да 0,01% (ҳажм) SO<sub>2</sub> бўлган ҳаводаги коррозияланиши. Сақланиш муддати 55 кун.

Нам коррозия соҳасида фазавий плёнкалар ҳосил бўлганда кислород етказилиши қийинлашиб, жараённинг катод тормозланиши кузатилади (6.2-расм, б).

Темир ва пўлат одатдаги шароитда умумий текис коррозияга учрайди. Атмосфера коррозиясининг кечиш характери буюмнинг конструктив

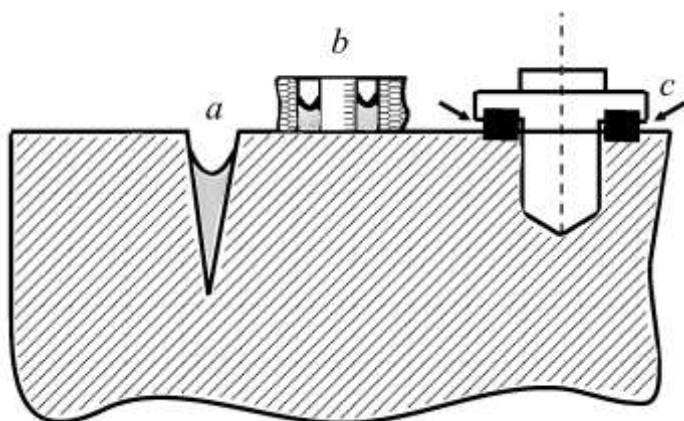


6.2-расм. Коррозия диаграммалари. а – намлик коррозия ( $\Delta E_a > \Delta E_k$ ); б – ҳўл коррозия ( $\Delta E_a < \Delta E_k$ )

хусусиятларига жуда ҳам боғлиқ. Буюмда капилляр конденсация ва намлик тўпланиб қоладиган кичик тирқишлар, дарзлар ва ёриқларнинг бўлиши атмосфера коррозиясини кучайтиради ҳамда коррозион яраларнинг ҳосил бўлишига олиб келади (6.3-расм).

Атмосферанинг газлар, агрессив моддалар ва чанг билан ифлосланиши ҳам коррозияни кескин тезлаштиради. Бундай ҳодисалар саноат марказларида, айниқса ҳаво таркибида  $SO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  бирикмалар бўлганда яққол кузатилади. Кичик концентратсиядаги  $SO_2$  нинг бўлиши ҳам коррозиянинг кучайишига сабаб бўлади. Атмосфера таркибида  $15-35 \mu\text{кг}/\text{м}^3$  миқдорда  $SO_2$  нинг бўлиши коррозия тезлигини ўнлаб, ҳатто юзлаб мартаба кучайтиради.

Ю.Н. Михайловскийнинг ишларида коррозион емирилиш интенсивлиги билан атроф муҳит параметрларини ўзаро боғловчи атмосфера коррозиясининг физикавий-механикавий модели таклиф қилинган. Унинг



6.3-расм. Буюм конструктив хусусиятлари нинг капилляр конденсация марказларига таъсири ва атмосфера коррозиясининг кучайиши. а – детал конструкциясидаги ёриқ ва тирқишлар; б – химоя копламасидаги ёки оксид плёнкасидаги ковакликлар; с – резбали ва винтли бирикмалардаги кичик бўшлиқлар;

ёрдамида металлларнинг коррозион табиатини олдиндан айтиб бериш (прогноزلаш) ва уларни коррозиядан химоялаш усулларини ишлаб чиқиш мумкин.

Металларнинг атмосфера коррозиясига чидамлилиги уларнинг кимёвий табиатига ва сиртининг ҳолатига боғлиқ. 6.1-жадвалда баъзи металларнинг шаҳар атмосферасидаги коррозион чидамлилиги тўғрисида тахминий маълумотлар келтирилган.

6.1-жадвал

**Металларнинг шаҳар атмосферасидаги коррозион чидамлилиги**

Металл	Pb	Al	Sn	Cu	Ni	Zn	Fe
Коррозия тезлиги, мкм/йил	4	8	12	12	32	50	200

Атмосфера коррозиясидан ҳимоялаш учун турли хилдаги органик, ноорганик ва металл қопламалардан фойдаланилади. Кам миқдордаги мис, никел, фосфор ва хром билан пўлатлар ва конструкцион материалларни легирлаш ҳам уларни коррозиядан ҳимоялашнинг самарали усули ҳисобланади.

**6.1.2. Металларнинг тупроқ шароитидаги коррозияси**

Турли хилдаги қувур ўтказгичлар, электр ва алоқа кабеллари, таянчлар, ер ости сиғим ва резервуарлар ҳамда шунга ўхшаш металл конструкциялари ер остига жойлаштирилади. Уларни ишлатиш жараёнида коррозия туфайли жуда катта бевосита ва билвосита зарарлар кўрилади. Масалан, биргина АҚШ да қувурларни жорий таъмирлаш ва ишдан чиққанларини алмаштириш учун йилига бир неча юз миллион доллар маблағ сарфланади.

Тупроқ ва кум мураккаб табиий муҳит ҳисобланиб, кечадиган коррозия жараёнларини ўрганишда уларнинг ўзига хос томонларини албатта инобатга олиш зарур.

Тупроқдаги сув *боғланган, капилляр* ва *гравитацион* кўринишларда бўлади. Гидратланган кимёвий бирикмалар таркибига кирувчи *боғланган сув* коррозияга таъсир этмайди.

*Капилляр намликнинг* кўтарилиш баландлиги тупроқ ғоваклигининг эффектив радиусига боғлиқ. Тупроқ сувларининг сатҳи ва тупроқнинг ғоваклиги коррозия унинг намлигини белгилайди ва коррозия тезлигига таъсир қилади.

*Гравитацион намлик* оғирлик кучи таъсирида тупроқда силжийди ва у ҳам тупроқнинг намлик режимига таъсир қилади. Турли хил тупроқлар ўзида намликни турлича сақлайди. Оғир гилли тупроқлар намликни узоқ вақт сақлай олади, кумли тупроқлар эса анча ўтказувчан бўлади.

Тупроқнинг намлиги ортиши билан унинг коррозион активлиги маълум бир критик қийматга етгунча ортади. Ундан кейинги намликнинг ортиши билан унинг активлиги камаяди. Буни катод реакциясининг бориши учун зарур бўлган кислород етиб келишининг қийнлашганлиги билан изоҳланади.

Ҳар бир турдаги тупроқ учун коррозион йўқотишлар энг катта (максимум) бўладиган намликнинг критик қиймати мавжуддир. Гилли тупроқлар учун бу қиймат 12 ва 25 % оралиғида бўлса, қумли тупроқлар учун – 10 ва 20 % интервалда ётади.

Кам намланган тупроқда омик қаршилик катта бўлганлиги сабабли электрохимий жараёнларнинг кечиши қийин бўлади. рН нинг қиймати кўпгина тупроқлар учун рН = 6,0 – 7,5 чегарасида бўлади. Бироқ, ишқорли қумоқ тупроқлар ва шўрхоқ ерлар ҳам учрайдики уларда рН = 7,5–9,5 оралиғида, шунингдек кислотали, чириндига бой қора тупроқ ва балчиклар учун рН = 3,0-6,0 интервалда ҳам бўлади. Бундай тупроқлар ўзининг юқори агрессивлиги билан ажралиб туради.

Тупроқларнинг минераллашганлиги кенг диапазонда – 10 мг/л дан 300 мг/л бўлиб, у ҳам коррозия тезлигига таъсир қилади.

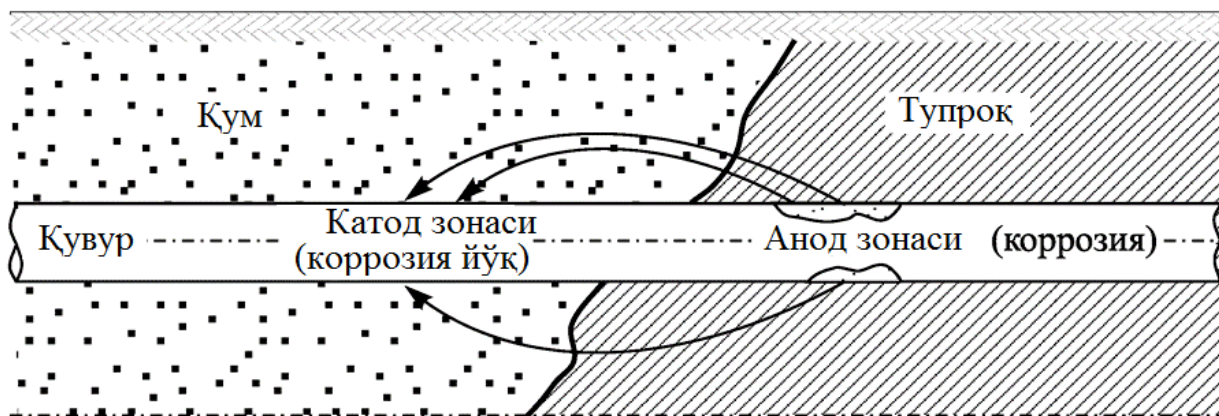
Тупроқларнинг минералогик ва гранулометриқ таркиби ҳам худди намликка ўхшаб унинг омик қаршилигига таъсир қилади. Тупроқнинг солиштира қаршилиги қуруқ қумли-гилли тупроқлар учун 240000 Ом·см, нам қумли-гилли тупроқлар учун 900 Ом·смни ташкил қилади. Демак, бу кўрсаткич ҳам тупроқнинг агрессивлигига таъсир қилади. Қуйида (6.2-жадвал) тупроқнинг электр қаршилиги билан унинг агрессивлиги ўртасидаги ўзаро боғлиқликни характерловчи маълумотлар келтирилган.

6.2-жадвал.

Тупроқ коррозион агрессивлигининг унинг солиштира электр қаршилигига боғлиқлиги ҳақидаги маълумотлар

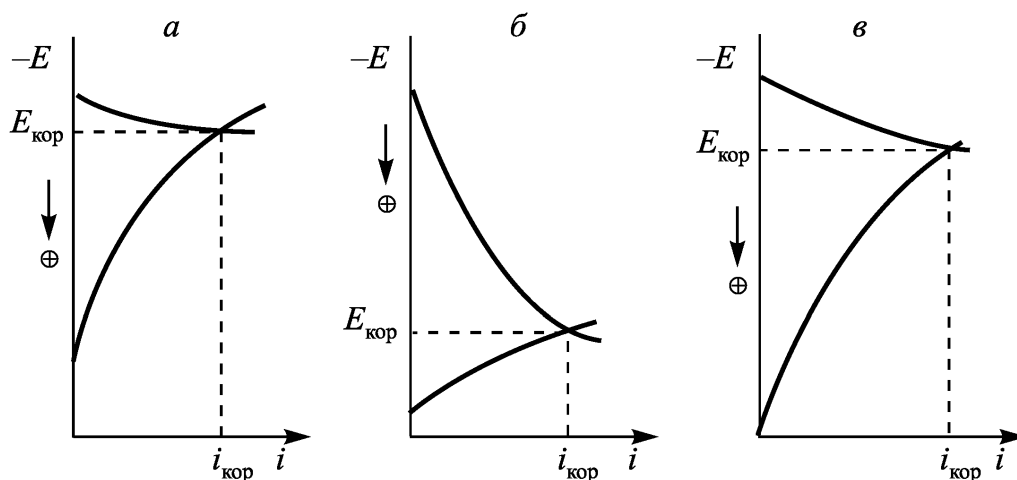
Солиштира қаршилик, Ом·см	< 500	500–1000	1000–2000	2000–10 000	> 10 000
Тупроқнинг агрессивлиги	Жуда юқори	Юқори	Сезиларли	Ўртача	Паст

Тупроқнинг ҳаво сингдирувчанлиги коррозия жараёнлари учун муҳим аҳамиятга эга. Кислороднинг етиб келмаслиги коррозия тезлигини пасайтиради. Шунинг учун қумли тупроқларнинг агрессивлиги гилли тупроқларникига нисбатан анча юқори бўлади. Агар қувур ўтказгич кетма-кет қумли ва гилли тупроқларда, яъни нотекис аэрация шароитида ётқизилган бўлса, у ҳолда микрогалваник зоналар вужудга келади: гилли қисмда – анод, қумли қисмда – катод (6.4-расм). Бунда асосан металлнинг кислород етиб келмайдиган қисмлари емирила бошлайди. Анод ва катод қисмлари бири-биридан анча узоқда жойлашган бўлиши ҳам мумкин. Улар орасидаги масофа баъзан бир неча юз метрга етади.



6.4-расм. Турли аэрацияли тувроқ шароитида ётқизилган қувур ўтказгичнинг коррозияланиш схемаси.

Кислороднинг етиб келиши қийин бўлганлиги сабабли кўпгина тувроқларда коррозия жараёни катод тормозланиши билан кечади (6.5-расм, *а*). Юмшоқ, бўш ва яхши аэрацияланувчи тувроқларда коррозия жараёни анод тормозланиши орқали кечади (6.5-расм, *б*). Анод ва катод қисмлари бири-биридан етарлича узоқда бўлган коррозион жуфтликлар ҳосил бўлганда коррозия жараёни омик тормозланиш таъсирида боради (6.5-расм, *в*).



6.5-расм. Тувроқ коррозияси шароити турлича бўлган ҳолатлар учун коррозия жараёнининг назорат турлари. *а* – кўпгина тувроқларда кузатиладиган катод назорати билан борадиган коррозия; *б* – қуруқ юмшоқ ва бўш тувроқлардаги коррозия (анод назорати); *в* – узоқ масофага чўзилган коррозия (омик назорат).

Ер ости металл иншоотлари текис коррозиядан ташқари питтинг ва коррозион ёрилиш туридаги емирилишларга ҳам учрайди. Питтинглар кўпинча тувроқ билан доимий контактда бўладиган қувурнинг пастки қисмида пайдо бўлади. Коррозион дарз кетиш ва ёрилиш катодли қутбланган қувурларнинг химоя қатламлари бузилган жойларида ҳосил бўлади. Иншоот ва қурилмаларни ер ости коррозиясидан химоялашда электрохимёвий

усуллардан, шунингдек кўп қаватли изоляцияловчи (битум, полимер) қопламаларни қоплашдан фойдаланилади.

Дайди тоқлар ер ости оммуникациялари ва саноат зоналаридаги иншоотларнинг коррозия эмирилишига жиддий сабаб бўлади. Улар ер ости ва ер усти транспорт воситаларининг (метро, трамвай, электрлаштирилган темир йўллар) ток манбаларидан, ер ости электр кабелларидан ўтаётган ток таъсирида, шунингдек уларнинг атрофида ҳосил бўладиган майдон туфайли пайдо бўлади. Дайди тоқларнинг ердан металл конструкцияларга кириш жойлари катод, металлдан тупроққа ўтадиган қисмлар анод бўлиб ҳисобланади. Агар анод соҳаси металл сиртининг катта қисмида текис тақсимланган бўлса, коррозия йўқотишлар авария ҳолатига олиб келмасда, металлмас ҳимоя қопламаларнинг бузилган жойларида коррозия эмирилиш жуда тез кечади.

Коррозия бузилишларнинг интенсивлиги бевосита дайди тоқлар катталигига боғлиқ бўлиб, Фарадей қонунига бўйсунди. Бир йил давомида 1А ток ўтиши 9 кг темирнинг эришига мос келади. Баъзи ноҳуш ҳолатларда дайди тоқларнинг қиймати 200–500 А гача бориши қайд қилинган. Бундан дайди тоқлар туфайли эмирилиш интенсивлигининг кўлами нақадар катта эканлигини кўриш мумкин.

Қувур ўтказгичларни дайди тоқларнинг таъсирдан муҳофаза қилиш учун дренажлардан фойдаланилади. Бунда дайди тоқларнинг манбаи ҳисобланган релс билан дайди тоқларни қабул қилувчи масалан, қувур ўтказгич металл шина орқали туташтирилади. Агарда дренаж ўрнатиш имкони мавжуд бўлмаса, у ҳолда чўяндан тайёрланган махсус анод релс йўналиши бўйлаб чуқур қўмилиб, у қувур ўтказгичнинг анод соҳаси билан мис ўтказгич орқали бирлаштирилади. Натижада дайди тоқлар фақат қўмилган махсус анодга таъсир этиб, қувур ўтказгични коррозиядан ҳимоя қилади. Қўшимча аноднинг таъсири ҳам етарли бўлмаган ҳолларда анод билан қувур ўтказгич орасидаги занжир оралиғига тескари йўналишдаги доимий ток манбаи уланади.

Иншоотларни ер ости коррозиясидан ҳимоялаш учун электрохимий усуллардан ҳам фойдаланилади шунингдек, уларнинг сирти изоляция қопламалари (битум, полимер, лак-бўёқ ва б.) билан қопланади.

Ер ости металл иншоотларининг коррозияси Юмшоқ, бўш ва яхши таъсирида ҳам кучайиши мумкин. Тупроқда микроорганизмларнинг икки тури мавжуд: фақат кислород бўлган жойларда фаолият кўрсатувчи аэроб ва кислород бўлмаганда ривожланувчи анаэроб микроорганизмлар. *Микроорганизмлар (аэроб ва анаэроб бактериялар) таъсири туфайли вужудга келадиган ёки кучаядиган металллар коррозияси биологик ёки биохимик коррозия дейилади.*

*Аэробик бактериялар* икки хил кўринишда бўлади: олтингугуртни оксидловчи; темирни қайта ишловчи.

Биринчи турдаги бактериялар кислотали муҳитларда ( $\text{pH} = 3-6$ ) яхши ривожланади. Улар олтингугуртни сульфат кислотасигача оксидлайди. Бунда баъзи жойлардаги сульфат кислотасининг концентрацияси 10% гача етиши мумкин. Бундай муҳит коррозия тезлигининг кескин ошишига олиб келади.

Темирни қайта ишловчи *аэроб бактериялар*  $\text{pH} = 3-6$  интервалда ривожланади. Бундай бактериялар ион ҳолдаги темирни ютиб, эримайдиган ҳолатдаги бирикмаларни ҳосил қилиб чиқаради. Бундай бирикмаларнинг нотекис ётиши сирт гетерогенлигини оширади ва ўз навбатида коррозия тезлигини кучайтиради.

*Анаэроб бактериялар* асосан тупроқ таркибида бўлган сульфатлардан олтингугуртни қайтаради. Бу турдаги бактериялар  $\text{pH}=5,5-8,0$  бўлган муҳитларда яхши ривожланади. Уларнинг фаолияти натижасида  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлари  $\text{O}_2$  нинг аралиши билан  $\text{S}^{2-}$  гача қайтарилади. Коррозион муҳитда сульфидлар ва  $\text{H}_2\text{S}$  нинг бўлиши буюм сиртида ғадир-будир темир сулфиди қатламининг ҳосил бўлишига олиб келади. Коррозия питтинг характериға эға.

### 6.1.3. Металларнинг денгиз коррозияси

Порт иншоотлари, причаллар, денгиз кемалари, денгиз орқали ўтувчи нефт қувурлари, денгиз остидан нефт қазиб олиш қурилма ва жиҳозлари денгиз коррозиясига учрайдилар.

Денгиз суви турли хилдаги тузларнинг эритмасидан, асосан натрий, магний, калий, кальций ва бошқаларнинг хлоридлари, сульфатлари ва карбонатларидан ташкил топган суюқликдир. Денгиз суви электролит ҳисобланиб, унинг электр ўтказувчанлиги етарлича юқори ва  $(2,5-3,0) \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  ни ташкил қилади, нейтрал ёки кучсиз ишқорлилик ( $\text{pH}=7,2 - 8,6$ ) реакциясига эға. Денгиз сувида хлор ионлари, яъни ион-активаторларнинг бўлиши бу муҳитнинг юқори коррозион актив бўлишига олиб келади.

Денгиз сувининг шўрлиги промилларда ( $\text{‰}$ )( $\text{‰‰}$ ) ўлчанади. *Граммларда олинган, 1000 г денгиз сувида эриган қаттиқ моддаларнинг миқдори промилл дейилади.* Бунда барча галогенлар эквивалент миқдордаги хлор билан алмаштирилган, барча карбонатлар оксидларға келтирилган, органик моддалар куйдирилган шароит назарда тутилади. У ҳолда  $1\text{‰} = 0,1\text{мас.}\%$ . Океанлар сувининг ўртача шўрлиги 3–3,5 промиллни ташкил қилади (дарё сувида бу кўрсаткич 0,03). Бироқ турли сув ҳавзаларида бу кўрсаткич сезиларли даражада четлашиши мумкин.

Масалан, тузларнинг % миқдори: Кара-Богаз қўлтиғида – 16; Қизил денгизда – 4,1; Ўртаер денгизда – 3,9; Атлантика океанида – 3,5; Қора денгизда – 1,7; Фин қўлтиғида 0,4; дарё сувида – 0,03.

Денгиз сувда коррозияни тезлаштирувчи ва сув билан контактда бўлган металл конструкциялар сиртининг қопланишига олиб келувчи жуда кўп микроорганизмлар мавжуд.

Денгиз сувида коррозия катъян катод назоратли электрохимёвий механизм бўйича боради. Ион-активаторларнинг ( $\text{Cl}^-$ ) бўлиши металл сиртида плёнка ҳосил бўлишига тўсқинлик қилади. Юқори электр ўтказувчанлик қаршиликли тормозланишнинг амалга ошишига йўл қўймайди.

Аэрацияли сув эритмасида темир коррозияланиш тезлигининг  $\text{NaCl}$  концентрациясига боғлиқлиги  $\text{NaCl} \approx 3\%$  бўлганда максимумга эришади. Коррозия тезлигининг камайиши  $\text{NaCl}$  нинг концентрацияси ортиши билан кислород эришининг пасайиши билан изоҳланади.

Оқим тезлигининг ортиши металл сирти аэрациясининг яхшиланиши сабабли коррозиянинг кучайишига олиб келади. Ундан ташқари, оқимнинг юқори тезлиги металл сиртининг эрозион емирилишига олиб келади.

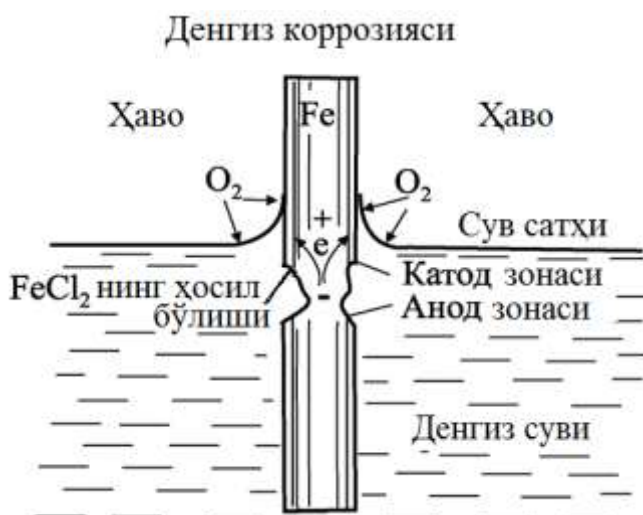
Сувнинг сирт қатламларидаги кислород миқдорининг юқорилиги кемалар ватерчизиғи соҳасида, гидроиншоотларнинг сув сатҳига яқин ёки даврий равишда ювиладиган соҳаларида коррозиянинг кучайишига сабаб бўлади (6.6-расм).

Денгиз сувида жойлашган конструкцияларга жуда кўп тирик микроорганизмлар ва ўсимликлар ёпишиб қолади ва ривожланади. Бу ҳодиса *биоқопланиш* дейилади. Микроорганизмлар коррозияга қарши қопламаларнинг хизмат муддатини камайтиради. Металл сиртидаги очилган жойларда коррозиянинг локал ўчоғлари пайдо бўлиб, унинг интенсив емирилишига олиб келади.

Денгиз коррозиясига қарши ҳимоянинг асосий турлари: коррозияга ва биоқопламаларга қарши лок-бёқ суркамалари; махсус металл қопламалари; электрохимёвий ҳимоя.

Лок-бёқ қопламалари ичида энг самаралиси таркиби чекланган эритувчили ёки умуман эритувчисиз эпоксид асосидаги қалин қаватли қопламалардир. Ҳимоя композицияларига биоқопланишга қарши таъсир килувчи моддалар қўшилади. Улар *биоцидлар* деб номланади.

Жуда кўп ҳолларда қўшимча сифатида мис(I) ва мис(II) оксидлари қўлланилади. Бироқ улар қопламадан ювилгач, денгиз сувида қийин



**6.6-расм. Денгиз сувида ботган темирнинг коррозияланиш схемаси.**



эрийдиган комплекслар ҳосил қилади. Бундан ташқари мис бирикмаларида денгиз организмлари учун кумулятив эффект мавжуд эмас.

Кемасозлик конструкцияларини ҳимоялаш учун кўпинча легирловчи кўшимчалари, масалан рух ёки латун бўлган алюминийдан фойдаланилади. Алюминий қопламалари лок-бўёқ қопламалари билан бирга қўшиб ишлатилганда денгиз сувига юқори бардошлилик ва эрозияга қарши кучли чидамлилиқ намоён қилади.

Денгиз коррозиясига қарши курашда электрокимёвий ҳимоя усуллари (ГОСТ 26301-85 ва ГОСТ 26251-84) ҳам кенг қўлланилади. Йирик кемалар ва паромларнинг сув ости қисмлари катод ҳимосининг автоматлаштирилган тизимлари орқали денгиз сувидан ҳимоя қилинади.

## **6.2. Машина ва жиҳозларнинг коррозия эмирилишига конструктив факторларнинг таъсири**

Кимёвий ишлаб чиқариш объектларини лойиҳалашда агрессив муҳит характерининг таҳлилига ва жараённинг бориш шароитларига асосий эътибор қаратилади. Бу маълумотларга таянган ҳолда етарлича кимёвий қаршилиққа эга бўлган материаллар танланади.

Алоҳида узеллар ва аппаратларни рационал лойиҳалашга ҳам худди шундай эътибор қаратилади. Нотўғри лойиҳалаш кўп ҳолларда коррозиянинг келиб чиқиши ва ривожланишига олиб келувчи зазор, кучланиш концентрацияси, зўриқиш, йиғилиб қолиш зоналарининг ҳосил бўлиши ва бошқа нохуш ҳодисаларга сабаб бўлиши мумкин.

Шу билан бир қаторда, аппаратларнинг алоҳида узелларини лойиҳалаш босқичида коррозия жараёнларининг олдини оловчи ёки секинлаштирувчи конструктив ечимларни қўллаш лозим.

Асбоб-ускуналарни лойиҳалашда металл сиртига ишлов бериш характерига, тули хил материаллардан тайёрланган туташтирвчи элементларнинг контактига, иссиқлик ташувчининг тақсимот режимига, тирқиш ва зазорларнинг бор-йўқлигига, йиғилиб қолиш зоналарининг ҳосил бўлишига алоҳида эътибор қаратиш керак.

Яхши силлиқланган металл сирти текис бўлиб, турли хилдаги дефектлардан холи бўлади. Чунки қирилган, нотекис, ғадир-будир сиртларда чанг, ифлосланиш, модда тўпланиши каби нохуш ҳоллар кўп кузатилади. Айниқса бу минерал ўғитлар ва турли хилдаги тузлар ишлаб чиқаришда характерлидир. Бу соҳада ишлатиладиган металл жиҳозлар ва конструкцияларнинг ғадир-будир сиртлари кўпинча турли хилдаги қопламалар билан қопланади. Бироқ қоплама гигроскопик ва намликни осонликча ютувчи модда бўлса, улар металл сиртига ёпишиб, кучли коррозияга олиб келувчи юқори концентрацияли электролитдан иборат

маҳаллий ўчоғларни ҳосил қилиши мумкин. Буларнинг олди олинмаса, металл сиртида локал коррозия ўчоғлари ҳосил бўлади.

Лойиҳаланадиган курилмада турли хил металлдан тайёрланган деталлар мавжуд бўлса, уларда контакт коррозиясининг юз бериш хавфи туғилади. Бундай ҳолларда лойиҳалаш босқичида албатта бу ҳодисаларнинг лодини олиш чора-тадбирлари белгиланиши лозим.

Ҳар хил металлдан яратилган контактлашувчи деталлар турли катталиқдаги сиртлар билан тайёрланади. Бунда кичик сиртли детал асл металлдан тайёрланади (вентилларнинг втулкалари, поршенли насосларнинг ҳалқалари ва б). Агар бунинг иложи бўлмаса, у ҳолда бегона металллар бир-биридан изоляцияланади. Электрокимёвий контакт коррозиясининг олдини оладиган бундай усуллар кўпинча қурилиш конструкцияларидаги қувур ўтказгичларни лойиҳалашда қўлланилади. Бунда прокладка материалга алоҳида эътибор берилиши лозим. У ҳароратга ва механик юкларга чидамли, ейилишга нисбатан юқори бардошли, ишчи муҳитга нисбатан инерт бўлиши керак. Айниқса контакт узелларини монтаж қилишда алоҳида эътибор қаратиш керак. Монтаж жараёнида йўл қўйилган арзимас хатолик йиғилиб қолиш зоналарининг, тирқиш ва коррозиянинг кучли ривожланишига сабаб бўладиган бошқа ўчоғларнинг ҳосил бўлишига олиб келиши мумкин.

Кўпгина кимёвий ва нефткимёвий жараёнлар юқори ҳароратларда амалга оширилади. Бундай шароитларда кечадиган коррозия жараёнлари ўзига хос хусусиятларга эга. Ҳарорат қанча юқори бўлса, металлнинг бузилиш интенсивлиги шунча юқори бўлади. Иссиқлик ўтказувчанлик шароитида коррозия тезлиги икки мартабагача ўзгариши мумкин.

Иссиқлик ташувчилар ва хладагентларга тегиб турган металл сирти яна кўшимча коррозия таъсирга учрайди. Масалан, иссиқлик алмаштиргичлар энг чидамсиз курилмалардан ҳисобланади. Иссиқлик алмаштиргичлар ишдан чиқилишининг 92 % да иссиқлик берувчи сиртнинг коррозияси сабаб бўлади.

Металл билан технологик муҳит ҳарорати бир хил бўлган изотермик шароитларда температуранинг маълум бир интервалида, пассивлашадиган металл коррозия тезлигининг кескин ортиш ва эркин коррозия потенциалининг пасайиш эффекти кузатилади. Металл пассив ҳолатдан актив ҳолатга ўтади. Я.М.Колотыркин таърифи бўйича бу ҳарорат ўз-ўзидан *пассивланишнинг чегаравий температураси* дейилади. Демак, реал шароитларда металлнинг мустақил равишда пассив ҳолатга ўтадиган имкониятини сақлаб қоладиган ҳароратларда ишлашга ҳаракат қилиш зарур.

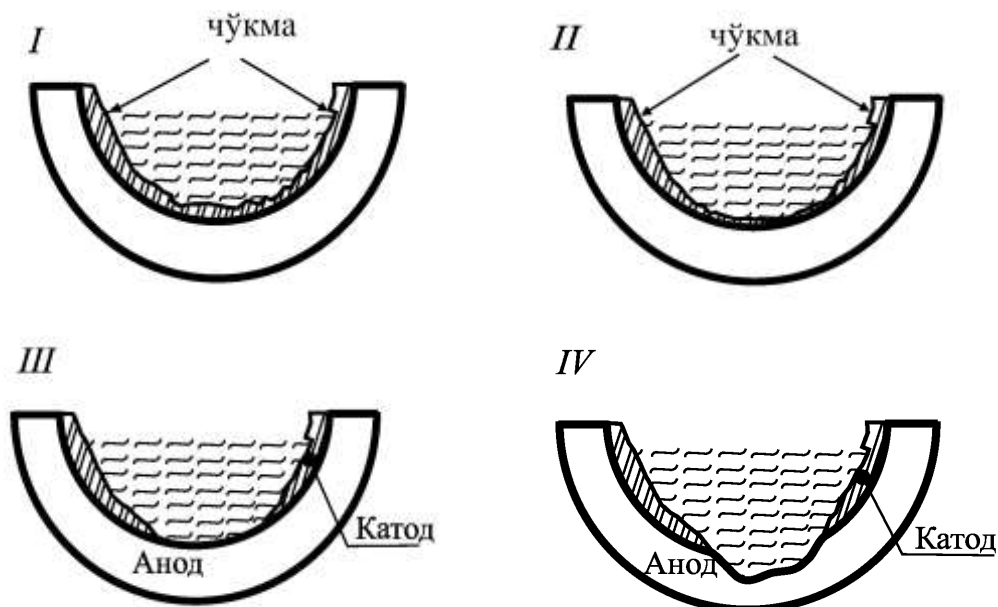
Курилмаларни лойиҳалаш пайтида иссиқлик оқимининг рекис тақсимланишини ҳисобга олиш лозим, локал қизиб кетиш ҳолларининг олдини олиш зарур. Юқори ҳароратли жараёнлар кечадиган кўпгина саноат курилмаларида бу нарса ҳисобга олинган.

Масалан, аммиак ишлаб чиқаришда 350–420 °С ҳароратда реакция борадиган катализатор қутиси билан аппарат корпуси орасида совуқ газ циркуляцияси учун махсус канал лойиҳалаштирилган. Бундай лойиҳалаш усули билан аппарат деворлари қизиб кетишининг олди олинади. Агарда кимёвий жараёнда кўйлакли реакторлар қўлланиладиган бўлса, у ҳолда иссиқлик узативчи сирт бўйлаб суёқликнинг текис силжиши учун аралаштиргичлар ўрнатилади. Ушбу тамойилларга асосланиб, технологик муҳитларни қиздирувчи зеевиклар, қайнатгичлар ва конденсаторлар совитувчи суёқлик ичига жойлаштирилади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларида коррозиянинг питтинг, тирқиш ва кристаллараро каби локал кўринишлари энг кўп тарқалгандир.

Конструкцияларни лойиҳалашда металларнинг пайвандланиши, баъзи нуқталарда критик температурадан ҳам юқори ҳароратнинг, чокларнинг ҳосил бўлиши каби ҳолларнинг юзага келишига алоҳида эътиборни қаратиш зарур. Қурилмада зазор ва тирқишларнинг қолиши коррозион нуқтаи назардан энг хавфли камчилик ҳисобланади, чунки улар тирқиш коррозиясига сабаб бўлади.

Аппарат ва қувур ўтказгичларда тўпланиб, йиғилиб қолиш зоналарининг вужудга келиши сабабли, нотекис аэрация микропараларининг ҳосил бўлиши ҳисобига коррозиянинг келиб чиқиш имкониятларини кескин оширади. Бу зоналарда турли хилдаги чўкиндилар ва бирикмалар ҳосил бўлади (6.7-расм). Қувур ўтказгичлар ички юзасининг энг хавфли коррозион емирилиш турларидан бири ариқчали коррозия бўлиб, унинг ўчоғи кенглиги 5 см гача,



**6.7-расм. Ариқчали коррозия ҳосил бўлишнинг асосий босқичлари:**

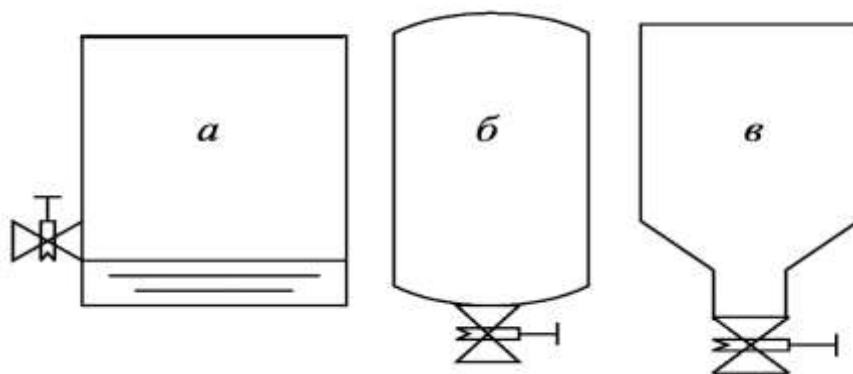
I –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{FeS}$  чўкмаларининг ҳосил бўлиши; II– қувур пастидаги эрозион ўйилиш; III–галваножуфтликларнинг ҳосил бўлиши ( $\Delta E \approx 200$  мВ); IV–қувур пастида ариқчаларнинг ҳосил бўлиши.

узунлиги 10 – 12 см гача борадиган тўғри бурчакли ариқчалардан иборат. Бундай коррозия ўчоғлари асосан қувурнинг ички-остки томонларида ривожланади.

Ариқчали коррозиянинг емириш тезлиги жуда юқоридир (4–8 мм/йил, баъзи ҳолларда 18 мм/йилгача). Коррозиянинг бу туридан кўпгина нефт қувур ўтказгичлари тез-тез ишдан чиқади ва катта экологик зарарларга сабаб бўлади.

Коррозиянинг бу туридан нефт ва нефт маҳсулотларини ва бошқа суюқликларни сақлаш учун мўлжалланган цистерналар, резервуарларнинг суюқлик ва чўкиндилар тўпланиб қоладиган жойлари ҳам зарар кўради. Буларнинг олдини олишнинг энг самарали усули тўпланишларга йўл қўймайдиган, чўкмаларни тўкишга имкон берадиган жиҳозларни рационал лойиҳалашдир.

6.8-расмда суюқлиги пастдан бўшатиладиган аппаратларнинг вариантлари келтирилган. Кўришиб турибдики, улардан «а» вариант энг муваффақиятсиз, суюқликни қийинчиликсиз ва тез бўшатадиган – «в» эса қулай вариант ҳисобланади.



6.8-расм. Суюқлиги пастдан бўшатиладиган аппаратларнинг конструкциялари.  
*a* – ноқулай вариант; *b* – яхшиланган вариант; *v* – қулай вариант;

Хом нефтни сақлашга мўлжалланган хом ашё резервуарлари углеродли ва паст легирланган пўлатлардан тайёрланган бўлиб, ташқи атмосфера шароитида ва ички агрессив муҳит таъсирида коррозияга учрайди. Хом нефт сақланаётган резервуарларда нефт тарқбида бўлган газлар ( $H_2S$  ва  $CO_2$ ) ҳамда қалам сувининг ажралиши юз беради. Натижада резервуарларнинг тубида ва юқори поясида интенсиф равишда коррозия жараёнлари кечади. Натижада агрессив  $H_2S$  ва  $CO_2$  газлари ҳамда конденсацияланган сув таъсирида коррозия тезлиги дастлабки 1–2 йил давомида йилига 2 мм гача, 5–6 йилдан кейин эса 4–5 мм гача етиши мумкин. Нефт билан контактда бўлган ўрта қисмида коррозия тезлиги анча паст бўлади.

Юқори ҳароратларда ( $130^{\circ}C$ ) ва 0,9 –1,6 МПа босим остида эксплуатация қилинадиган электродегидраторларда ҳам шундай жараёнлар кечиб, улардаги питтинг ва ярали коррозиянинг тезлиги 0,5–4 мм/йил гача етиши мумкин.

### 6.3. Технологик муҳитлардаги металлар газ коррозиясининг баъзи ҳоллари

Кимё саноатида кўпгина технологик жараёнлар ёки уларнинг маълум босқичлари газ муҳитида юқори ҳарорат ва юқори босим остидаги шароитларда кечади.

100 дан 200–300°C гача бўлган ҳароратларда кўпгина газлар унчалик хавфли эмас. Газларнинг кимёвий фаоллиги ва металлар газ коррозиясининг тезлиги 200–300°C дан юқори ҳароратларда кескин ортади. Масалан, хлор 200°C дан юқори водород хлориди – 300°C дан юқори, олтингугурт диоксиди, азот диоксиди, олтингугурт буғлари эса – 500°C дан юқори ҳароратларда темир қотишмаларига таъсир қила бошлайди.

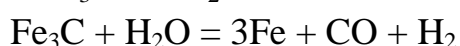
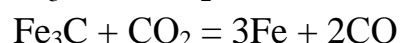
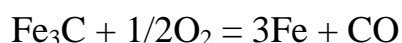
Технологик газ муҳитларининг бундай ўзига хослиги ва уларнинг саноатда кенг ишлатилиши металларнинг реал шароитларда ўзини тутишини батафсил кўриб чиқишни тақозо этади.

#### 6.3.1. Пўлатнинг углеродсизланиши

Юқори ҳароратларда газ фазасидаги кўпгина технологик жараёнлар пўлатнинг декарбюризацияси ва углеродсизланиши туфайли мураккаблашади. Бу ҳолнинг моҳияти шундан иборатки, 650 °C дан юқори ҳароратларда оксид плёнкасининг ҳосил бўлишидан ташқари плёнкага тегиб турган металл сиртининг углеродга танқислиги вужудга келади. Яъни, пўлатнинг сирт қатламларида углерод миқдори камаяди. Бундай жараён таркибида O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ёки CO бўлган оксидловчи атмосферада кўпроқ кузатилади. Бундай ҳолат водород муҳитида ҳам кузатилиши мумкин.

Декарбюризация кўпгина кимёвий жараёнлар билан бирга амалга ошиши мумкин. Масалан, олтингугурт хом ашёсини ўтда тоблаб пишириш 750–850°C, турли оксидловчи муҳитларда (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO) метаннинг конверсияси 700–1000°C ҳароратларда амалга оширилади. Бундай жараёнлар қаторига кўп турдаги ёниш жараёнларини, оксидловчи крекингни ва бшқаларни киритиш мумкин. Декарбюризация пўлатнинг қаттиқлигини ва мустаҳкамлигини пасайтиради, ундан тайёрланган буюмларнинг хизмат муддатини камайтиради.

Углеродсизланиш ҳодисасининг асосида цементит – Fe<sub>3</sub>C нинг қайтарилиш жараёни ётади:



650°C дан юқори ҳароратда углероднинг диффузия коэффициенти металл атомларининг диффузия коэффициентидан катта бўлади. Натижада ҳаракатчан металл атомлари реакция зонасига диффузияланади ва оксидлов-

чи билан таъсирлашади. Углероднинг пўлатдаги диффузия тезлиги металлнинг оксидланиш тезлигидан катта бўлади. Ҳимоя плёнкаси ҳали ҳосил бўлмаган дастлабки вақтларда декарбюрзация кузатилмайди. Металл закининг ҳосил бўлиши секинлашганда углеродсизланаётган пўлат қатламининг қалинлашуви кузатилади. Қўшимча қиздириш давомида бу қатламнинг чуқурлиги бир неча миллиметргача бориши мумкин.

Газ муҳитидаги  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  ва  $\text{O}_2$  нинг миқдори ортиши билан декарбюрзацияланиш даражаси ортади. Аксинча, газ муҳитидаги  $\text{CO}$  ва  $\text{CH}_4$  миқдорининг ортиши углеродсизланиш даражасини пасайтиради.

Пўлатга алюминий ва вольфрамнинг қўшилиши декарбюрзацияга мойилликни пасайтиради. Хром, марганец ва кобалт жараёнга кам таъсир кўрсатади, кремний, никел, ванадий эса деярли таъсир қилмайди.

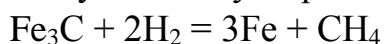
### 6.3.2. Водород коррозияси

Водород коррозияси ҳарорат  $200^\circ\text{C}$  дан, ва босим 300 МПа юқори бўлган водородли муҳитларда кечадиган кўпгина технологик жараёнларга йўлдош ҳисобланади. Кўмирни ва нефтни гидрирлаш, аммиак ва метанолни синтез қилиш жараёнлари шулар жумласидандир. Металлнинг водород билан жароҳатланиши икки хил кўринишда кузатилади: водородли мўртлашув ва водородли коррозия. Кўпинча бу ҳодисаларнинг иккаласи бир йўла кузатилади. Агар газ таркибида аммиак бўлса, металлнинг азотланиш ҳодисаси ҳам кузатилиши мумкин.

Металлнинг азот-водород аралашмаси билан юқори ҳарорат ва босим шароитидаги контактида молекуляр водород металл сиртида диссоцияланади. Ҳосил бўлган атом ҳолидаги водород металл кристалл панжарасида диффузияланади ва унда эрийди. Температура пасайганда эрувчанликнинг камайиши туфайли водород металл ичида газ ҳолатга ўтишга интилади. Бундай ҳолатда металлда катта кучланиш вужудга келади ва унда қайтмайдиган мўртлик келиб чиқади.

Водород коррозияси пўлатнинг карбид ташкил этувчиси билан водороднинг ўзаро кимёвий таъсирлашуви натижасидир. Ташқаридан водород коррозиясининг кўриниб қолиши пўлат сиртига зиён етмаган ҳолда мустаҳкамлигининг кескин пасайишини билдиради. Водород коррозиясининг ҳосил бўлишини қуйидаги бир неча ҳодисалар билан боғлайдилар:

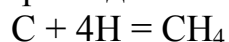
- металлнинг ташкил этувчиси бўлган цементит  $\text{Fe}_3\text{C}$  нинг қайтарилиши оқибатида пўлатнинг углеродсизланиши:



- водороднинг пўлат ичига кириши орқали ва темирда каттик мўрт водород эритмасининг ҳасил бўлиши;
- ғовакликларда тўпланадиган  $\text{CH}_4$  туфайли ҳосил бўлган ички босим сабабли доналар чегарасида дарзларнинг пайдо бўлиши.

Экспериментал тадқиқотлар шуни кўрсатадики, водород коррозияси ташқи белгиларининг пайдо бўлишигача инкубацион давр мавжуд бўлиб, шароитга боғлиқ ҳолда у 1000 соатгача давом этиши мумкин.

Ҳарорат 300°C дан юқори бўлганда металл сиртида углеродсизланиш реакцияси билан бир қаторда водороднинг хемосорбция жараёни кечади ва унинг атомларга ажралиши кузатилади. Водород атомининг диаметри 0,1 нм бўлиб, у юқори ҳаракатчанликка эга. Металлнинг ичига кириб, водород атомлари темирда каттиқ эритма ҳосил қилади, шунингдек қисман эркин углерод атомлари билан реакцияга киришади:



Углеродсизланиш реакциясидан фарқли ҳолда  $\text{CH}_4$  ҳосил бўлиши металл сиртида эмас балки унинг ичида юз беради. Юқори ички босим ҳосил бўлади. Натижада металл сиртида кабариклар ва ёриқлар пайдо бўлади.

Термодинамик ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, 300-600° С ҳарорат ва водороднинг юқори босимида цементитнинг тўла парчаланиши кузатилади.

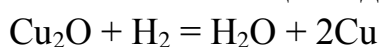
$\text{CH}_4$  нинг ҳосил бўлиш реакцияси қайтувчан бўлиб, ҳажмнинг камайиши билан боради. Шунинг учун босимни ошириш бу реакциянинг мувозанатини ўнг томонга силжитиб, реакция бориш температурасининг чегарасини пасайтиради. Қайтарувчан атмосферада 50МПа босимгача ишлайдиган нефт-кимё ишлаб чиқаришида ишчи температурани 200 °С гача этиб чегаралаб кўйилади.

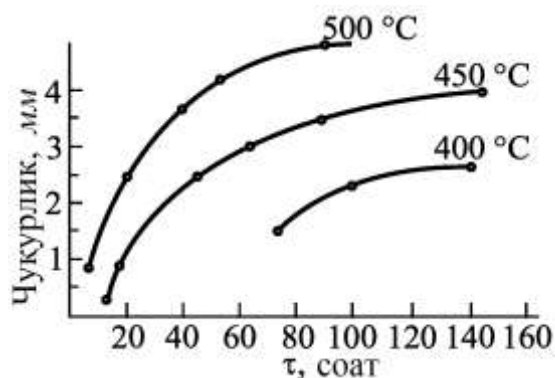
Водород коррозиясининг тезлиги пўлатнинг углеродсизланиш чуқурлигига сезиларли даражада боғлиқдир. Бу жараёнга водороднинг босими, температураси ва бошқа катталиклар ҳам таъсир кўрсатади (6.9-расм).

Тиклаш муҳитларидаги оддий конструкцион материалларга 20 ва 30ХМА пўлатлари киради. Улар 300 °С ҳароратгача ишлатилиши мумкин. Янада юқори ҳароратларда ишлатиладиган пўлатларга легирловчи қўшимчалар киритилади. Пўлатнинг углеродсизланишга қаршилигини ошириш учун унга қўшимчалар сифатида хром, молибден, ванадий каби элементлардан фойдаланилади. Хром водороднинг металлга киришига қўшимча қаршилик кўрсатади.

6.10-расмдан кўринадики, хромли пўлатга водороднинг киришига газ ҳарорати ва металлдаги хром миқдорига боғлиқ бўлади. Темир қотишмаларда 6 % хромнинг мавжуд бўлиши 600°C ҳарорат ва 30 МПа босимда қотишманинг етарлича юқори киевий бардошлилигини таъминлайди.

Мис ва унинг қотишмалари ҳам водород коррозиясига учрайди. Бу ҳолат кўпгина мис қотишмаларининг таркибида қўшимча сифатида мавжуд бўлган  $\text{Cu}_2\text{O}$  мис оксидининг қайтарилиши билан изоҳланади:





**6.9-расм.** Водороднинг босими 20 МПа бўлганда 35 маркали пўлат углеродсизланиш чуқурлигининг (мм ларда) турли температураларда вақтга боғлиқлиги.



**6.10-расм.** Водород пўлатга кириш чуқурлигининг ундаги хром миқдорига боғлиқлиги. ( $H_2$ -нинг босими 30 МПа, синаш вақти 300 соат)

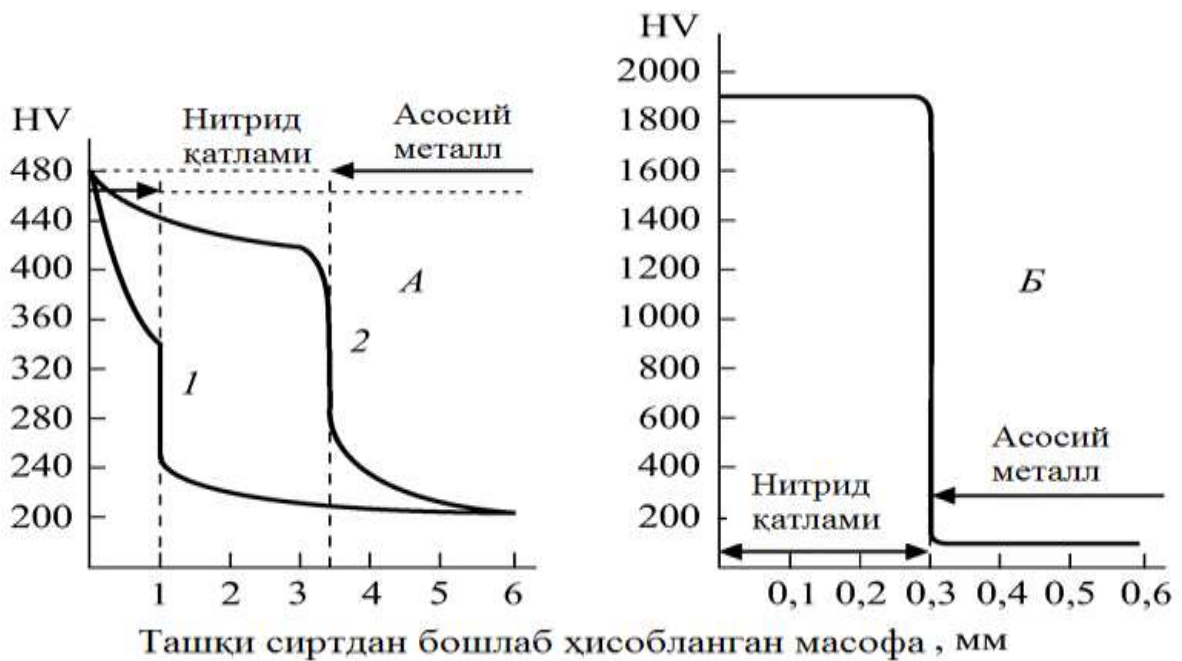
Ҳосил бўлган сув буғлари металл ичида юқори босим ҳосил қилиши туфайли ёриқларнинг ҳосил бўлишига ва металл пластиклигининг йўқолишига сабаб бўлади. Бу ҳодисанинг олдини олиш учун қотишмадаги мис оксидининг миқдорини камайтириш керак бўлади.  $Cu_2O$  нинг концентрацияси 0,01 % дан кам бўлганда водород коррозияси ҳодисаси деярли кузатилмайди.

Аммиакни синтез қилиш жараёнида азот-водород-аммиак аралашмаси пўлат учун соф водородга нисбатан хавфлироқ ҳисобланади. Бундай ҳолларда водород коррозиясининг барча турларидан ташқари пўлатнинг азотланиши ҳам амалга ошади. Аммиак синтези колоннасининг иш шароитида нафақат аммиакнинг ҳосил бўлиши, балки металл сиртида атом ҳолдаги азотнинг ҳосил бўлиши билан борадиган аммиакнинг диссоциацияланиши юз беради. Бунда азот атомлари темир ёки легирловчи элемент атомлари билан ўзаро таъсирлашиб нитритлар ҳосил қилади. Натижада пўлатнинг сирти азотга тўйиниб, мўрт бўлиб қолади.

Пўлатлар таркибидаги хром миқдорининг ортиши билан водород ва аммиакнинг таъсир даражаси камаяди. Пўлат сиртида 11 % ортиқ хромнинг бўлиши қаттиқ ва зич жойлашган нитрит қатламининг ҳосил бўлишига олиб келади ва металл ичкарасига азотнинг диффузияланишига тўсқинлик қилади. Бунинг тасдиғини 6.10- ва 6.11-расмларда келтирилган маълумотлардан кўриш мумкин.

18Х3МВ русумли пўлатда нитрит қатламининг чуқурлиги 3–4 мм ни ташкил қилиб, унинг зичлиги асосий металланикага нисбатан 2 марта катта. Х18Н10Т пўлатдан тайёрланган деталларда эса нитрит қатламининг чуқурлиги 0,3 мм бўлиб, унинг зичлиги асосий металланикага нисбатан 10 марта катта.



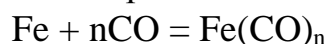


**6.11-рasm.** HV қаттиқлигининг қалинлик бүйича ўзгариши. А – аммиак синтези қоланнасидаги 18X3МБ пўлатдан тайёрланган термопара чўнтаги девори, 1— 500–550 °С да 14000 соат ишлаганда; 2—51840 соат ишлаганда. Б – аммиак синтези қоланнасидаги X18N10Т пўлатдан тайёрланган Фильд трубкаси девори, ≈ 500 °С да 30800 соат ишлаганда.

### 6.3.3. Карбонил коррозияси.

Карбонил коррозияси юқори ҳарорат ва юқори босим остида углерод (II) иштирокида борувчи технологик жараёнларда кузатилади. Бундай жараёнларга метил ва бутил спиртларини олиш, метан ва углерод оксиди конверсияси мисол бўлади.

Нормал шароитларда CO металлларга нисбатан инерт ҳисобланади. Юқори ҳарорат ва юқори босимларда эса углерод оксиди кўпгина металллар билан реакцияга киришиб, карбониллар ҳосил қилади. Маслан, темир билан:



Темир CO билан учта бирикма ҳосил қилиши мумкин: *тетракарбонил* –  $\text{Fe}(\text{CO})_4$ , *пентакарбонил* –  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  ва *нонакарбонил* –  $\text{Fe}(\text{CO})_9$ . Бу учала бирикма ҳам барқарор эмас ва улар ҳарорат ортиши билан парчаланади. Булар ичида барқарорлиси –  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  бўлиб, 140°C дан юқори ҳароратда деярли тўлиқ Fe ва CO га диссоцияланади (6.12-рasm).

Углерод (II) оксиди билан юқоридагиларга ўхшаш бирикмаларни кўпгина металллар билан ҳосил қилиши мумкин. 6.12-рasmда турли шароитларда темир пентакарбонили –  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  нинг ҳосил бўлиш тезлиги ифодаланган. Барча эгриликлар ўзининг максимумига эга.

Эгриликларнинг чап томони-даги ўсувчи қисми ҳарорат кўтарилиши билан жараён тезлигининг ортишини кўрсатади. Ўнг томонидаги пасайиш эгриликлари пентакарбонил  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  нинг парчаланиш босқичини ифодалайди.

Карбонил коррозияси 5 мм чуқурликкача металл сирт қатламининг юмшашига ва бузилишига сабаб бўлади. Сиртдан кўп узоқ бўлмаган чуқурликларда металл структурасининг ўзгаришлари кузатилмайди.

700°C гача бўлган ҳарорат ва 35 МПа гача бўлган босимларда карбонил коррозиясидан ҳимояланиш мақсадида таркибида 30 % Cr бўлган хромли пўлат, 23 % Cr ва 20 % Ni бўлган хромникелли пўлат ва марганец кўшилган бронзадан фойдаланилади. Пастроқ параметрли жараёнларда камроқ легирланган X18H9 турдаги пўлатлардан ҳам фойдаланиш мумкин.

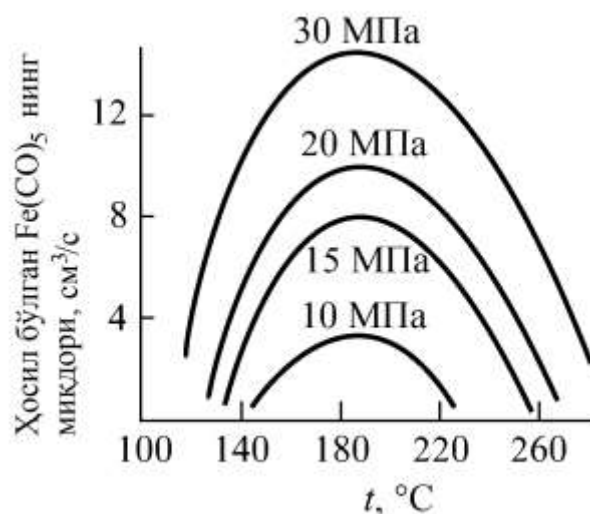
Мочевина  $\text{CO}(\text{NH}_2)$  ни синтез қилишда хомашё сифатида  $\text{NH}_3$  ва  $\text{CO}_2$  хизмат қилади. Жараён 175-190 °C ҳарорат ва 20 МПа босим остида амалга оширилади. Асосий аппаратларни тайёрлашда турли марказдаги хромли пўлатлар ярамайди. Бундай шароитларда молибден билан легирланган ва хромникелмолибденмисли пўлатлар энг юқори чидамликка эгадир. Газларни водород сулфидидан синчиклаб тозалаш ва тизимга мавжуд  $\text{CO}_2$  га нисбатан 0,5 – 1,0 % ҳажмда кислород киритиш коррозия бардошлиликни оширишнинг муҳим омилларидан ҳисобланади.

6.3-жадвалда  $\text{CO}(\text{NH}_2)$  ни синтез қилиш шароитида материалларда кечадиган коррозия тезлиги ҳақидаги маълумотлар келтирилган.

6.3-жадвал

100 % ли ортиқча  $\text{NH}_3$  шароитида  $\text{CO}(\text{NH}_2)$  синтез қилишда металллар ва қотишмаларнинг коррозияланиш тезликлари

№	Металл ёки қотишма	$\text{CO}_2$ га нисбатан $\text{O}_2$ нинг миқдори, % ҳажм	Температура, °C	Коррозия тезлиги, мм/йил
1.	ООХ16Н15М3	0,5 – 0,6	190	0,06
2.	X17H13M2T	0,5 – 0,6	190	0,08
3.	X17H13M3T	0,5 – 0,6	190	0,05
4.	OX11H16M3T	0,5 – 0,6	190	0,04
5.	Ст.3	0,5 – 0,6	150	>20
6.	OX13	0,5 – 0,6	190	>15
7.	Тантал	0,5 – 0,6	165	0,0
8.	Молибден	0,5 – 0,6	190	1,8



6.12-расм. Турли босимларда темир пентакарбонил ҳосил бўлиш тезлигининг ҳароратга боғлиқлик графиги

### 6.3.4. Олтингугурт коррозияси

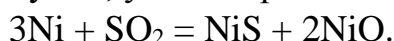
Олтингугурт ва унинг бирикмалари – олтингугурт ангидри ( $\text{SO}_2$ ), водород сулфиди ( $\text{H}_2\text{S}$ ), меркаптанлар, тиоспиртлар ва бошқалар етарлича агрессив, коррозия фаол моддалар ҳисобланади. Юқори ҳароратли газ коррозиясида водород олтингугурти энг фаол компонентдир. У ҳаттоки олтингугурт диоксидидан ҳам хавфли моддадир.

Олтингугурт гази ( $\text{SO}_2$ ) сульфат кислотаси ишлаб чиқаришда дастлабки маҳсулот ҳисобланади. Уни олтингугурт колчеданини пишитиш, олтингугуртни ёқиш, металлургия ишлаб чиқариш корхоналари чиқинди газларини утилизациялаш жараёнларида олиш мумкин. Эритиш цехларининг чўян жиҳозлари, колчедан печларининг кураклари, қозон-утилизаторлар, курук электрофилтрлар, сульфат кислотаси ишлаб чиқаришида куйинди газ мўрилари олтингугуртли газ коррозиясидан тез-тез ишдан чиқади.

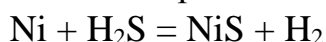
Қора металлларнинг  $300^\circ\text{C}$  дан юқори ҳароратлардаги олтингугуртли газ коррозияси натижасида  $\text{FeS}$ ,  $\text{FeO}$  ва  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  дан иборат металл заки қатлами ҳосил бўлади.

Муҳит ҳарорати  $400^\circ\text{C}$  дан ошганда чўяндан тайёрланган буюмлар ҳажмининг дастлабки ҳажмига нисбатан 10 % гача ортиши кузатилади. Бунда буюм материалининг мустаҳкамлиги кескин пасаяди. Бу ҳодиса чўяннинг “ўсиши” дейилади ва у металлнинг ички оксидланиши билан тушунтирилади. Чўяннинг максимал ўсиши  $700^\circ\text{C}$  ҳароратда кузатилади. Юқори легирланган хромли чўянлар, “пироферал”, “чугал” деб номланадиган карбидли чўянлар ўсишга чидамли ҳисобланади.

Олтингугуртли газ юқори ҳароратларда никелни оксидлайди. Бунда тобланган зақ қатлами ҳосил бўлиб, унинг таркибига  $\text{NiS}$  ва  $\text{NiO}$  киради:



Плёнканинг ўсиши параболик қонуният бўйича боради. Олтингугуртли никел водород сулфидининг металл билан таъсирлашиши туфайли ҳосил бўлади



Никел сулфиди металл ҳолдаги никел билан эриш температураси  $625^\circ\text{C}$  бўлган, осон эрийдиган эвтетика ҳосил қилади. Таркибида никел бўлган бўлган пўлатларда бундай эвтетиканинг ҳосил бўлиши асосан металлнинг емирилишига сабаб бўлувчи доналар чегарасида амалга ошади.

Таркибида 15% дан ортиқ никел бўлган пўлатлар олтингугуртли газлар таъсирини жуда сезувчан бўлади. Оксидланиш жараёнида улар механик мустаҳкамлигини йўқотади. Шунинг учун олтингугурт диоксиди бўлган газ муҳитларида  $400^\circ\text{C}$  гача бўлган ҳароратларда углеродли пўлатлар, янада юқори ҳароратларда – хромли пўлатлар ишлатилади.

Иссиқликка бардошли энг кўп ишлатиладиган пўлатлар – 4Х9СА, Х6СЮ, Х17, ОХ17Т, Х18СЮ, Х25Т ҳисобланади.  $800-1000^\circ\text{C}$  дан юқори ҳароратларда интенсив равишда металл закининг (окалина) ҳосил бўлиш

жараёни кетади. Бундай муҳитларда кўпинча иссиқликка бардошли Х5М, Х6СМ, Х18Н12Т, Х23Н18 пўлатлар ишлатилади. Бундай қотишмалар учун ишчи ҳарорат 550-600 °С (Х23Н18 учун – 1000 °С) ни ташкил қилади.

Куруқ олтингургуртли газ алюминий билан жуда секин таъсирлашади. Шунинг учун иссиқлик алмаштиргичлар ва контакт аппаратларининг деталлари ва қисмларини тайёрлашда алюминий ишлатилади.

Хона ҳароратидаги куруқ водород сулфиди одатдаги углеродли пўлатлар учун хавф туғдирмайди. Ҳароратнинг кўтарилиши билан углеродли пўлатлар учун водород сулфиди коррозиясининг хавфи сезиларли ортади. 300°С дан юқори ҳароратли олтингургурт сақловчи газ муҳитларида темир кучли коррозияга учрайди.

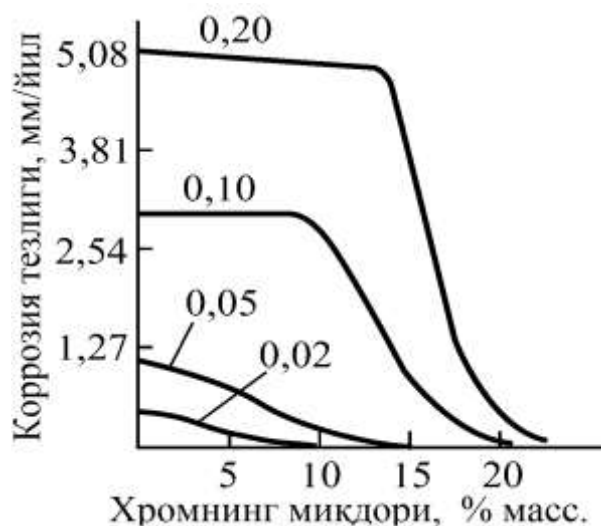
Пўлатларни >12 % миқдорда хром билан легирлаш уларнинг 700-800 °С ҳароратгача коррозияга қарши бардошлилигини оширади. Хромли пўлатларнинг коррозияланишида металл заки ҳосил бўлиб, унинг сиртки юзаси олтингургуртли темирдан иборат бўлади. Бу қатламда хром деярли мажуд бўлмайди. Оксидланган хромнинг ҳаммаси ички қатламда йиғилган бўлиб, у ҳимоявий хусусиятга эга бўлади. Таркибида 25-30 % миқдорда хром бўлган ферритли қотишмалар водород сулфиди муҳитида яхши кимёвий чидамлилиқка эга бўлади.

Олтингургуртли бирикмаларнинг бошқа коррозион актив компонентлар билан бир вақтда бўлиши жиҳоз ва қурилмалар учун жуда катта хавф туғдиради. Олтингургуртли нефтларни термик қайта ишлашда водород сулфиди ( $H_2S$ ) ва водород аралашмасининг айниқса катта босимларда бўлиши нефт саноатида жуда хавфли ҳол ҳисобланади. 6.13-расмдан кўринадики, нефт буғларида водород олтингургурти концентрациясининг ортиши билан хромли пўлатларнинг коррозияланиш тезлиги ортади. Бунда  $H_2S$  концентрациясининг 10 мартага ошиши коррозия тезлигининг 12–15 мартага ортишига олиб келади.

Таркибида 4–6 % Cr бўлган хромланган пўлатлар ярим иссиқликка чидамли саналади. Бундай синфдаги пўлатлар анча арзон, юқори коррозион чидамлилиги ва мустаҳкамлиги сабабли нефт саноатида крекинг қурилмаларни тайёрлашда кенг қўлланилади.

Ёқилғи ёнганда таркибида  $O_2$  ва турли хилдаги оксидлар, шунингдек олтингургурт қўшимчалари бўлган мураккаб газ аралашмалари ҳосил бўлади. Бундай ҳолларда сульфид-оксидли коррозия кузатилади. Металлдаги ҳимоя плёнкаси одатда бир неча қатламдан иборат бўлади. Ташқи қават кислород билан бойиган металл оксиддан, металл сиртига ёпишган ички қават эса юқори миқдорли олтингургурт ва сульфидлардан иборат бўлади. Агар ёқилғи ёнганда таркибида ванадий оксиди  $V_2O_5$  бўлган кул ҳосил бўлса, у ҳолда коррозия тезлиги жуда тез ортади. Ванадийли коррозия ҳодисаси ва унинг сабаблари олдин кўриб чиқилган эди.

Таркибида 4-6 % Cr бўлган хромли пўлатлар ярим иссиқликка чидамли ҳисобланади. Бу синфдаги пўлатлар ишлатишда қулайлиги, юқори коррозия бардошлилиги ва мустаҳкамлиги билан нефт саноатида крекинг қурилмалари тайёрлашда кенг қўлланилади. Ҳавода ва сезиларли миқдордаги олтингугуртли бирикмалари бўлган ва ёнишдан ҳосил бўлган 500-600 °C ҳароратли газларда бундай пўлатларнинг иссиқликка чидамлилиги легирланмаган пўлатларникига нисбатан деярли 3 марта юқоридир.



6.13-расм. Нефт буғларида (650°C) хромли пўлатлар коррозия тезлигининг хром миқдорига боғлиқлиги. Эгриликлардаги рақамлар H<sub>2</sub>S нинг миқдори (%) билдиради.

Молибден қўндирмалари (1 – 1,5 %) пўлатларнинг иссиқликка чидамлилигини ва оловбардошлилигини оширади. Кремний ҳам пўлатларнинг олтингугуртли муҳитлардаги коррозия бардошлилигига ижобий таъсир қилади.

Алюминий олтингугурт бирикмалари бўлган газ муҳитларида чидамли ҳисобланади. Уни 4% дан кам бўлмаган миқдорда темирга қўшилганда 800°C ҳароратгача H<sub>2</sub>S коррозиясига чидамли қотишма ҳосил қилади.

Қўшимча равишда алюминий ва кремний, шунингдек церий (Ce), таллий, калций билан легирланган хромли пўлатлар олтингугуртли бирикмалари бўлган юқори ҳароратли (700 °C дан юқори) муҳитларда ҳам газ коррозиясига энг юқори бардошлилик намойиш этади.

### 6.3.5. Хлор ва хлорли водород муҳитидаги коррозия

Газ ҳолатидаги хлор ва водород хлориди муҳитида металлларнинг ўзини тутиши бошқа агрессив муҳитларнинг таъсиридан кескин фарқ қилади. Гап шундаки, металл сиртида ҳосил бўладиган хлорли тузлар паст эриш температурасига эга, баъзи ҳоллада эса температура ортганда бевосита буғланиш (возгонка) хоссасига эга. Бундай реакциялар кўпинча мусбат иссиқлик эффектига эга. Бу эса маҳаллий ҳароратнинг сезиларли ортишига, натижада ҳосил бўлган хлоридларнинг эриб, парчаланишига сабаб бўлади.

Хлорид плёнкаларининг ҳимоявий хоссалари кучсиз, баъзи ҳолларда металллар хлор токида бирдан алангланади. 6.4-жадвалда бир қатор металллардаги хлоридли тузларнинг эриш температуралари келтирилган. Таққослаш учун оксидлар ва сульфидларнинг эриш температуралари ҳам келтирилган.

## Баъзи металллар тузлари ва оксидларининг эриш ҳарорати

№	Хлоридлар		Оксидлар		Сулфидлар	
	Формуласи	$t_{\text{эриш}}, ^\circ\text{C}$	Формуласи	$t_{\text{эриш}}, ^\circ\text{C}$	Формуласи	$t_{\text{эриш}}, ^\circ\text{C}$
1	$\text{AlCl}_3$	192, буғл.	$\text{Fl}_2\text{O}_3$	2015	$\text{Al}_2\text{S}_3$	1100
2	$\text{FeCl}_2$	672	$\text{FeO}$	1360	$\text{FeS}$	1193
3	$\text{FeCl}_3$	304	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1540	$\text{Fe}_2\text{S}_3$	–
4	$\text{CuCl}_2$	630	$\text{Cu}_2\text{O}$	1230	$\text{Cu}_2\text{S}$	110
5	$\text{NiCl}_2$	973, буғл.	$\text{NiO}$	1950	$\text{NiS}$	793
6	$\text{PbCl}_2$	501	$\text{PbO}$	1290, парч.	$\text{PbS}$	–
7	$\text{TiCl}_4$	буғланади	$\text{TiO}_2$	1560		
8	$\text{CrCl}_3$	1152	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	1550	$\text{Cr}_2\text{S}_3$	парчал

Паст ҳароратли қуруқ хлор муҳитида кўпгина металллар чидамли ҳисобланади. Ҳарорат ортиши билан металлларда экзотермик реакциялар амалга ошиши сабабли алангаланиш бошланади. Алангаланиш температураси иссиқлик эффекти катталигига боғлиқ бўлиб, металлнинг табиати орқали аниқланади. 6.5-жадвалда баъзи металллар ва қотишмаларнинг хлорли муҳитдаги алангаланиш температураси келтирилган.

## Баъзи металллар ва қотишмаларнинг қуруқ хлор-газли муҳитдаги алангаланиш температураси келтирилган.

№	Материал	Алангаланиш температураси, $^\circ\text{C}$
1.	Темир ва пўлат	~ 150
2.	Никел	> 500
3.	Кўрғошин	90 – 100
4.	Мис	200
5.	Титан	< 20

Хона ҳароратидаги қуруқ водород хлоридида бир қатор металллар ва қотишмалар етарлича чидамлидир. Ҳарорат ортиши билан металл материалларнинг чидамлилиги ҳар бир металл учун аниқ бўлган маълум бир температурагача аста секин пасаяди. Қуруқ хлор ва водород хлоридли муҳитларда узоқ вақт ишлатиш мумкин бўлган, рухсат этилган максимал температураларнинг қийматлари 6.6-жадвалда берилган. Нодир металллардан ташқари никел ва унинг қотишмалари қуруқ хлорда энг чидамли материаллар бўлиб ҳисобланади.

Қуруқ хлор ва водород хлоридли муҳитларда металллар ва қотишмаларни ишлатишда рухсат этилган юқори температураларнинг қийматлари

№	Материал	Температура, °С	
		Хлор	водород хлоридли
1.	Платина	1200	1200
2.	Олтин	–	870
3.	Волфрам	–	600
4.	Никел	550	510–600
5.	Инконел (80% Ni, 14% Cr, 6% Fe)	–	480
6.	Мис	100	100–120
7.	Углеродли пўлат, Ст.3	150	260–350
8.	Зангламайдиган пўлат 12Х18Н9Т	300	450–500
9.	Кумуш	–	230

Никел ва хромникелли пўлатларда ҳосил бўладиган сирт плёнкалари кам учувчанлик хоссаларига ва қониқарли химоявий хусусиятларга эга.

### Олтинчи бобга тегишли услубий тавсиялар

Бу бобда келтирилган маълумотларни ўрганиш натижасида талаба қуйидагиларни билиши шарт:

- коррозия жараёнларнинг турли кўринишлари;
- табиий ва саноат ишлаб чиқариш шароитларида коррозия жараёнларининг кечиши;
- табиий ва технологик шароитларида коррозия жараёнларининг кечиш қонуниятлари;
- Металлар ва қотишмаларнинг табиий ва технологик муҳитларда коррозия бардошлилиги;

Ушбу бобда келтирилган маълумотларни ўзлаштириш натижасида талаба:

- металллар ва қотишмаларга ташқи муҳитларнинг таъсир этиш характерини баҳолай олиши;
- коррозиябардош қурилма ва жиҳозларнинг оптимал конструкциясини асослай олиши ва тегишли тавсиялар бера олиши;
- коррозия емирилишларнинг олдини олиш бўйича чора-тадбирлар юзасидан мустақил фикрга эга бўлиши лозим.

### Назорат саволлари

1. Табиий ва технологик муҳитлар деганда нимани тушунаси?
2. Табиий муҳитларда кечадиган коррозиянинг қандай турларини биасиз?

3. Атмосфера коррозиясининг механизми ҳаво намлигига боғлиқ ҳолда қандай ўзгаради?
4. Металл жиҳозларнинг конструктив тузилиши атмосфера коррозиясига қандай таъсир қилади?
5. Тупроқ коррозиясини қандай қонуниятлар характерлайди?
6. Тупроқ коррозиясининг механизмини тушунтириб беринг.
7. Дайди тоқларнинг тупроқ коррозиясига таъсири қандай?
8. Бактериялар туфайли тупроқ коррозиянинг вужудга келиши ва унинг ўзига хослик томонларини тушунтиринг.
9. Денгиз коррозиясининг асосий қонуниятларини тушунтиринг.
10. Коррозион жараёнларнинг ривожланишига конструктив факторлар таъсир қиладими? Мисоллар келтиринг.
11. Металлар деструкциясига олиб келувчи газ коррозиясининг ҳолатларини айтиб беринг.
12. Пўлатнинг углеродсизланиш ҳодисасини тушунтиринг. Унга мисоллар келтиринг.
13. Водород коррозияси нима? У қандай шароитларда вужудга келади?
14. Карбонил коррозиясини тушунтиринг. Унда қандай жараёнлар кузатилади?
15. Олтингугуртли муҳитларда кечадиган коррозия жараёнларининг ўзига хос томонлари нималардан иборат?
17. Материалларнинг олтингугуртли муҳитлардаги коррозиясига қарши қандай усуллар қўлланилади?

### **Олтинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари**

1. Табиий шароитларда кечадиган коррозия турлари.
2. Технологик муҳитлар ва уларда кечадиган коррозия турлари.
3. Табиий факторларнинг коррозия жараёнлари тезлигига таъсири.
4. Металлар ва қотишмаларни табиий ва технологик муҳитлардаги коорозиядан ҳимоялаш усуллари.
5. Табиий ва технологик муҳитлардаги коррозиянинг олдини олишда конструктив факторларни танлаш принципи.
6. Пўлатларнинг углеродсизланиши унинг техникадаги аҳамияти.
7. Водород коррозиясига сабаб бўлувчи асосий омиллар.
8. Карбонил коррозияси, унинг оқибатлари, олдини олиш чоралари.
9. Олтингугуртли муҳитларда металлар ва қотишмаларнинг коррозияси.
10. Металлар ва қотишмаларни олтингугуртли муҳитлардаги коорозиядан ҳимоялаш усуллари.



### III қисм.

## Металлар ва қотишмаларнинг коррозион тавсифлари. Нометалл материаллар ва химоя қопламалари.

### VII боб.

#### Металлар ва қотишмаларнинг коррозион тавсифлари.

##### 7.1. Темир асосидаги конструкцион материаллар

Темир асосидаги конструкцион материаллар – чўянлар ва пўлатлар ишлаб чиқариш ҳажми ва улардан фойдаланиш даражаси бўйича энг кўп тарқалган конструкцион материаллар ҳисобланади.

Темирнинг икки хил –  $\alpha$  ва  $\gamma$  аллотропик кўринишлари мавжуд.  $\alpha$ -темир *феррит* дейилади, у магнитланувчан ва ҳажмий марказлашган кристалл панжара (ҲМКП) тузилишга эга,  $T < 910^\circ\text{C}$  ва  $T > 1401^\circ\text{C}$  ҳароратларда барқарор ҳисобланади. Темирнинг юқори ҳароратларда барқарор ҳисобланган шакли  $\delta$  – *феррит* дейилади.

$\gamma$  – темир қиррали марказлашган кристалл панжара (ҚМКП) тузилишига эга, магнит хоссаларига эга эмас ва у *аустенит* дейилади. Сувда чегаравий рухсат этилган концентрация қиймати – 0,1 мг/л. Темир ҳам хром ва марганец каби қора металлар синфига киради. Табиатда темир доимо оксидланган, таркибида С, О, S, Mn, Cr, Ni ва бошқа элементлар бўлган руда кўринишда бўлади.

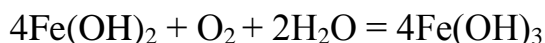
$\text{Fe}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Fe}$  реакциянинг стандарт потенциали – 0,44 В,

$\text{Fe}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Fe}$  реакциянинг стандарт потенциали эса –0,036 В. Бироқ, реал шароитларда амалда ўлчанадиган потенциал мувозанат потенциалидан сезиларли даражада фарқ қилиши мумкин.

Кислород ёки бошқа оксидловчилар мавжуд бўлган муҳитда темир пассивлашиб, унинг стационар потенциали +0,1 В га яқинлашиб қолади. Агар эритмада водород иони ёки бошқа галоид ионлар мавжуд бўлса, темирнинг потенциали манфий томонга силжиб, унинг қиймати –0,6 В гача етиши мумкин.

Минерал кислоталардан ташқари кўпгина муҳитларда темир коррозияланганда эримайдиган коррозия маҳсулоти – занг ҳосил бўлади.

Дастлабки анод жараёнида икки валентли  $\text{Fe}^{2+}$  темир ионлари ҳосил бўлади. Нейтрал эритмаларда эрувчанлиги  $1,64 \cdot 10^{-3}$  г/л бўлган  $\text{Fe(II)}$  гидроксиди –  $\text{Fe(OH)}_2$  ҳосил бўлади. Эритмада  $\text{O}_2$  бўлганда навбатдаги — уч валентли темир гидроксиди  $\text{Fe(OH)}_3$  нинг ҳосил бўлиш реакцияси амалга ошади:



Ҳосил бўлган бу реакция маҳсулотининг эрувчанлиги  $\approx 4,8 \cdot 10^{-8}$  г/л бўлиб,  $\text{Fe(OH)}_2$  нинг эрувчанлигига нисбатан анча кичик.

Занг эритмада бевосита коррозияланаётган сирт билан контакт юзасида ҳосил бўлади. Занг металл сиртини ғадир-будир қатлам сифатида қоплайди. Бу қатлам металл сиртига ёмон ёпишганлиги сабабли уни коррозиядан яхши химоя қила олмайди. Занг таркиби ўзгарувчан бўлиб, уни қуйидаги умумий формула билан ифодалаш мумкин:

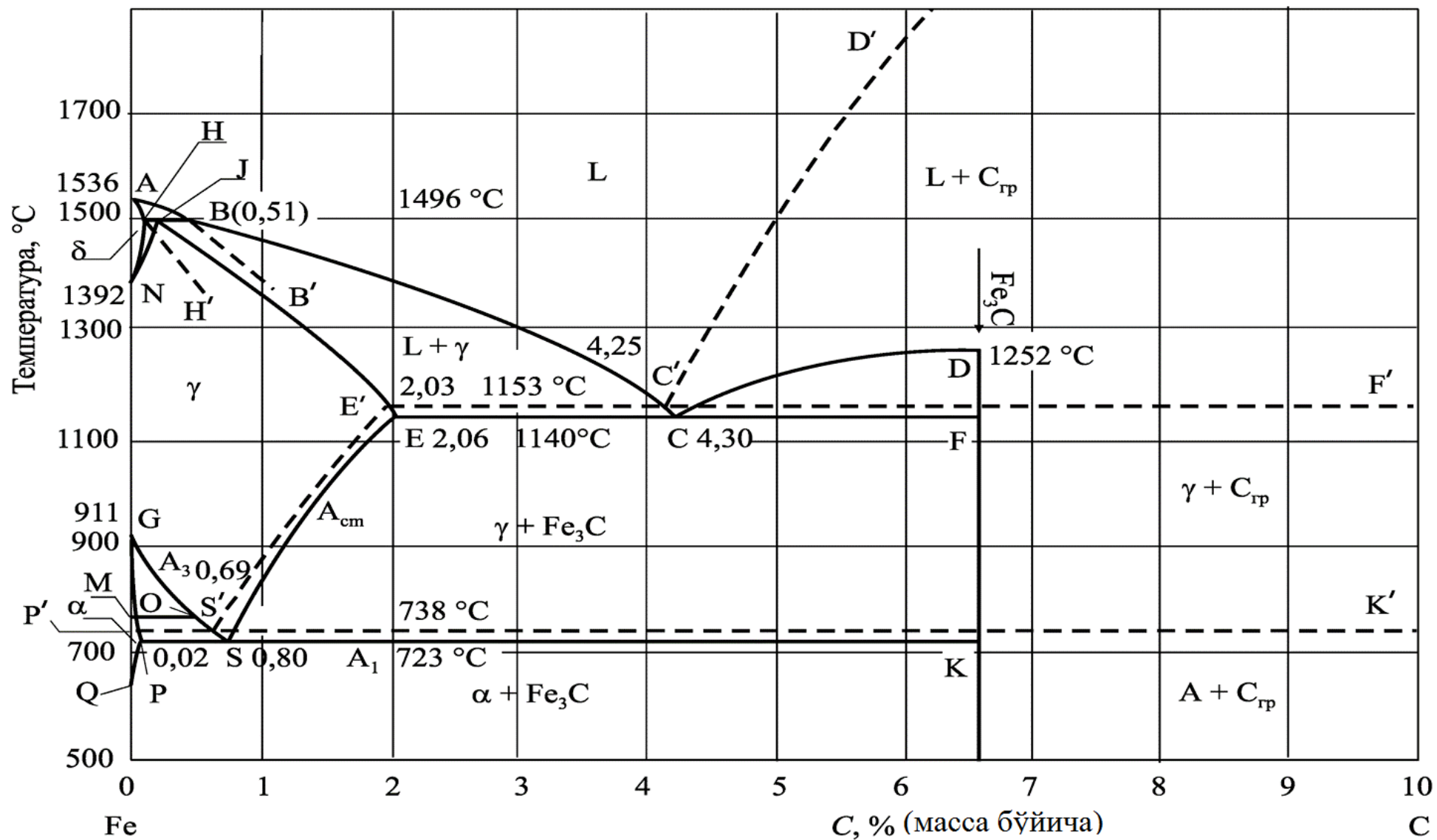


Темир коррозияга бардошли металл ҳисобланмайди. Атмосфера шароитида у жез, никел ва миснинг коррозия тезлигига нисбатан 10–15 марта кучлироқ коррозияланади.

Темир асосидаги конструкцион материалларнинг деярли барчасида у ёки бу миқдорда углерод бўлади. Буни кўриш учун Fe-C фазавий мувозанат диаграммасини кўрамиз. Д.К.Чернов биринчи бўлиб бундай диаграммани (7.1-расм) ўрганиб чиққан ва қуйидаги «Критик нуқталар» (температуралар) ни кузатган:

- $770^\circ\text{C}$  – магнитли ҳолатга алмашиниш (Кюри нуқтаси);
- $910^\circ\text{C}$  –  $\alpha$  аллотропик кўринишдан  $\gamma$  га ўтиш ( $\alpha \rightarrow \gamma$  алмашиниш);
- $1401^\circ\text{C}$  –  $\gamma \rightarrow \alpha(\delta)$  алмашиниш;
- $1534^\circ\text{C}$  – эриш нуқтаси;
- $3200^\circ\text{C}$  – қайнаш нуқтаси

Темирда углероднинг ўзини эрувчанлиги паст ва унинг эрувчанлик чегарасидан ўтганида темир карбиди – цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ажралиб чиқиши сабабли кўпинча ҳолатнинг Fe-C стабил диаграммаси эмас, балки Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  метастабил диаграммаси таҳлил қилинади (7.1-расм). Диаграммадаги узлуксиз ва пунктир чизиклар мос равишда метастабил ва стабил ҳолатларни ифодалайди. Диаграммадаги АВ, ВС, CD чизиклар *солидус* чизиклари, АН, НН, JE чизиклари эса *ликвидус* чизиклари ҳисобланади. NH, NJ, ES, E'S', GO, GS, GP, OS, PK, P'K', PQ, MO чизиклар қаттиқ фазага тегишли бўлган мувозанат ҳолатини чегаралаб туради. HJB, E'C'F, ECF чизиклар эвтетик, P'S'K' ва PSK чизиклар эса эвтетоид мувозанат чизиклари ҳисобланади. Диаграммадаги эвтетик ва эвтектонид чизикларга мос келувчи температуралар 7.1-жадвалда берилган.



7.1-расм. Fe – C системасининг тўлиқ ҳолат диаграммаси.

Fe-Fe<sub>3</sub>C системасидаги эвтетик ва эвтектоид муозанатга  
мос келувчи температуралар

Кўрсаткичлар	Fe-Fe <sub>3</sub> C диаграммасидаги чизиқлар				
Чизиқлар	HJB	E'C'F	ECF	P'S'K'	PSK
Температура, °C	1493	1153	1147	738	723

Fe-Fe<sub>3</sub>C диаграммасидаги асосий, характерли нуқталарга тўғри келадиган углерод миқдори 7.2-жадвалда берилган.

Fe-Fe<sub>3</sub>C диаграммасидаги характерли нуқталарга тўғри келадиган углерод  
миқдори

Кўрсаткичлар	Fe-Fe <sub>3</sub> C диаграммаси дагинуқталар					
Нуқталар	B	C	C'	H	F	E
Концентрация, масс %	0,53	4,30	4,25	0,10	0,16	2,06
Нуқталар	E'	S	S'	P	Q	O
Концентрация, масс %	2,03	0,80	0,69	0,025	0,006	0,50

### 7.1.1. Пўлатлар ва чўянлар.

Fe-Fe<sub>3</sub>C тизимидаги қотишмалар уларнинг таркибидаги углероднинг миқдорига қараб *пўлатлар* ва *чўянларга* бўлинади.

*Пўлатларга* таркибидаги углерод миқдори 2,03 % дан ошмайдиган қотишмалар киради. Пўлатларнинг структураси улар таркибидаги углероднинг миқдори билан аниқланади. Таркибида 0,1% углерод бўлган пўлатларнинг тўла қотган моментдаги структураси соф феррит ( $\delta$ -феррит) кўринишда бўлади. Таркибида 0,1 – 0,16 % углерод бўлган пўлатлар тўла қотганда феррит-аустенит структурани ҳосил қилади ва уларнинг таркибидаги  $\delta$ -ферритнинг миқдори 0 дан (J нуқта) 100 % гача (H нуқта) ўзгаради (7.1-расм). Таркибидаги углерод миқдори 0,16-0,51 % бўлган пўлатлар совиш жараёнида дастлаб ҳосил бўлган  $\delta$ -ферритнинг сарфланиши билан боғлиқ бўлган феррит-аустенит структурасига эга. Таркибида 0,51-2,03 % углерод бўлган пўлатлар, суяқ металл қотишининг дастлабки дақиқалариданоқ соф аустенит структурани ҳосил қила бошлайди.

Кўпгина зангламайдиган пўлатларда аустенит барқарор бўлмайди ва у осонгина мартенситга айланади. Мартенситнинг таркиби ҳам дастлабки аустенит таркиби билан бир хил бўлсада, у бошқа хилдаги «игнасимон» структурага эга. Бунда пўлатнинг мустаҳкамлиги ва қаттиқлиги ортади, коррозия хоссаларининг ўзгариши деярли сезилмайди.

*Чўянларнинг* таркибида 2,03% дан кўпроқ углерод бўлиб, улар эвтектикгача (0,03 % < C < 4,25 %) ва эвтектикдан ташқариги (C > 4,25 %)

чўянларга бўлинади. Эвтектикгача бўлган чўян структураларига аустенит (асосий ташкил этувчиси) ва перлит (Fe ва FeC лардан иборат эвтектик аралашма) киради. Реал металлургияда чўян ишлаб чиқариш пайтида амалга ошириладиган ўта совитиш жараёнлари қотишмалар структурасида цементит эмас, балки «карбокўринишли» деб аталадиган шаклдаги графит ажралишига сабаб бўлади.

Аустенит-графит эвтектикали кулранг чўян бўлаклари уларга «кулранг» номи берилишига сабаб бўлган. Кулранг чўянлардан фарқли ҳолда оқлари оқ-кулранг сифта синиқларга эга бўлиб, уларнинг таркибига аустент-цементит эвтектика киради. Эвтектикдан ташқариги чўянларнинг асосий фазавий-структуравий ташкил этувчиси – графит (ёки цементит) ҳисобланади.

Пўлатлар таркибига металлга алоҳида хусусиятларни қарор топтириш учун доимо углероддан ташқари яна легирловчи элементлар деб аталадиган кўпгина кимёвий элементлар кўшилади. Булардан ташқари уларнинг таркибига руда маҳсулотларидан ўтиб қолган бошқа аралашмалар ҳам мавжуд бўлади. Бундай элементлар аралашмалар дейилади.

Аралашма элементлари темир билан алмашинувчи (агарда уларнинг атом диаметри Fe нинг атом диаметридан 15% дан кўп фарқ қилмаса) ёки жорий қилинувчи (агарда уларнинг атом диаметри Fe атом диаметрининг 0,59 % дан кўп бўлмаган қисмини ташкил қилса) қаттиқ эритмалар ҳосил қилиши мумкин. Аралашма элементлари бир-бири билан ўзаро ёки темир атоми билан таъсирлашиб, пўлатлар структурасида миқдори, кимёвий таркиби ва тузилиши металлларни эритиш технологияси орқали аниқланадиган нометалл кўшимчалар – оксидлар, сульфидлар ёки оксосульфидлар ҳосил қилади.

Оддий сифатли пўлатларга Пўлат-1, Пўлат-2, Пўлат-3 ва бошқа таркибидаги углероднинг миқдори (0,15–0,45 %) ва механик хоссалари билан фарқ қиладиган пўлатлар киради.

Сифатли пўлатларнинг маркаланиши – Пўлат-10, 15, 20 ва ҳ.к. улардаги ўртача пўлатнинг миқдорига (юздан бир улушларда) мос келади. Легирловчи компонентлар миқдори 3–5% дан ошмаган пўлатлар углеродли ёки паст легирланган гуруҳга бирлаштирилган. Уларнинг қўлланилиш соҳаси: жиҳозларнинг асосий қисми ва металл конструкциялари.

Хлорид кислотасида HCl нинг концентрацияси ортиши билан углеродли пўлатларнинг эриш тезлиги экспоненциал равишда ортади.

Сульфат кислотасида ҳам H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> нинг концентрацияси 47-50% га етгунча коррозия тезлиги худди шундай қонуният билан ортади. Концентрация юқори бўлган эритмаларда жараённинг тезлиги камаяди. Бу пўлатларнинг сиртида пассив оксид ва сульфат плёнкаларининг ҳосил бўлиши билан изоҳланади.

Азот кислотасида кислотанинг концентрацияси 50% га яқинлашганда темирнинг пассивлашуви бошланади. Азот кислотаси концентрациясининг

94–100 % қийматида темир-углеродли қотишмалар қайта пассивланиш ходисаси оқибатида яна қайтиб кучли емирила бошлайди.

Концентрацияси 50% дан ошмаса, эритувчи кислотада паст легирланган пўлатлар жуда тез емирилади. Янада концентрланган эритмаларда темир чидамли бўлади. Концентрацияси 60% дан паст бўлмаган эритувчи кислоталарни пўлат баллонларда ташишга рухсат этилади.

Концентрацияси 30% гача бўлган ишқорларда темир анча чидамли бўлади. NaOH нинг янада юқориқоқ концентрацияларида темир сиртидаги химоявий плёнкалар ферратлар –  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$  ҳосил қилиб эрийди. Концентрланган ишқорларда, айниқса юқори ҳароратларда темир асосидаги қотишмалар «каустик мўртлик» деб аталадиган коррозион ёрилишга учрайдилар.

Углеродли пўлатлар органик кислоталар муҳитида кучли коррозияланади, кислород кириши ва ҳароратнинг ортиши билан коррозия тезлиги янада ортади.

Спиртларда, бензолда ва органик эритувчиларда темир-углеродли пўлатлар коррозион бардошлидир.

### **7.1.2. Коррозион бардошлиликни ошириш мақсадида пўлатларни легирлаш**

Пўлатларга керакли механик хоссаларни бериш, уларнинг коррозион бардошлилигини ошириш мақсадида уларнинг таркибига легирловчи элементлар киритилади. Легирловчи элемент темир билан қаттиқ эритма ҳосил қилади, бир-бири билан ёки қўшимча элементлар билан таъсирлашиб, металлмас бирикмалар ёки қўшимча фазалар ҳосил қилади.

Пўлатларнинг кимёвий таркиби уларни ишлаб чиқарувчи турли мамлакатлардаги қуйидаги стандартларга мос белгиланади: ГОСТ – Россия Федерацияси (ёки олдинги СССР); AISI – АҚШ; B.S. – Буюк Британия; A.F.N.O.R. – Франция; DIN – Германия (ФРГ); SIS – Швеция, MSZ – Венгрия; CSN – Чехия (Чехословакия).

Пўлатларнинг кимёвий (маркали) таркибини белгилашда мамлакатнинг классификациясига биноан рақамли ва ҳарфли белгилашлардан фойдаланилади. Ҳар бир легирловчи элементга маълум бир ҳарф тақдим этилган: X – Cr; H – Ni; M – Mo; Г – Mn; Ю – Al; Ф – W; C – Si; Т – Ti; Д – Cu; Б – Nb; А – N. Кимёвий элементни англатувчи ҳарфдан кейин бир ёки икки рақамли бутун сон массавий % ларда ифодаланган легирловчи элементнинг концентрациясини билдиради. Пўлатнинг маркасини ифодаловчи аббревиатуранинг биринчи рақами углерод концентрациясининг юздан бир улушдаги массавий % ни билдиради.

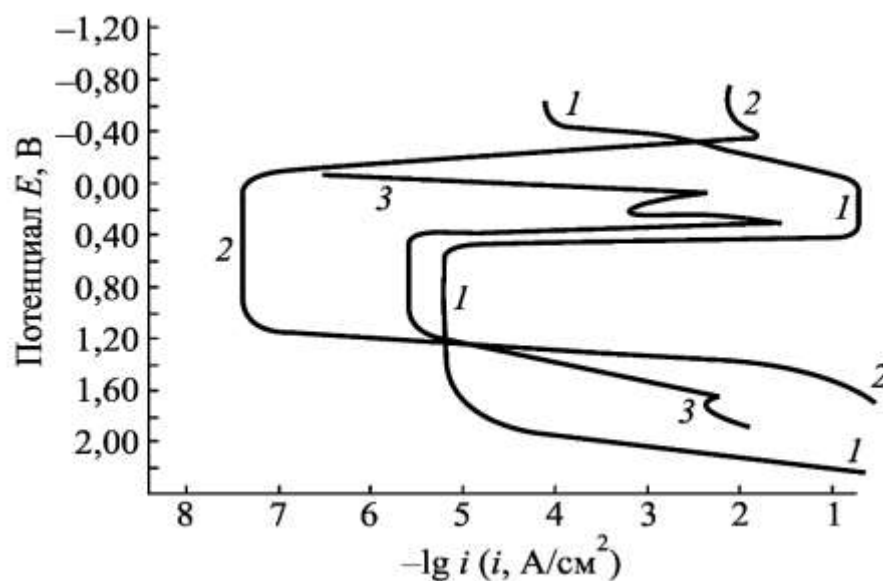
Стандартларга асосан, ҳар бир маркали пўлат таркибидаги легирловчи ва қўшимча элементларнинг миқдори маълум бир рухсат этилган чегара доирасида бўлади.

Паст легирланган пўлатларнинг таркибида асосан, уларга маълум механик ёки технологик хусусиятлар ҳосил қилиш мақсадида киритилган бир неча процентгача легирловчи элемент бўлади.

Алоҳида гуруҳ сифатида таркибига 12 % ва ундан юқори (массанинг 30 % гача) миқдорда муқаррар хром қўшилаётган *коррозияга бардошли* пўлатларни ажратиб кўрсатиш мумкин. Бу гуруҳдаги пўлатлар углеродли ва паст легирланган пўлатлар бардош бера олмайди, кимё саноатига хос бўлган ўта агрессив муҳитларда ишлатиш учун махсус ишлаб чиқарилади.

Коррозияга бардошли пўлатларнинг классификацияси, номенклатураси ва кимёвий таркиби ГОСТ 5632-72 билан меъёрланган.

Хром турлича кислоталили ва анион таркибли муҳитларда пассивланишга юқори мойилликни намоён қилади. Шунингдек у питтинг коррозиясига чидамдир. Хромнинг сульфат кислотасида эришининг кутбланиш эгрилиги 7.2-расмда келтирилган (2 эгрилик). Пассивланиш соҳаси темирга нисбатан янада манфийроқ потенциалда бошланади, пассивланишнинг критик токи эса икки мартаба кичик. Бу хромнинг пассивланишга темирга нисбатан янада юқори мойилликка эга эканлигидан далолат беради.



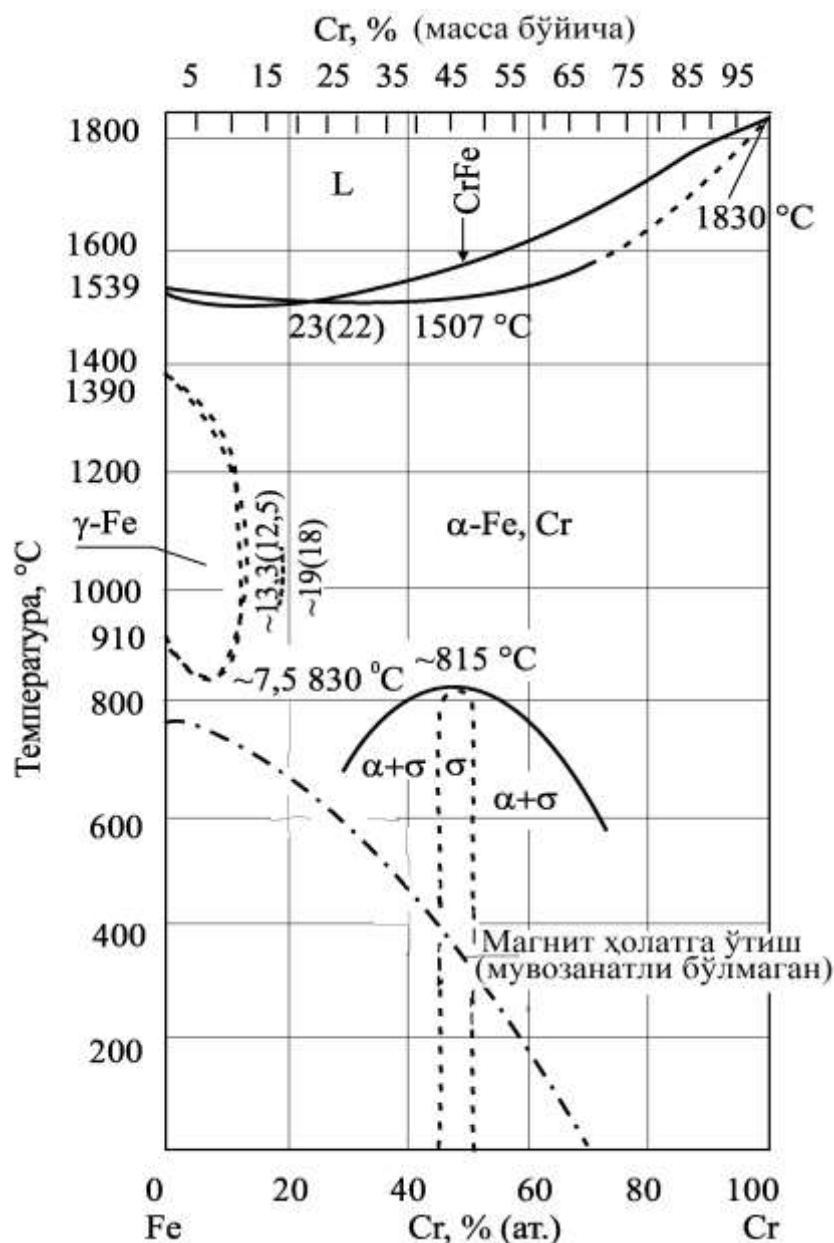
7.2-расм. Турли металллар учун эриш тезлигининг потенциалга боғлиқлиги  
1-темир; 2-хром; 3-никел. Эритма 1 н. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, хона ҳароратида.

Хромнинг пассивлиги унинг сиртида ҳосил бўладиган Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оксид қатлами билан таъминланади.

Темир ва хром ҳажмий марказлашган бир хил кристалл панжара тузилишига эга бўлиб, панжара параметрлари ҳам бир-бирига жуда яқинлиги сабабли улар узлуксиз қатор қаттиқ эритмалар ҳосил қилади. Қаттиқ фазалар кўпинча  $\alpha$ -фаза (феррит) кўринишида бўлади. Хромнинг миқдори 11,5 – 12 %

бўлган 865-1400 °C дан юқори бўлмаган ҳароратли муҳитларда  $\gamma$ -фаза (аустенит) ҳосил бўлади. Хромнинг концентрацияси 20–75 % бўлганда 800-850 °C дан юқори бўлмаган ҳароратларда Fe-Cr интерметалл бирикма ҳисобланган  $\sigma$ -фаза ҳосил бўлишини кузатиш мумкин (7.3-расм).

Fe-Cr системасида Тамман қоидаси ўринли бўлади. Бу қоидага кўра, нодир ёки коррозияга чидамли атомларнинг қотишмадаги ҳиссаси  $n/8$  га тенг бўлганда (бунда  $n = 1, 2, 3, 4, 6$  – бутун сонлар) қотишма чидамлилигининг сакраб ортиши кузатилади.



7.3-расм. Fe-Cr системасининг ҳолат диаграммаси

Таркибида 11,8 масс.% Cr бўлган темир-хром қотишмаларининг каттик эритмаси панжарасида 1/8 хисса Cr атомлари бўлади. Бунда совуқ  $\text{HNO}_3$  кўшилган эритмада қотишманинг мустаҳкамлигини характерловчи биринчи

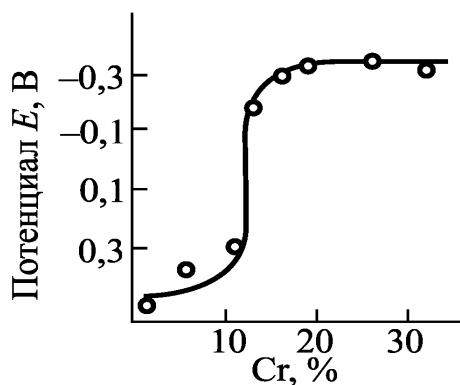


чидамлилик чегараси ҳосил бўлади. Қотишмадаги хромнинг атом ҳиссаси 2/8 га мос келадиган 23,7 масс. % Cr ли таркибда қайноқ  $\text{HNO}_3$  қўшилган эритмада қотишманинг мустаҳкамлигини характерловчи иккинчи чидамлилик чегараси пайдо бўлади. Қотишмадаги хромнинг атом ҳиссаси тахминан 3/8 га мос келадиган 35,8 масс. % Cr ли таркибда эса актив муҳитларда ҳам чидамлилик чегараси юзага келади.

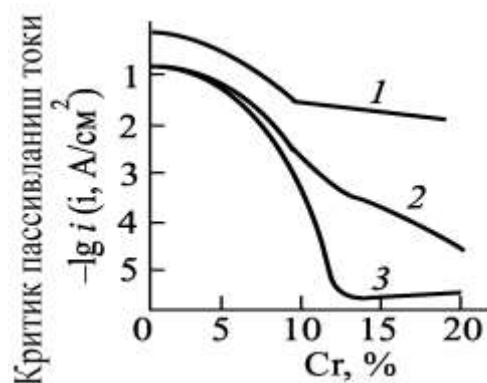
Темирга хромнинг қўшилиши Fe–Cr қотишмаларининг пассивланиш хоссасини яхшилади, унинг коррозия бардошлилигини оширади. Қўшиладиган хромнинг концентрацияси 12 % га етганда қотишмалар пассивланиш критик потенциалнинг соф хромнинг критик  $E_{кр}$  потенциали қийматигача манфий томонга силжиши кузатилади (7.4-расм). Хромнинг бундай миқдорда бўлиши пассивланиш критик токининг кескин сакраш билан пасайишига олиб келади, яъни металлнинг эриш тезлиги камаяди (7.5-расм).

Темирга 12 % хромнинг қўшилиши Fe–Cr қотишмаларининг пассивланиш коррозиясига бардошлилигини етарлича оширади (7.6-расм). Графикдан кўринадикки, хромнинг концентрацияси 17% гача оширганда қотишманинг пассивланиш коррозиясига бардошлилиги иккинчи марта кескин ортади. 40% дан ортиқ хром қўшилган қотишмалар худди соф хромга ўхшаб сувли муҳитларда умуман пассивланиш коррозиясига учрамайди.

Fe–Cr қотишмаларида хромнинг миқдори 12 % га етиши билан улар коррозиябардошлилигининг сакраб ортиши бундай концентрацияда пассивлаштирувчи плёнка таркиби ва хоссаларининг ўзгариши орқали изоҳланади.



7.4-расм. 0,1 н  $\text{H}_2\text{SO}_4$  да қотишмалар пассивланиш потенциалининг улардаги хром миқдорига боғлиқлиги



7.5-расм. Fe–Cr қотишмасидаги хром миқдорининг эритмалардаги пассивланиш критик токига таъсири: 1 – 10% ли  $\text{H}_2\text{SO}_4$  эритмаси; 2, 3 – 3% ли  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмаси рН = 3 бўлганда (2 эгрилик) ва рН = 7 (3 эгрилик)

Яъни, хром миқдори кам бўлган пўлатларнинг пассивлаштирувчи қатлами темир оксидларидан иборат бўлади. Улар таркиби бўйича соф темир сиртида ҳосил бўладиган плёнкага жуда яқин бўлади. Таркибида 12 % дан юқори

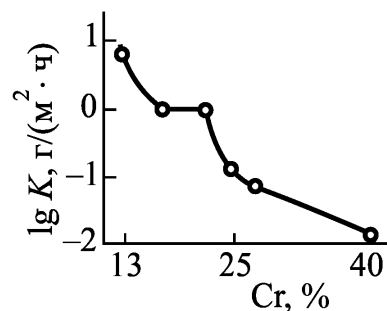
миқдорда хром бўлган қотишмаларда пассивлаштирувчи плёнканинг ташқи (эритма билан контактда бўладиган) қатлами  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  оксиди тақибига кирувчи хром билан бойиган бўлади.

Хромли пўлатларнинг асосий камчилиги уларнинг мўртлашувли емирилишга юқори даражада мойиллидир. Бундай камчиликни йўқотиш учун коррозиябардош пўлатлар никел билан легирланади. Юқори мустаҳкам-лиги, пластиклиги ва коррозиябардошлиги сабабли коррозиябардош констукцион материалларни тайёрлашда никел асос сифатида фойдаланилади.

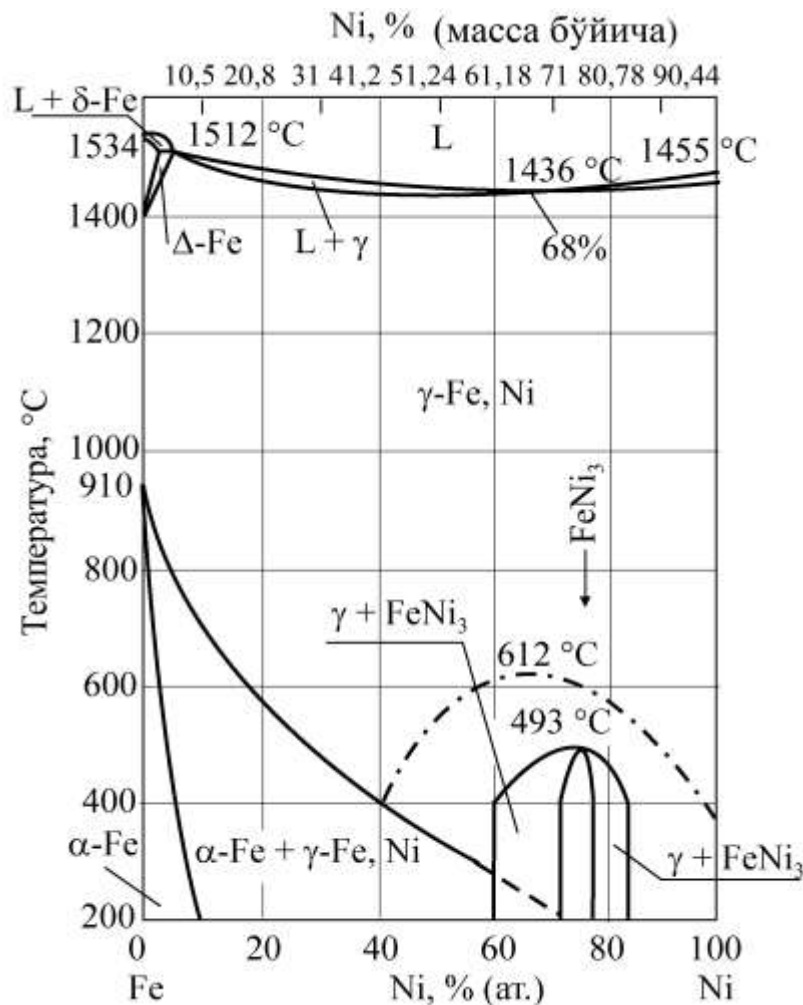
Эриш температурасига яқин ҳароратларда никел ҳам хром каби темир билан қиррали марказлашган кристалл панжара тузилишига эга бўлган бир қатор чидамли қотишмалар ҳосил қилади (7.7-расм). Температура пасайганда  $\gamma$ -қаттиқ эритма  $\alpha+\gamma$  эритмага айланади. Никелнинг  $\alpha$ -қаттиқ эритмадаги мувозанатлашган концентрацияси

~ 7,5% га етади. Қотишмадаги никелнинг концентрацияси ~ 74 % га етганда  $\text{FeNi}_3$  интерметаллининг ҳосил бўлиши амалга ошади. Темир асосидаги қотишманинг кристалл панжарасида карбит фазасининг ажралишига тўсқинлик қилган ҳолда никел углероднинг диффузия тезлигини пасайтиради.

Актив ҳолатда никелнинг электрохимёвий жиҳатдан ўзини тутиши кўп жиҳатдан олдин кўрилган темирникига жуда яқиндир. Бироқ, сульфат кислотасида никелнинг фаол эришида алоҳида ўзига хослик мавжуд, яъни анод қутбланиш эгрилигида бурилиш нуқтаси мавжуд бўлиб, иккита Тафел соҳаларига эга (7.2-расм, 3 эгрилик). Тахмин қилинишича, иккинчи Тафел соҳасининг бўлиши шу нарса билан боғлиқки, сульфат кислотали муҳитларда никелнинг эриши икки параллел йўл билан амалга ошади: сульфат-ионлар иштирокида ва  $\text{H}_2\text{O}$  молекулалари иштирокида. Умумий токнинг қийматига ҳар иккаласининг ҳам ҳиссаси мавжуд бўлиб, ҳар иккаласи ҳам рН нинг тегишли соҳаларида устунликка эришиши мумкин. Никел пассив соҳасининг кенглиги нордон сувли муҳитларда (+0,43 дан +1,35 В гача) хромникига нисбатан анча кичик (0,0 дан +1,1 В гача) бўлсада, никелнинг пассив ҳолатда эриш тезлиги тахминан икки карра юқоридир. Пассивлик унинг сиртида ҳосил бўладиган  $\text{NiO}$  дан (металлга ёпишган ~ 4 Å қалинликдаги) ва  $\text{Ni(OH)}_2$



**7.6-расм.** Хром концентрациясининг 10% ли  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  эритмасидаги Fe-Cr қотишмаларининг пассив коррозия тезлигига таъсири



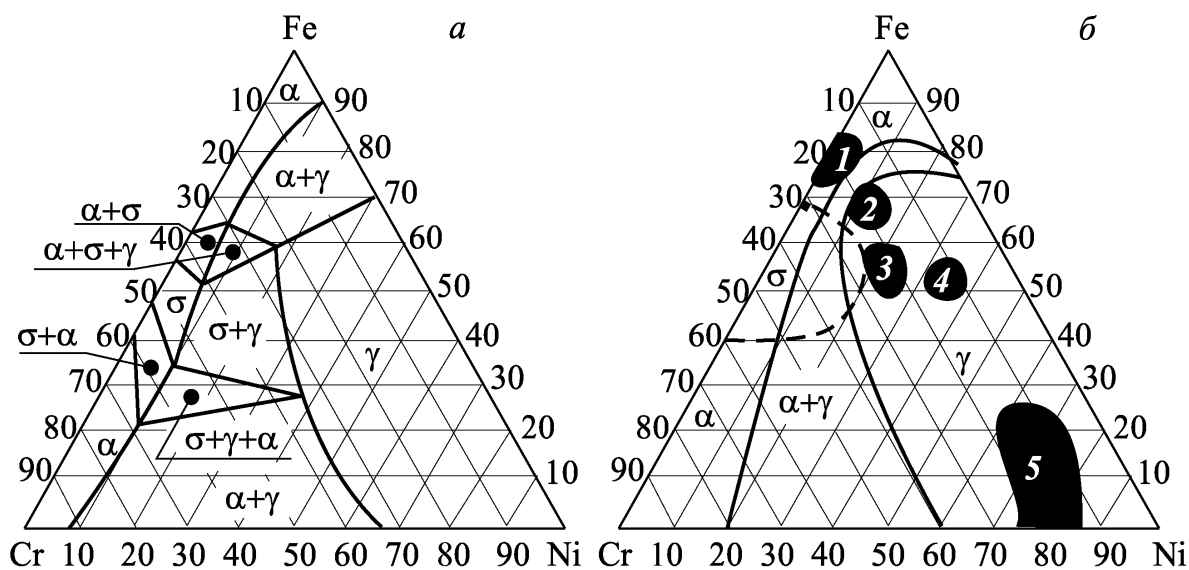
7.7-расм. Fe-Ni системасининг ҳолат диаграммаси

дан (электродит билан контактлашувчи ~ 6 Å қалинликдаги) ташкил топган химоя қатламлари туфайли вужудга келади.

Қотишмаларга никелнинг қўшилиши механик хоссаларини яхшилаши билан бир қаторда уларнинг пассивланиш ҳолатини мустаҳкамлайди, питтингли ва тирқишли каби коррозиянинг локал кўринишларига чидамлилигини оширади. Никел билан легирлаш туфайли пўлатлар коррозиябардошлигининг ортиши пассивлаштирувчи плёнка таркиби ва хоссаларининг ўзгариши билан боғлиқ эмас. Чунки тажрибаларнинг кўрсатишича, пассивлаштирувчи плёнкалар таркибида никел учрамайди. Коррозион ёрилишга чидамлилигининг пастлиги хромникелли аустенит пўлатларнинг камчилиги ҳисобланиб, унинг минимуми энг кўп тарқалган 18Cr-8Ni русумли пўлатларга тўғри келади. Ишлаб чиқариладиган пўлатларнинг 70 % дан ортиғи аустенит синфига мансуб бўлиб, уларнинг таркиби  $\geq 17\%$  хромдан ва 10 % дан ортиқроқ никелдан иборатдир.

Юқоридаги системалар учун учламчи диаграммаларни тузиш анча мураккаб жараён бўлганлиги сабабли, кўпинча уларнинг изотермик қирқимларидан фойдаланилади. Бундай қирқим мисол тариқасида Fe-Cr-Ni

системаси 7.8-расмда келтирилган. 7.8, б-расмда саноат миқёсида ишлаб чиқариладиган пўлатларнинг таркиби белгиланган.



7.8-расм. Fe-Ni-Cr системаси учун 400 °C (а) ва хона (б) ҳароратида фазавий мувозанат қирқими. α – феррит; γ – аустенит (мартенсит); σ – сигма-фаза. Қотишмаларнинг амалий таркиб соҳалари: 1 – феррит Cr-пўлатлар; 2 – 18-8 типидаги пўлатлар; 3, 4 – юкори коррозиябардош пўлатлар; 5 – иссиқликка чидамли Ni-қотишмалар. Учбурчакнинг томонлари бўйлаб % ларда (масса бўйича) элементларнинг концентрацияси қўйиб чиқилган.

Коррозияга бардошлиликни янада ошириш мақсадида хромникелли зангламайдиган пўлатлар таркибига молибден ҳам киритилади. Молибден пўлатларнинг пассивланишини яхшилайтиди, қотишманинг питтинг ва тирқиш коррозиясига бардошлилигини оширади, репассивация жараёнини осонлаштиради, локал коррозия ўчоғларида металлнинг эриш тезлигини пасайтиради ва индукцион даврни узайтиради.

Молибден ва волфрам ҳажмий марказлашган кристалл панжарага эга бўлиб, темирда чекланган эрувчанликка эга. Хром-никел-молибден пўлатлари пассивланган ҳолатлари турғунлигининг ортиши пассивлаштирувчи қатламларга молибденнинг кириб бориши билан изоҳланади. Хромникелмолибденли пўлатлар пассив ҳолати барқарорлигининг ортиши молибденнинг пассивлаштирувчи қатламга кириб бориши билан изоҳланади. Молибденни қайта пассивланиш, яъни молибдат-ионлар ҳосил қилиб эрийдиган ҳолатига олиб келувчи пўлатлар пассив соҳасининг потенциалларида хром оксидига нисбатан янада кучлироқ ҳимоявий хусусиятга эга бўлган хром ва молибден аралаш оксидларининг ҳосил бўлиши амалга ошади.

Оксидловчи муҳитларда чидамсиз бўлиши хромникелмолибденли пўлатларнинг асосий камчилиги ҳисобланади. Хромли ва хромникелли пўлатларга мустаҳкамлик характеристикаларни мужассамлаштириш учун уларни қўшимча равишда **волфрам** билан легирланади. Бунда худди молибден

сингари волфрам ҳам пўлатларнинг мустаҳкамлигини оширади, коррозион чидамлилигини яхшилайдди.

Мартенсит синфига мансуб пўлатлар (30X13, 40X13, 95X18 ва шунга ўхшаш) учун **углерод** зарурий легирловчи элементлардан ҳисобланиб, уларнинг юқори мустаҳкамлик характеристикаларини таъминлайди. Бироқ, бошқа структурали пўлатлар учун эса у зарарли аралашма ҳисобланади. Чунки, углерод хром карбидларини ( $Cr_{23}C_6$  кўринишида) ҳосил қилиши сабабли қотишмалардаги хром миқдорини камайтиради.

6-9 % концентрацияли **марганецнинг** никел билан комбинацияси аустенитлар учун хромникелли қотишмаларга нисбатан углерод ва азот эришининг янада юқори чегарасини ҳамда аустенитларнинг юқори барқарорлигини таъминлайди.

**Азот** кучли аустенит ҳосил қилувчи элемент ҳисобланади. У аустенит ва аустенит-феррит пўлатлар учун механик ва коррозион хоссаларни яхшиловчи қўшимча ҳисобланади. Азот углеродга нисбатан қотишмаларнинг мустаҳкамлигини анча яхшилайдди, қотишманинг питтинг коррозиясига бардошлилигини оширади, карбидли ва интерметалли фазалар ажралишини секинлатади. Бироқ, феррит синфига мансуб пўлатларнинг таркибида азотнинг бўлиша мақсадга мувофиқ эмас, чунки у бундай пўлатларнинг механик хусусиятларига салбий таъсир қилади.

**Мис** пўлатларга қўшилганда уларнинг минерал кислотали муҳитлардаги бардошлилигини оширади.

**Титан ва ниобий** TiC ва Nb карбидларини ҳосил қилиш орқали қаттиқ эритмадан углеродни сиқиб чиқаради. Уларнинг киритилиши пўлатларнинг локал коррозия кўринишларига бўлган чидамлилигини оширади.

**S, Pb, Se** элементлари қотишмаларга механик ишлов беришни яхшилаш мақсадида киритилади. **Al** ва **Si** лар қотишмаларнинг иссиқликка чидамлилигини ошириш мақсадида, ноёб металлларнинг (**бор** ва **цирконий**) микроқўшимчалари қотишмаларнинг механик хоссаларини яхшилайдди.

Шундай қилиб, конструкцион материалларнинг коррозион бардошлилигини оширишнинг энг муҳим ва самарали йўналиши коррозияга қарши легирлаш ҳисобланади.

*Пўлатларнинг фазавий таркибини мувофиқлаштириши.* Реал пўлатлар қаттиқ эритмасида “металл матрицада – бегона фазалар” (ортиқча фаза ва металлмас қўшимчалар деб аталадиган) сақлайдиган гетероген системалар ҳисобланади. Ортиқча фазалар (буларга карбидлар, нитридлар, силицидлар, боридлад киради) ва металлмас қўшимчалар (оксидлар ва сульфидлар) пўлатни ташкил этувчи аралашма ва легирловчи элементларининг ўзаро таъсири туфайли ҳосил бўлиб, металл матрицасидан кимёвий таркиби, кристалл структураси ҳамда электрокимёвий характеристикалари билан фарқ қилади. Нисбатан унча кўп бўлмаган (массанинг 0,01–0,001 % улушларида) миқдорига

карамасдан бегона фазалар анод ва катод жараёнларининг интеграл тезлиги ва металлнинг эриш характерига ўзининг таъсирини кўрсатади. Пўлатларнинг коррозия бардошлилигига фазаларнинг таъсири пўлатнинг  $E_{кор}$  эркин коррозия потенциалида фазалар билан металл матрицасининг электрохимий характеристикалари бир-биридан қанчага ва қандай қилиб фарқ қилиши орқали аниқланади. Агарда  $E_{кор}$  да қайсидир фазанинг эриш тезлиги қаттиқ эритманикка нисбатан кичик бўлса, пўлатнинг сиртида унинг аста-секин тўпланиши эриётган сирт улушининг камайиши ҳамда электрохимий реакция иштирокчилари кириш ва чиқиш диффузион жараёнининг қийинлашиви ҳисобига умумий эриш тезлигининг пасайишига олиб келади. Агарда  $E_{кор}$  да қайсидир фазанинг эриш тезлиги металл матрицанинг эриш тезлигига нисбатан катта бўлса, у ҳолда фазанинг селектив эриши амалга ошириб, локал коррозия жараёнларининг ривожланишига олиб келади.

Шундай қилиб, кўп миқдордаги қимматбаҳо ва дефицит ҳисобланган легировчи элементлар орқали зангламайдиган пўлатларнинг эришилган коррозия бардошлилиги билан тенглаша оладиган чидамликни уларнинг фазавий таркибини мувофиқлаштириш орқали ҳам ҳосил қилиш мумкин. Бунга зангламайдиган пўлатлар учун уларнинг структурасида турли усуллар ёрдамида карбидлар ва марганецли сульфидлар ҳосил бўлишининг олдини олиш орқали металлни эритиш ёки қайта эритиш босқичларида амалга ошириш натижасида эришиш мумкин.

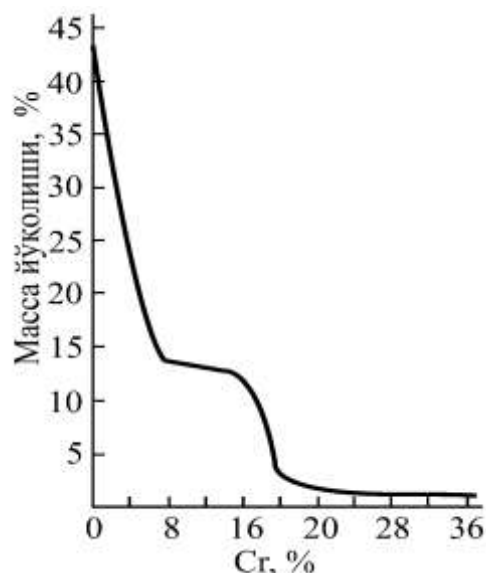
### **7.1.3. Темир асосидаги иссиқликка чидамли қотишмалар.**

Темир асосидаги қотишмалар юқори ҳароратларда кенг қўлланилади. Иссиқликка чидамли қотишмалар газ коррозиясига ҳам бардошлидир. Бирок ҳозирги замонавий технологиялардан орқада қолмаслиги учун уларга яна кўшимча талаблар қўйилиши табиийдир. Яъни, улар яхши коррозия кўрсаткичлар билан бир қаторда муҳим механик, технологик, физик ва кимёвий хоссаларга ҳам эга бўлиши талаб қилинади.

Хром темир қотишмаларининг газ коррозиясига бўлган кимёвий қаршилигини оширади. Хромли пўлатларнинг иссиқликка чидамлигини ўрганишда уларнинг таркибидаги хромнинг миқдорида боғлиқ ҳолда барқарорликнинг кескин ортиши аниқланган (7.9-расм). Барқарор ҳолатга ўтиш чегаралари слжиши мумкин. Хромли пўлатларнинг коррозия бардошлилигига ундаги хромнинг миқдори ва термик ишлов берилганлик кучли таъсир қилади.

Тоблангандаан кейин хром ва углерод қаттиқ эритма таркибида бўлади ва пўлат юқори коррозия бардошлиликка эришади. Тоблашдан чиққач қотишмадан хром карбидлари тўкилади. Бунда 1% углерод 10 – 12% хромни бириктириб олиши мумкин. Углерод хром билан ҳеч бўлмаганда учта анча мустаҳкам карбидларни – куб  $Cr_{23}C_6$ , тригонал  $Cr_7C_3$  ва орторомбик  $Cr_3C_2$

кристал структурали бирикмаларни ҳосил қилади. Карбидларнинг сони ва уларнинг таркиби қотишмадаги углероднинг миқдorigа боғлиқ бўлади. Карбидларнинг ҳосил бўлиши туфайли қаттиқ эритмадаги хромнинг миқдори камайганлиги боис, пўлатнинг коррозион бардошлилиги пасаяди. Тобланишдан чиқиш ҳарорати қанч аюқори бўлса, тўкилаётган хром карбидлари шунча кўп бўлиб, пўлатнинг коррозион бардошлилиги шунча паст бўлади. Шунинг учун углерод миқдорининг ортиши билан хромли пўлатларнинг юқори коррозион бардошлилигини таъминлаш учун қотишмага кўшимча хром киритиш керак бўлади.



**7.9-расм.** Қотишмадаги хромнинг миқдorigа қараб ҳавода (48 соат, 1000° C) қотишмалар оксидланиши нисбий тезлигининг ўзгариши

Хромли пўлатларнинг оловбардошлилиги ҳам улар таркибидаги хромнинг миқдorigа боғлиқ (7.3-жадвал).

7.3-жадвал

Пўлатдаги хром миқдорининг оловбардошликка таъсири

№	Хром миқдори, масс %	Ишончли ишлаш ҳарорати, °C
1.	5–6	600–650
2.	14–15	800
3.	17	1000
4.	25	1100
5.	30	1200

Таркибидаги хром миқдори 4–6% бўлган хромли пўлатлар яримиссиқ-бардошли ҳисобланади. Нисбатан арзонлиги ва углеродли пўлатларга нисбатан коррозион бардошлилиги сабабли бундай пўлатлар крекинг қурилмаларини, буғ қозонларини, аммиак синтез қилиш жиҳозларини тайёрлашда кенг қўлланилади. Таркибида Мо ва V кўндирмалари бўлган бу турдаги баъзи қотишмалар водород коррозиясига нибатан юқори бардошлиликка эга бўлиб, аммиак синтези қурилмаларида қўлланилади. Таркибида олтингугуртли бирикмалари бўлган газларнинг муҳитида ҳам бундай қотишмалар 500 – 600 °C ҳароратда узок муддат ишлай олади.

Хромли пўлатларга молибден (1–1,5 %) шунингдек, никел ва титанларнинг кўшилиши оловбардошликни оширади ва улар юқори ҳароратларда ишлатилиши мумкин. Бу жуда муҳим факторлардан бири ҳисобланади, чунки хромли оддий пўлатлар иссиқликка чидамли бўлиб, улар

оловбардош бўлмаслиги мумкин (7.4-жадвал). Бъзи пўлатларнинг иссиқликка чидамлилиги ва оловбардошлилиги 7.4-жадвалда келтирилган.

7.4-жадвал

Хромли пўлатларнинг иссиқликка чидамлилиги ва оловбардошлилиги

№	Пўлат маркаси	Оловбардошлилик. Зак ҳосил бўлиш температураси, °С	Иссиқликка чидамлик. Ишлатиш температураси, °С
1.	1X13	750	500
2.	12X17	870	525
3.	15X25	1100	550
4.	12X13	800	550 – 600
5.	40X9C2	850	600 – 650
6.	20X23H18	1050	1000

Саноатда энг кўп ишлатиладиган бъзи иссиқликка чидамли ва оловбардош пўлатларни кўриб чиқамиз.

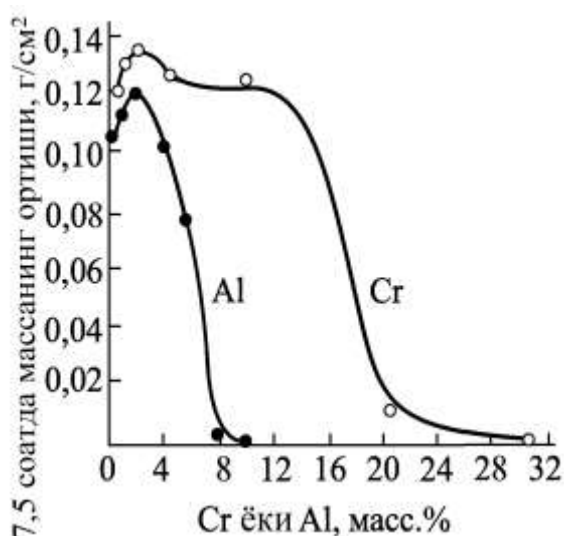
**Силхромлар** – хром ва кремний билан легирланган темир қотишмалари-дир. Хромли пўлатларга Si нинг кўшилиши уларнинг иссиқликка чидамлилиги ва оловбардошлилигини сезиларли оширади. Бундай пўлатлар рекуператорлар, иссиқлик алмаштиргичлар, буғни ўта қиздирувчи қозонларни лойиҳалашда ишлатилади.

**Хромали ва фехрали** – алюминий билан кўшимча легирланган хромли пўлатлар ҳисобланади. Уларнинг таркиби қуйидагича:

**Хромали** – (15–30%) Cr; (1–7%) Al; 1 % гача Si; 0,25 % гача С.

**Фехрали** – (4–14%) Cr; (1–7%) Al; 1 % гача Si; 0,25 % гача С.

Демак, хромали таркибидаги хромнинг кўплиги билан характерланади. Алюминийнинг кўшилиши темир қотишмаси оловбардошлилигини хром кўшимчасига нисбатан самаралироқ оширар экан (7.10-расм). 7–10% Al кўшилган (хромсиз) темир қотишмаси 1100–1200°С ҳароратдаги оксидланишга чидамли бўлиб, оловбардошлилиги бўйича нихромга (80% Ni ва 20% Cr) яқинлашади.



7.10-расм. Ҳавода, 1200°С ҳароратда Fe–Cr ва Fe–Al қотишмалари оксидланиш тезлигининг қотишмадаги легирловчи компонентлар миқдорига боғлиқлиги



Расмдан кўринадики, ҳавода 1200°C ҳароратда Fe-Cr системаси учун газ коррозиясининг кескин пасайиши 30% хром бўлганда кузатилса, Fe-Al системаси учун 8 % Al бўлганда кузатилади. Бироқ темир-алюминийли қотишмалар мўрт бўлганлиги сабабли улар технологияларда кам ишлатилади.

Кимёвий саноатда *темир-хром-алюминий* асосидаги қотишмалар нихромни алмаштирувчи, кенг тарқалган ва энг оловбардош материаллардан ҳисобланади. Хромал 1200°C ҳароратгача чидамли бўлса, ундан анча арзон бўлган фехрал 1000°C гача чидайдди. Ҳар иккала қотишма ҳам оксидловчи атмосфера таъсирига чидамли бўлиб, қайтарувчи атмосферада (H<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O) ҳамда хлорли газ муҳитида чидамсиз ҳисобланади.

Қотишмага 1–3 % гача волфрамнинг кўшилиши унинг оловбардошлигини оширади, иссиқликка чидамлилиги 900°C гача сақланади. Кобалт билан кўшимча легирланганда иссиқликка чидамлилиги сақланган ҳолда қотишманинг оловбардошлиги ортади.

**Кантал** қотишмаси (таркиби: 30% Cr, 5% Al, 3% Co, 0,2–0,8% C, қолгани темир) узоқ муддат максимал – 1250 °C ҳароратда ишлатилганда ҳам бардошлилигини сақлаб қолади.

Хромникелли пўлатлар юқори пластиклик ва етарлича мустаҳкамлик ҳамда юқори ҳароратларда коррозион бардошлиликка эга бўлиб, яхши пайвандланади. Хромли ва хром-никелли қотишмаларни бир конструкцияда яхлитлаш мумкин. Таркибида 18 % хром ва 8–9 % никел бўлган хром-никелли қотишмалар саноатда энг кўп тарқалган бўлиб, улар газ коррозиясига 800 – 900 °C гача бардошли ҳисобланади. Улардан печларнинг арматуралари, қувурлар, иссиқлик алмаштиргилар, электр иситгичларининг роторларини (08X18H10, 12X18H9, 08X18H10T ва бошқа маркалар) тайёрлашда ишлатилади.

Зарбли юкламаларга чидамли бўлиши учун мўртлик нуқтаи назаридан қотишмалардаги углероднинг миқдори 0,1 % дан, Cr ва Ni билан кўпроқ легирланган қотишмаларда эса 0,15 % дан ошмаслиги керак. Фақат оксидланишга қарши юқори коррозион бардошлиликни таъминлаш зарур бўлган ҳолларда углероднинг миқдори 0,5 % гача бўлиши мумкин. Олтингугуртли газ муҳитларида хром-никелли қотишмалар чидамсиз бўлиб, 400 °C ҳароратда ҳам сезиларли оксидланади.

Таркибида 23 % хром ва 13–18 % никел бўлган темир қотишмалари 1100 °C ҳароратда ҳам оловбардош ҳисобланади. Бу синфдаги пўлатларга 20X23H13 (22–25 % Cr ва 12–15 % Ni) ҳамда 20X23H18 (22–25% Cr ва 17–20% Ni) қотишмаларини мисол қилиб кўрсатиш мумкин, улардаги углероднинг миқдори 0,20–0,25 % ни ташкил қилади. Бундай пўлатларнинг юқори коррозион бардошлилигини таъминлаш учун хромга нисбатан углероднинг процент миқдори 0,01 дан юқори бўлмаслиги керак. Юқорида келтирилган ҳар

иккала маркадаги аустенит пўлатлар иссиқликка чидамли ва оловбардош ҳисобланиб, муҳим ва масъулиятли соҳаларда ишлатилади.

Қотишмаларга қўшимча 2–3 % кремний қўшилганда уларнинг юқори температураларда оксидланишга бўлган қаршилигини янада оширади. Бундай қотишмаларга қуйидаги таркибли пўлат маркалари мисол бўла олади:

- 20X20H14C2 — (19–22)% Cr; (12–15)% Ni; 2,3% Si;  $C \leq 0,2\%$ ;  $Mn \leq 1,5\%$
- 20X25H20C2 — (23–27)% Cr; (18–21)% Ni; 2,3% Si;  $C \leq 0,2\%$ ;  $Mn \leq 1,5\%$

20X20H14C2 маткали пўлатлар қозонлар, нефтни тозалаш қурилмалари ва печлар тайёрлашда ишлатилади. 20X25H20C2 маркали пўлатлар кимёвий машинасозликда агрессив муҳитларда ва юқори ҳароратларда юклама билан ишловчи (печ конвейерлари, маҳкамловчи бирикмалар, цементация яшиклари ва б.) деталларни тайёрлашда қўлланилади.

Қотишмаларга қўшимча волфрамнинг киритилиши сирпанишдаги қаршилиқни оширади (45X14H14B2M маркали).

Пўлатлар таркибига марганец киритилганда уларнинг олтингугуртли муҳитларда юқори ҳароратлардаги оксидланишига қарши чидамлилиги 900°C гача ортади.

***Оловбардош чўянларга хромли, никелли, алюминийли ва кремнийли чўянлар*** киради.

Хромли чўянлар қаттиқ эритмадаги хромнинг миқдори Тамман қоидаси бўйича барқарорликни таъминлаш учун етарли бўлган шартдагина коррозия бардошлиликка эришади. Барқарорликнинг датлабки бошланиши хром миқдорининг массага нисбатан 11,7 % бўлганда амалга ошади. Дастлаб хром чўяндаги углерод билан реакцияга киришади ва  $Cr_7C_3$  кўринишдаги карбидлар ҳосил қилади. Бунда 1 % углерод 10 % га яқин хром билан боғланганлиги сабабли қаттиқ эритмада кучли хром танқислиги вужудга келади. Хромли чўянларнинг асосий маркалари бўлган Х28 ва Х34 ларда хромнинг миқдори мос равишда 26–30 % ва 32–36 % ни ташкил қилади. Хромли чўянлар механик ейилишга яхши қаршилиқ кўрсатади, эгилмайди ва чўзилмайди, қониқарли қуйилиш хоссаларига эга. Улар 1100°C ҳароратгача газ коррозиясига бардошли, 600°C ҳароратгача оловбардош ҳисобланади. Улардан печ арматуралари, барабанли қуритгичларнинг қисмлари, эритиш идишлари, реакторлар, автоклавлар ва бошқалар тайёрланади.

***Никелли чўянлар***нинг СЧЩ-1 ва СЧЩ-2 маркалари ишқорли муҳит таъсирига бардошли. Чўянларда никел миқдори қанча кўп бўлса, улар шунча мустаҳкам бўлади. Уларнинг оловбардошлиги ва иссиқликка чидамлилиги юқори.

***Никел-хром-кремнийли чўянлар*** — ***нихросилал*** қуйидаги таркибга эга: 1,8–3,0% Cr, 13–20% Ni, 5–7% Si, 1,7–2,0% C ва 0,6–0,8% Mn. Улар юқори оловбардошлиқ ва иссиқликка чидамлилиқка эга.

**Никел-мис-кремнийли чўян** — *нирезист* нинг таркиби куйидагича: 2-4 % Cr, 11-16 % Ni, 1,5-2,5 % Si, 2,8 % C, 6-7 % Cu ва 2 % Mn. У 600 °С гача ҳароратгача иссиқликка чидамли ва 550 °С гача оловбардош. Асосан катта юкламалар бериладиган жойларда ишлатилади.

**Алюминийли чўянлар** иссиқликка чидамли. «Чуголь» маркали чўяннинг таркиби: 5,5-7,0% Al, 1,0-2,3% Si, 2,5-3,2% C ва 0,6-0,8% Mn. У 900°С ҳароратгача иссиқликка чидамлилигини сақлайди, бироқ унинг оловбардошлиги анча паст – 400°С. Бундай чўянлар юқори ҳароратда, аммо кичик механик юклама бериладиган жойларда ишлатилади. Улардан тузларни эритиш учун тигллар, цементацион яшиқлар тайёрланади.

**Кремнийли қотишмалар** — *ферросилидлар*нинг таркибида 14-18% гача кремний ва 0,4-0,8 % гача углерод мавжуд, юқори каттиқликка эга, мўрт, температура ўзгаришига сезгир. Бундай қотишмалардан жиҳозлар қуйиш йўли билан тайёрланади.

**Кремнийли чўян** — *силал (С-21-40)* куйидаги таркибга эга: 5-10% Si, 2,4-2,5 % C, 0,5-0,6 % Mn. Силал – арзон, иссиқликка чидамли (850°С гача) ва етарлича оловбардош материал ҳисобланади. Ундан ўтхоналарнинг панжараси (колосник) ва печ аппаратураларининг деталлари тайёрланади.

#### **7.1.4. Коррозияга чидамли замонвий қотишмалар ва пўлатлар**

Коррозияга чидамли пўлатлар структурасига кўра куйидаги гуруҳларга бўлинади:

- **мартенсит ва мартенсит-феррит пўлатлар**, уларга конструкцион (08X13, 12X13, 20X13), юқори углеродли инструментал (30X13, 40X13, 95X18), хромоникел мартенсит-ферритли (14X17Н2, 12X17) пўлатлар киради;
- **ферритли** (08X17Т, 08X17Т1); уларга яна таркибида оз миқдорда С, N ва О бўлган суперферритлар, (масалан 015X18М2Б);
- **аустенитли**, уларга хромоникелли X18Н10Т, таркибида 2-4% Мо бўлган хромоникелмолибденли (масалан, 03X17Н14М2, 10X17Н13М3Т, 08X17Н13М2Т), хромоникелмарганецли ва хромомарганецли (масалан 20X13Н4Г9, 10X14АГ15, 07X21Г7АН5), темир асосидаги юқори легирланган коррозиябардош пўлатлар (масалан 03ХН28МДТ);
- **аустенит-ферритли** (мас., 08X22Н6Т, 03X25Н5АМ2, 6X225Н7М2Б);
- **аустенит-мартенситли** (таркибида 12-17 % Cr) ва **мартенситли-чарчайдиган** (масалан, 08X15Н5Д2Т, 09X15Н8Ю, 0X13Н8Д2ТМ).

Охириги йилларда юқори таркибли Cr (22-28 %), Ni (24-28 %), Mo (4-8 %), N (до 1 %) ва бошқа компонентлар билан бойитилган суперпўлатларни яратиш устида катта ишлар амалга оширилмоқда.

Қўлланилиш соҳасига кўра коррозиябардош пўлатлар турли хилдаги – кристаллараро, питтинг ва коррозион механик ейилиш каби коррозиянинг локал кўринишларига чидамли турларга бўлинади.

**Аустенит синфига мансуб пўлатлар.** Бу синфга кирувчи пўлатлар киррали марказлашган кристалл панжара ( $\gamma$ ) тузилишига эга. Улар магнитланмаган, 196 – 800°C ҳарорат чегарасида юқори пластикликка эга. Электролит эритмаларидаги юқори иссиқбардошлиги ва коррозион қаршилиги билан ажралиб туради.

Таркибидаги углерод миқдорида кўра уларни уч гуруҳга бўладилар:

- $C \leq (0,08-0,12)\%$  — X18H10, X18H10T(Б), X17H13M2(3)T маркали;
- $C \leq (0,02-0,03)\%$  — X18H11, X17H14M2C) маркали;
- $C \leq (0,02-0,03)\%$  ( $S < 0,015-0,020\%$ ,  $P \leq 0,02-0,030\%$ ) — X20H25 ва X25H21 2-6 % Мо билан бўлган пўлатлар.

Олдинги пайтларда коррозияга чидамли пўлатлар ишлаб чиқариш ҳажмининг 70% дан ортиғини углерод миқдори юқори бўлган биринчи пўлатлар гуруҳи ташкил қилган. ГОСТ 5632-72 ва АҚШ стандарти AISI бўйича бу гуруҳга қуйидаги маркадаги пўлатлар киритилган: 12X18H9T, 12X18H10T, 08X18H10 (AISI 321), 12X18H9 (AISI 302), 08X18H10 (AISI 304), 08X18H12Б (AISI 347), 08X17H13M2T ва бошқалар.

70-йиллардан бошлаб, 06X18H10, 02-03X18H11 (AISI 304 L), 02-03X17H14M2-3 каби кам углеродли иккинчи гуруҳ пўлатларни ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш тенденцияси амалга оша бошлади. Шунингдек, 03X18H17 ва 03X17H14M3 каби пўлатлар кўплаб ишлаб чиқарила бошланди.

03X18H11 маркали пўлатлар азот кислотаси ва аммиак селитраси ишлаб чиқариш корхоналари учун қурилмалар ва қувурлар тайёрлаш учун қўлланилади. Бу корхоналар учун пайвандланадиган қурилмалар тайёрлашда ҳозирги вақтда 03X18H11 пўлатларнинг ўрнига 03X19AG3H10 маркали пўлатлар ишлатилиб, қурилмалар металл сарфининг 20 % га камайишига эришилди.

03X17H14M3 маркали пўлат карбамид ва капралактам, фосфор кислотаси ва минерал ўғитлар ишлаб чиқариш саноати қурилма ва аппаратларини ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Ҳозирги пайтда янги 03X18H16-M3-BД ва 02X25H22AM2-ПТ маркали пўлатлар яратилиб, уларнинг биринчиси тиббий анжомлар ва имплантантлар ишлаб чиқаришда қўлланилмоқда. У халқаро ИСО 5832/1-87 стандарт талабларига тўла жавоб беради. Иккинчиси эса четдан келтириладиган 2RE69 ва 25USFER маркали пўлатларнинг ўрнини қоплаган ҳолда, юқори талаблар қўйиладиган карбамид синтези амалга ошириладиган, шунингдек сульфат ва азот кислотали, водород сульфидли агрессив муҳитларда ишлатиладиган қурилмалар тайёрлашда қўлланилади.

Кучли оксидловчи муҳитларда хромникелли пўлатларнинг коррозион бардошлилигини оширишнинг самарали усулларида бири уларни кремний билан легирлаш ҳисобланади.

03X8H22C6 ва 02X14H19C6Б маркадаги пўлатлар 110°C гача бўлган ҳароратда концентранган  $\text{HNO}_3$  муҳитида ишлатиладиган пайвандли қурилмалар тайёрлашда қўлланилади.

Охириги йилларда яратилган азотли 03X20H16AГ6 пўлатлар босим остида, ҳарорат 20 °C дан  $-269$  °C гача кескин ўзгарадиган шароитларда ишлатиладиган криоген машинасозликда катта габаритли пайвандланадиган қурилмаларни тайёрлашда қўлланилади.

**Феррит синфига мансуб пўларлар.** Мазкур синфга ҳажмий марказлашган кристалл панжарали тузилишга эга бўлган хромли (Cr миқдори 11 % дан 30% гача) темир қотишмалари киради. Булар қатор муҳитларда коррозион чидамлилиги бўйича аустенит пўлатлардан қолишмайди, лекин механик характеристикалари анча паст. Улар ферромагнит ва кристалларо коррозияга мойил. Бундай мойилликка уларнинг таркибидаги углерод ва азот таъсир қилади.

Таркибидаги углероднинг миқдорига кўра ферритли пўлатлар уч гуруҳга бўлинади:

- юқори углеродли С (0,08-0,15 %);
- углеродли С (0,02-0,04 %) ва Ni (0,02-0,04 %);
- кам углеродли С ( $\leq 0,01$ -0,02 %) ва Ni ( $\leq 0,01$ -0,02 %).

Охириги йилларда ўзининг комплекс механик ва коррозион хусусиятлари билан аустенит турдаги хром никелли пўлатлардан қолишмайдиган кам углеродли 04X15CT, 04X17T, 04X19MAФТ маркали пўлатлар яратилди.

Вакуум-индукцион эритиш методларини қўллаш, углерод ва азот миқдорини камайтириш, хром ва молибден миқдорини оптималлаш, кам харажатлар ҳисобига уникал коррозиябардош ферритли пўлатлар яратиш имкониятларини берди. Буларга мисол қилиб локал коррозиянинг барча турларига ниҳоятда чидамли бўлган 25Cr-2Mo (E-Brite), 25Cr-4Mo-4Ni (MONIT), 28-30Cr-3Mo (A129-X) и 28-30Cr-4Mo-2Ni (A129-4-2) суперферрит маркали пўлатларни кўрсатиш мумкин. Улардан концентранган хлоридли эритмалар ва денгиз суви билан ишлашга мўлжалланган иссиқлик алмаштиригичларни тайёрлашда фойдаланилади.

Таркибида энг кам углерод (04X15 CT, 04X19MAФТ маркали) ва азот (01X18M2T, 01X25M2T маркали) бўлган феррит пўлатлар коррозиябардош истиқболли пўлатлар ҳисобланади.

**Аустенит-феррит** синфига оид пўлатлар (ГОСТ 5632-72) аустенитли пўлатларга нисбатан янада юқорироқ мустаҳкамлиги (1,5–2 марта), кристалларо ккоррозияга ва хлоридли ҳамда ишқорли муҳитларда ёрилишга қарши чидамлилиги билан ажралиб туради.

Аустенит-феррит пўлатларнинг уч хил тури мавжуд бўлиб, уларнинг таркиби қуйидагича:

- $C \leq 0,12$  %, титан билан барқарорлаштирилган (08X22H6 (ЭП53) ва 08X21H6M2T (ЭП54) маркалар);
- $C \leq 0,03$  % (03X23H6 ва 03X22H6M2 маркалар);
- $C \leq 0,03$  %, қўшимча азот билан легирланган.

Учинчи авлод кам углеродли пўлатлар энг яхши комплекс хоссаларни ўзида мужассамлаштирган. Улар орасида 03X24H6AM3 (ЗИ130) маркали пўлат энг истиқболли ҳисобланади. 1070–1120°C ҳароратда тоблангандан сўнг пўлатда аустенит ва ферритнинг нисбати 40–50% чегарада бўлган икки фазали аустенит-феррит структураси шаклланади. Бундай пўлат юқори самарали, технологик ва коррозиябардош қотишма ҳисобланади. Юқори чидамлилиги сабабли у кўпинча эрозион емирилиш ҳосил қиладиган агрессив муҳитларда ишлатилади. Ундан карбамид ва капралактам, экстракцион фосфор кислотаси ва минерал ўғитлар ишлаб чиқариш саноати қурилма ва аппаратларини ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Замонавий аустенит-феррит пўлатлар ўзларининг алоҳида коррозион ва механик хусусиятлари билан кўпгина кимё, нефткимё, нефт-газ қазиб олиш саноатлари соҳаларида, денгиз қурилиши тармоқларида, шунингдек денгиз сувини чучитиш иншоотларида фойдаланиш учун кенг истиқболли ҳисобланади.

Fe-Cr-Ni асосидаги юқори легирланган қотишмаларнинг саноат миқёсида қўлланилиши уларнинг алоҳида физик-механик хоссалари, кучли агрессив муҳитлардаги чидамлилиги, металл заки ҳосил қилмаслиги ва юқори мустаҳкамлиги билан изоҳланади.

06XН28МДТ ва 03XН28МДТ маркали қотишмалар ҳам 80°C гача бўлган ҳароратларда турли концентрияли  $H_2SO_4$ , экстракцион фосфор кислотаси ва мураккаб минерал ўғитлар ишлаб чиқариш шароитларида ишлатиш учун мўлжалланган. ХН30МДТ (ЭК 77) қотишма 120°C гача бўлган ҳароратларда фтор миқдори 1,8 % гача бўлган фосфор кислотали муҳитлар учун мўлжалланган. Чет эл амалиётида бундай мақсадлар учун Cromfer 2328 ва Саникро-28 (Швеция) қотишмалари ишлатилади.

Бир вақтнинг ўзида агрессив муҳит ва механик кучланишлар таъсирида бўладиган турли хилдаги кимёвий аппаратураларни тайёрлашда юқори мустаҳкамликка эга бўлган дисперс-қаттиқланувчи ХН40МДТЮ (ЭП543) қотишма кўп ишлатилмоқда.

## 7.2. Рангли металлар асосидаги конструкцион материаллар.

### 7.2.1. Алюминий (Al) ва унинг қотишмалари.

Саноатда легирланган пўлатлар ва чўянлар билан бир қаторда бошқа металлар ва улар асосидаги қотишмалар ҳам кенг қўлланилади.

Алюминий ва унинг қотишмалари ишлаб чиқариш кўлами ва уларнинг саноатда қўлланилиши бўйича биринчилар қаторида туради.

Алюминийнинг зичлиги  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,  $t_{\text{эриш}} = 658^\circ\text{C}$ , прокатлаш, ёйиш ва пайвандлашда ҳамда бошқа механик операцияларда ўзини яхши тутади. Алюминийнинг механик хоссалари жуда юқори эмас ва уни термик ишлов бериш характериға боғлиқ. Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори 0,04 мг/л.

Алюминийнинг  $\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Al}$  реакция учун стандарт электрод потенциали  $-1,66 \text{ В}$  бўлиб, у етарлича актив металл ҳисобланади. Пассивланишга мойиллиги сабабли кўпгина агрессив муҳитларда юқори коррозия бардошлилик намоён қилади. Металларнинг текис емирилиш ҳолати учун коррозия тезлиги коррозия маҳсулотларидан тозаланган металл массасининг камайишига қараб аниқланади (ГОСТ 13819-68). 10 балли шкала бўйича алюминийнинг коррозия бардошлилиги 7.5-жадвалда келтирилган.

7.5-жадвал

Алюминий ва унинг қотишмалари учун коррозия бардошлилик шкаласи

Балл	1	2	3	4	5
Массанинг камайиши, г/м <sup>2</sup> ·соат	≤ 0,0003	0,0003– 0,0015	0,0015– 0,003	0,003– 0,015	0,0015– 0,0031
Балл	6	7	8	9	10
Массанинг камайиши, г/м <sup>2</sup> ·соат	0,031– 0,154	0,154– 0,31	0,31– 1,54	1,54– 3,1	> 3,0

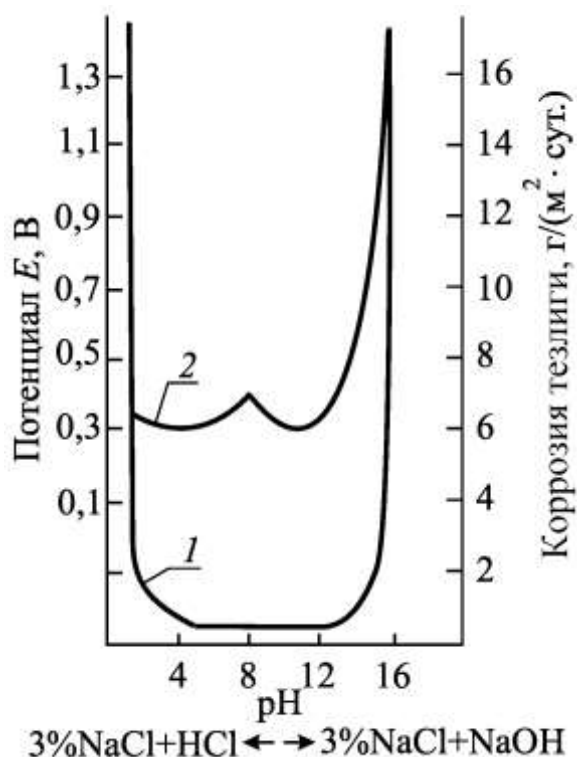
Пассив ҳолатда алюминийнинг сирти ишлатилиш шароитига қараб 5 дан 100 нм гача қалинликдаги  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ёки  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  дан ташкил топган плёнка билан қопланган бўлади. Алюминийдаги плёнка металлға яхши ёпишган ва яхлитлик талабларига жавоб беради. Шунинг учун алюминийнинг коррозия бардошлилиги кўпинча эритманинг рН миқдори билан аниқланади (7.11-расм). Алюминийда плёнка рН = 3–9 интервалида бўлганда ҳосил бўлади.

Алюминий атмосфера шароитида,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  мавжуд бўлган муҳитларда шунингдек, сувни қиздириш пайтида яхши бардошли ҳисобланади. Тузларнинг нейтрал эритмаларида алюминийнинг коррозияси анионларнинг табиатига боғлиқ бўлади. Галоид ионлар оксид плёнкасини парчалайди. Бунда  $\text{F}^-$  ва  $\text{C}^-$  ионлари  $\text{Br}^-$  ва  $\text{I}^-$  ионларига нисбатан кўпроқ плёнкани бузиш таъсириға эгадир. Хром кислотаси ва азот кислотаси каби оксидлаш хоссаларига эга бўлган тузларнинг эритмасида алюминийнинг

бардошлилиги юқори. Шунинг учун аммиак селитраси ва капралактам ишлаб чиқариш соҳасида алюминийдан кенг фойдаланилади.

Юқори оксидлаш хоссасига эга бўлган, концентрланган азот ва сульфат кислоталарида алюминийнинг коррозия бардошлилиги юқори.

Алюминий ва унинг қотишмалари уксус кислотаси ва формальдегид ишлаб чиқариш саноатида кенг қўлланилади. Ҳарорат 65°C дан юқори бўлмаганда алюминий усус кислотасининг 1 дан 99 масс.% гача бўлган интервалдаги исталган концентрациясида етарлича бардошли ҳисобланади. CH<sub>3</sub>COOH нинг 98-99,8 % ли концентрацияларидан ташқари кислотанинг қайнаётган эритмасида алюминий чидамсиздир (7.6-жадвал).



7.11-расм. Алюминий учун 24 соатда коррозия тезлигининг – (1) ва электрод потенциалининг хлоридли эритма рН ига боғлиқлиги

7.6-жадвал

Уксус кислотасида алюминийнинг коррозияланиши (мм/йил)

Алюминий, 99,7 %	Кислота концентрацияси, масс. %	Ҳарорат, °С	Коррозия тезлиги, мм/йил
	3 – 30	20	0,011
	–	қайнаш т.	9,1
	40	20 – 50	0,08
	–	қайнаш т.	6,4
	98 – 98,8	20	0,001
	–	50	0,007
	–	қайнаш т.	0,17

Томчисимон ва буг ҳолдаги симоб алюминий ва унинг қотишмалари емирилишига кучли таъсир қилади. Суюқ муҳитларда, баъзан эса нам атмосферада ҳам алюминийнинг симоб билан қисқа вақтдаги контакти унинг емирила бошлашига сабаб бўлади. Америкалик мутахассислар олиб борган тадқиқотларнинг натижаларига кўра уксус кислотасидаги 0,000004 масс.% симоб концентрацияси ҳам алюминийнинг коррозияланишига олиб келади.

Формалдегид ишлаб чиқаришда алюминийдан (софлиги ≥ 99,5 %) реакторлар, дистилляция колонналар иссиқлик алмаштиргичлар ва бошқа



жихозлар тайёрланади. Формалдегид эритмаларини ажратиш учун алюминийдан тайёрланган колонналар 0,01 дан 0,05 МПа гача бўлган босим интервалида ишлайди. Катта босим остида ишлайдиган аппаратлар учун легирланган қотишмалар (таркиби % ларда) 3,5 Mg; 0,25 Cr; 0,1 Cu; 0,1 Mn; 0,2 Zn; 0,45 Fe + Si қўлланилади. Бундай қотишмаларнинг хизмат қилиш муддати соф алюминийники каби 10 йил сифатида баҳоланади.

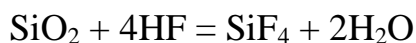
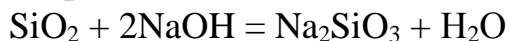
Газ муҳитларидаги олтингугуртли бирикмалар алюминийга таъсир қилмайди. Шу сабабли алюминий каучук вулканизациялаш ва олтингугуртли нефтларни қайта ишлаш аппаратларини ясашда ишлатилади. Қуруқ водород хлориди ва газ ҳолидаги NH<sub>3</sub> ҳам алюминийга таъсир қилмайди.

Алюминий сиртидаги химоя плёнкаси ишқорли муҳитларда эриганлиги боис бундай шароитларда коррозия водород деполяризацияси орқали амалга ошади.

Алюминийнинг коррозион бардошлилиги кўп ҳолларда унинг таркибидаги аралашмаларга боғлиқ. Кимё саноатида ишлатиладиган қурилма ва жихозлар, плакирланган материаллар тайёрлашда максимал коррозион бардошлилика эга бўлган юқори даражадаги соф алюминийдан фойдаланиш зарур. Масалан таркибидаги алюминийнинг миқдори 99,90 % ва 99,85 % бўлган АВ1 АВ2 маркали ёки жуда юқори талаблар қўйилмаган ҳолларда алюминийнинг миқдори 99,7 % ва 99,6 % бўлган А00 ва А0 маркаларидан фойдаланиш тавсия этилади.

*Алюминий қотишмалари – дюралюминлар* қуйидаги таркибга эга: (2,0-7,0)% Cu; (0,4-1,8)% Mg; (0,3-0,9)% Mn (маркалар Д1, Д6, Д8, Д16, Д20). Дюралюминий юқори механик мустаҳкамликка ва паст коррозион бардошлиликка эга. Уни соф алюминий билан плакирлаш орқали кимёвий саноатда ишлатиш мумкин.

*Алюминий қотишмалари – силуминлар* қуйидаги таркибга эга: (0,8-13,0)% Si; (0,2-4,5)% Cu; (0,5-13)% Mg (маркалар А11, АЛ13, АЛ20, АЛ25). Силуминлар яхши қуйиш хоссаларига ва оксидловчи муҳитларда етарлича коррозион бардошлиликка эга. Уларнинг сирт химоя қатламлари Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ва SiO<sub>2</sub> лардан ташкил топган. Бироқ бу химоя плёнкалари ишқорли муҳит ва ўювчи кислотада парчланади:



Алюминий-мис қотишмасига марганец ёки магнийнинг қўшилиши унинг механик мустаҳкамлиги ва коррозион бардошлилигини яхшилади. Бу металлларнинг қотишма таркибидаги миқдори 4 дан 12% гача Mg, ва 1% гача Mn, баъзан 0,1 % Ti (АМц ва АМг маркалар) бўлиб, ўзида юқори механик ва коррозиябардошлик хоссаларини мужассамлаштиради.

Алюминий асосидаги қотишмалар кўпгина металл ва қотишмалар билан контактда бўлганда турғун эмас. Айниқса мис ва унинг қотишмалари, темир ва унинг қотишмалари билан контакти хавфли ҳисобланади.

### 7.2.2. Магний (Mg) ва унинг қотишмалари.

Магнийнинг зичлиги  $\rho = 1,74 \text{ г/см}^3$ , эриш ҳарорати  $t_{\text{эриш}} = 1246^\circ\text{C}$ , сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,04 \text{ мг/л}$ . Конструкция материал сифарида авиасозликда ва протекторлар тайёрлашда ишлатилади.

Стандарт реакция потенциали  $\text{Mg}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Mg}$  реакцияси учун  $-2,37 \text{ В}$ . Пассивланиш қобилияти юқори бўлсада, алюминийга нисбатан пастроқ.

Магний кислоталарда барқарор эмас, айниқса юқори концентрацияларида. Хромли ва ўювчи кислоталар бундан мустасно. Оксидловчилар бор жойда магний пассивлашади, HF муҳитида эса унинг сиртида эримайдиган  $\text{MgF}_2$  плёнка ҳосил бўлади.

Магний органик кислоталарда, нейтрал тузли эритмаларда ва ҳатто тоза сувда ҳам барқарор эмас.

Магнийнинг коррозияси водород деполяризацияси орқали кечади. Шунинг учун паст водородли қайта кучлланишга эга бўлган металлларнинг (Fe, Ni, Co, Cu каби) магнийга жуда оз миқдордаги юқиши ҳам унинг коррозия бардошлилигини кескин пасайтиради.

Юқори ҳароратларда магний ҳавода осонгина оксидланади. Суюқ магнийнинг оксидланиши тезланиш билан амалга ошиб, ўз-ўзидан спонтан ёниб кетиши ҳам мумкин. Магнийга  $0,001\text{--}0,01\%$  бериллийнинг қўшилиши унинг иссиқбардошлигини оширади ва қотишманинг ишчи ҳароратини  $680^\circ\text{C}$  дан  $800^\circ\text{C}$  гача кўтаради.

Магний асосидаги қотишмалардан энг кўп тарқалганлари – алюминийли ( $10\%$  гача Al) рухли ( $3\%$  гача Zn) ва марганецли (до  $2,5\%$  гача Mn) қотишмалардир.

Магнийли қотишмалар (МЛ-4 ва МЛ-5) пўлат конструкцияларини тупроқ ва денгиз суви муҳитларида коррозиядан химоялаш учун протекторлар сифатида кенг қўлланилади.

### 7.2.3. Мис (Cu) ва мисли қотишмалар.

Мис – оч пуштиранг, чўзилувчан металл бўлиб, осонгина юпка листлар-гача ёйилади, иссиқликни ва электр токини жуда яхши ўтказади.

Миснинг зичлиги  $\rho = 8,92 \text{ г/см}^3$ , эриш ҳарорати  $t_{\text{эриш}} = 1083,4^\circ\text{C}$ , сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,001 \text{ мг/л}$ . Ер қобиғидаги миснинг умумий миқдори  $0,01\%$  ни ташкил қилади.

Миснинг стандарт электрод потенциали  $\text{Cu}^+ + e \rightarrow \text{Cu}$  реакция учун  $+0,52 \text{ В}$  га,  $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$  жараён учун  $+0,337 \text{ В}$  га тенг. Шундай қилиб, икки валентли мис ионлари ҳосил бўлиш жараёнининг термодинамик эҳтимоллиги юқоридир. Одатда миснинг коррозияланишида у эритмага  $\text{Cu}^{2+}$  ионларини

ҳосил қилиб ўтади. Миснинг 3 % ли NaCl эритмасидаги стацио-нар потенциали +0,05 В бўлиб, 1N HCl эритмасида эса +0,15 В ни ташкил қилади. Шунинг учун оддий шароитларда мис эритмадан водородни сиқиб чиқармайди, яъни у водород деполяризацияси билан коррозияланмайди.

Комплекс ҳосил қилувчиларнинг (KCN, NH<sub>3</sub>) ёки оксидловчиларнинг (HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) эритмаларида, ҳатто эритма орқали кислород ёки ҳаво ўтказилганда ҳам миснинг оксидланиш тезлиги кескин ортади (7.7-жадвал).

7.7-жадвал

Водород ва кислород аэрациясининг кислоталардаги миснинг коррозия тезлигига таъсири

Кислота	Концентрация, %	Коррозия тезлиги, мг/(см <sup>2</sup> ·сут)	
		Водород ўтказилганда	Кислород ўтказилганда
Водород хлорид	4	105	8600
Сулфат	6	22	920
Лимон	50	29	170
Уксус	6	8	143

Азотли ва хромли каби оксидловчи кислоталар ҳаттоки эритилган ҳолда ҳам мис ва мис қотишмаларининг коррозияланишига олиб келади. Миснинг пасивланиш қобилияти жуда суст эканлиги аниқланган. Атмосфера шароитида мис барқарор бўлиб, унинг сиртида CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub> турдаги ҳимоя қатламлари ҳосил бўлади.

Ишлаб чиқариладиган миснинг 50% дан ортиқроғи электротехника саноатида, 30-40% қотишмалар тайёрлашда, қолган қисми эса иссиқлик алмаштиргичлар, совуткичлар, вакуум аппаратларини тайёрлашда ишлатилади.

Мис кўпгина металллар билан қаттиқ эритмалар ҳосил қилади. Шунинг учун мисли қотишмаларнинг структураси асосан биржинслидир. Мис қотишмаларда термодинамик барқарорлик ҳосил қилади.

Мис қотишмаларида ҳам коррозия жараёнларининг кечиш шароитлари соф мисниқига ўхшайди: улар тузли эритмаларда ва эритилган оксидловчи бўлмаган кислоталарда етарлича барқарор ҳисобланади. Агар формалинли аралашмаларда чуқоли кислотаси бўлмаса ва қурилмага ҳаво кирмаса мис формалин ишлаб чиқариш саноатининг дистилляциялаш колонналарида қўлланилиши мумкин. Формалдегид, сув ва метил спиртининг қайнаб турган аралашмасида миснинг коррозия тезлиги йилига 0,05 мм дан ошмайди.

Миснинг эриш температураси 1083°C бўлиб, у оловбардош материал ҳисобланмайди. Бироқ у баъзан юқори ҳароратли конструкцияларда ҳам ишлатилади.

Мисни бошқа металл компонентлари билан легирлаш қотишманинг газ коррозиясини кескин ўзгартириши мумкин. Мисни бериллий (2,5% гача),

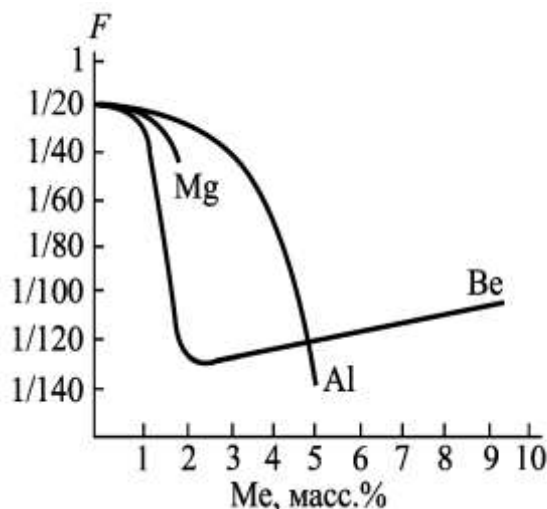
магний (5% гача) ва алюминий (5% гача) билан легирлаш натижасида миснинг газ коррозиясига нисбатан бардошлилиги кескин ортади (7.12-расм).

Юқори ҳароратларда (900°С гача) ишлатиш учун миснинг алюминийли (10 % гача Al) ва бериллийли бронзаларидан фойдаланилади.

**Латунлар** – миснинг рух билан ҳосил қилинган қотишмалари (45 % гача Zn) ҳисобланади. Махсус латунлар яна қўшимча равишда Si, Al, Ni, Cr, Mn ва бошқа компонентлар билан легирланади. Махсус латунлар коррозиябардошлилиги бўйича мисдан қолишмайди. Оддий латунга алюминий, марганец ёки никелнинг киритилиши қотишманинг атмосфера коррозиясига, кремнийнинг киритилиши эса – денгиз суви коррозиясига чидамлилигини оширади. Латунлар ва бронзаларнинг механик хоссалари, кимёвий таркиби ва қўлланилиш соҳалари 7.8-жадвалда келтирилган.

Латунлар буғ-қувватли қурилмалардаги конденсатор қувурларини, айниқса тез айланувчи денгиз суви билан совитиладиган карабл конденсаторларининг қувурларини тайёрлаш материаллари сифатида кенг қўлланилади. Рухсизланиш деб аталадиган коррозия тури оддий латунлар учун характерлидир. Сиртнинг маълум бир қисмларида латун ўзига хос емирилишга учрайди ва натижада тўкиладиган юмшоқ мис қатлами вужудга келади. Дастлаб эритмага бир вақтнинг ўзида рух ва мис ўтади. Шундан кейин мис ионлари эритмадан қайта ажралади, чўкма ҳосил қилган мис қўшимча катод вазифасини бажариб, латуннинг электрокимёвий коррозиясини тезлаштиради. Натижада эритмага рух ионлари ўтади, вақт ўтиши билан коррозия шунчалик чуқур тарқаладики, материалда тешиб ўтилган бузилишлар кузатилади. Агарда рухсизланиш жараёни кечмаса, денгиз сувидаги латуннинг емирилиш тезлиги унча катта бўлмасдан 0,008–0,01 мм/йил ни ташкил қилади. Латунларнинг рухсизланишини камайтириш учун қотишма қўшимча равишда қалай, никел, алюминий ва кўпинча 0,001–0,012% миқдорда мишьяк билан легирланади.

Латунлар ишлатилиш шароитида коррозион ёрилишга мойилдирлар. Бу ходиса атмосфера таркибида аммиак ёки олтингугурт ангидриди бўлган ҳолларда шунингдек аммиак, аммиак комплекслари ёки цианид тузлари



7.12-расм. Магний, бериллий ва алюминий қўшимчаларининг миснинг оксидланиш тезлигига таъсири (ҳавода, 800°С ҳароратда)

## 7.8-жадвал

Босим остида ишлов бериладиган баъзи латун ва бронзаларнинг кимёвий таркиби, хоссалари (тобланган ҳолдаги) ва қўлланилиши

Қотишма маркаси	Кимёвий таркиби, % масс				Қўзилишга мустақамлик чегараси, МПа	Нисб. узайиш, %	Асосий тайёрланадиган маҳсулот
	Cu	Al	Fe	Sn			
<b>Л А Т У Н Л А Р</b>							
Л80	79-81	—	—	—	320	52	Лист, лента, сим
Л90	88-90	—	—	—	260	45	Лист, лента, сим
Л96	95-97	—	—	—	240	50	Лента, тасма, қувур
ЛА72-2	76-79	1,75-2,5	—	—	400	55	Қувурлар
ЛАЖ60-1-1	58-61	0,75-1,50	1,75-1,5	—	450	45	Қувур, прут
ЛО70-1	69-71	—	—	1-1,5	350	60	Қувур
ЛО74-3	—	—	—	2,4-3 Pb	350	50	Лента, тасма, прут
<b>Б Р О Н З А Л А Р</b>							
Бр.А7	92-94	6-8	—	—	600	10	Лента, тасма, прут
Бр.А5	94-96	4-6	—	—	380	65	Лента, тасма
БрАЖН10-4-4	78-83,5	9,5-11	3,5-5,5	3,5-5,5Ni	650	5	Прут, қувур
Бр.АМц9-2	86,5-89,5	9-11	1,5-2,5 Mn	—	450—500 Тобл. кейин	20 30	Лента, тасма, прут Пружина
Бр.Б2	98	2,0 Be	—	—	1300 Тоблан.к	2- 4	Мембрана

бўлган эритмаларда кузатилади. Латунларни қўшимча равишда кам миқдордаги (0,5 %) кремний билан легирлаш уларнинг коррозион ёрилишга бўлган чидамлилигини оширади. Таркибида 20 % Zn бўлган латунларнинг механик ва технологик хоссаларини яхшилаш учун уларнинг таркибига 1 % дан кўп бўлмаган миқдорда кремний қўшилади.

Иссиқлик-кимёвий қурилмаларини тайёрлашда кўпинча таркибида 1–2% марганец бўлган ЛМц58-2 маркали, таркибида 1–1,5% қалай бўлган ЛО70-1 маркали латунлар ишлатилади. ЛО70-1 маркали латун денгиз сувида чидамли бўлганлиги сабабли унга «денгиз латуни» ёки «адмирал металл» деган ном берилган.

**Бронзалар** деб, миснинг қалай (Sn), шунингдек алюминий, кремний, марганец ва шу кабилар билан ҳосил қилган қотишмаларига айтилади.

Қалайли бронзалар – таркибида 13,8% дан кўп бўлмаган, кўпинча 8-10% Sn бўлган материалдир. Улар қаттиқ эритма ҳисобланади. Қалайли бронзалар оксидламайдиган минерал кислоталарда, денгиз сувида, ишқорли эритмаларда

яхши коррозион бардошлилик намоён қилади. Улар яхши антифрикцион ва қуйиш хоссаларига эга.

Алюминийли бронзаларнинг таркибида 9–10 % алюминий бўлиб, улар бир фазали структурага эга. Бундай бронзалар суюлтирилган кислоталарда, шунингдек хлорид, фосфор, уксус, лимон ва бошқа кўпгина органик кислоталарда сидамли ҳисобланади. Айниқса, таркибида 9,8% алюминий бўлган бронза ва таркибида кўшимча 4% темир бўлган алюминийли бронзалар (Бр.АЖ9-4) юқори коррозион бардошлиликка эгаллиги билан ажралиб туради.

Кремнийли бронзаларнинг таркибида 15 % гача кремний бўлиб, фақат таркибида 3–4 % кремний бўлган қотишмаларгина қаттиқ эритма структурасига эга.

Кимё саноатида кўшимча равишда марганец (Бр.КМц3-1) ва никел (Бр.КН1-3) билан легирланган кремнийли бронзалар ишлатилади. Бундай бронзалардан зарб таъсирида ҳам учкун чиқмаслиги сабабли улар босим остида ҳамда портлаш хавфи юқори бўлган шароитларда ишлайдиган жиҳозларни тайёрлашда қўлланилади.

#### 7.2.4. Никел (Ni) ва унинг қотишмалари

Никел ўзининг мустаҳкамлиги, қийин эриши, пластиклиги ва механик ишлов беришга лаёқатлилиги билан ажралиб туради. Никелнинг зичлиги  $\rho = 8,91 \text{ г/см}^3$ , эриш ҳарорати  $t_{\text{эриш}} = 1455^\circ\text{C}$ , сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори – 0,01 мг/л.

Никелнинг стандарт электрод потенциали  $\text{Ni}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ni}$  реакция учун – 0,25 В га тенг.

Никелда пассивланиш қобилияти бўлганлиги сабабли у юқори коррозион бардошлиликка эга (7.9-жадвал).

7.9-жадвал

Никел ва унинг қотишмалари учун коррозион бардошлилик шкаласи

Балл	1	2	3	4	5
Коррозион бардошлилик, $\text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	$\leq 0,0001$	0,0001–0,005	0,005–0,01	0,01–0,05	0,05–0,1
Балл	6	7	8	9	10
Коррозион бардошлилик, $\text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	0,1–0,5	0,5–1,0	1,0–5,0	5,0–10,0	>10,0

Оксидламайдиган, суюлтирилган хлорид (15 %гача), сульфат (70 % гача) ва бир қатор органик кислоталарда никел етарли даражада чидамли. Никелнинг коррозияланиши кўпинча кислород деполяризацияси орқали кечади. Шунинг учун кислород ёки ҳавонинг қатнашиши, муҳитнинг аралаштирилиши ва оксидловчиларнинг бўлиши никелнинг коррозияланиш тезлигига катта таъсир кўрсатади.  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{NaClO}$  каби оксидловчилар бўлган эритмаларда никелнинг коррозияланишини тезлашади.

Никел юқори ҳароратларда кўпгина органик муҳитларда, жумладан ёғли кислоталарда ва спиртларда ҳам коррозияга юқори чидамли. Шунинг учун озиқ-овқат саноатининг жуда кўп жиҳозлари никелдан тайёрланади.

Никелнинг асосий хоссаларидан яна бири – ишқорнинг барча концентрацияларида ва исталган ҳароратида унинг чидамлилигидир. Ишқорларни қайнатиб қуйилтириш ва эритиш жиҳозларини тайёрлашда никел энг яхши материал ҳисобланади. Бундай муҳитларда никел-темир қотишмаларига ҳам у коррозион бардошлиликни таъминлайди.

Ўзининг дефицитлиги ва зангламайдиган пўлатларнинг уни алмаштира олиши сабабли никелнинг конструкцион материал сифатида ишлаб чиқаришда қўлланилиши чеклангандир. Шундай бўлсада никел галваник химоя қопламаси сифатида ҳамда кўпгина қотишмаларни тайёрлашда компонент сифатида кенг қўлланилади.

Никелнинг мис, молибден билан қотишмалари ва Ni-Mo-Cr ва Ni-Cr-Fe системали қотишмалари ҳам юқори коррозион бардошлиликка эга.

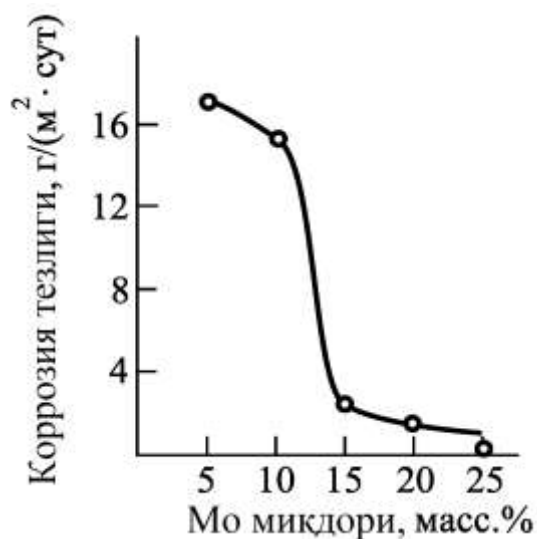
**Никелнинг мис билан ҳосил қилган қотишмалари.** Никел мис билан жуда кўп қаттиқ эритмалар ҳосил қилади. Таркибида никел миқдори 50 атом.% дан кам бўлган қотишмалар соф мисга яқин, никел миқдори 50 атом.% дан кўп бўлган қотишмалар эса никелга яқин коррозион характеристикаларга эга бўлади.

Қотишмалар ичида **монел-металл** номи билан машҳур 70 % Ni, 28 % Cu ва 1,5-2,5 % Fe таркибли қотишма жуда яхши коррозион чидамликка эга. Бу қотишма унинг таркибига кирувчи соф компонентларни кенга нисбатан ҳам юқори бўлган коррозион бардошлиликка эга. Шунингдек бу турдаги қотишмалар юқори механик ва технологик хоссаларга ҳамда мустаҳкамликка эга, яхши прокатланади, қуйиш ва кесиш жуда осон, босим остида ишлов бериш мумкин. Монел-металл концентрацияси унча юқори бўлмаган оксидловчимас ноорганик кислоталарда, юқори концентрацияли  $H_3PO_4$  эритмасида ҳамда ҳаво кириши чекланган ҳолдаги эритувчи кислотанинг барча концентрацияларида исталган температурада бардошли ҳисобланади.

Монел-К (таркиби: 66 % Ni, 29 % Cu, 0,9 % Fe, 2,75 % Al, 0,4 % Mn, 0,5 Si, 0,15% C) вақт ўтиб боргани сайин мустаҳкамлик характеристикаларининг яхшиланиб бориши билан бошқа қотишмалардан ажралиб туради. Никел-мис қотишмалари  $H_2SO_4$ , HCl,  $H_3PO_4$  ва шу каби муҳитларда ишлатиладиган қурилмаларда ишлатилади. Монел-К қотишмалари катта кучланиш остида ишловчи деталларни тайёрлаш учун ишлатилади.

**Никелнинг молибден билан ҳосил қилган қотишмалари хастеллой-лар** дейилади. Улар қаттиқ эритма ҳисобланиб, мустаҳкам, пластик ва кимёвий чидамлидирлар. Саноатда никелли қотишмаларнинг Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ), Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ), Хастеллой В-2, Nimofer S6928 маркалари ишлаб чиқарилади.

Таркибида 15% дан кўп молибден бўлган никел-молибден қотишмаси минерал кислоталарнинг эритмаларида чидамли бўлади. Таркибида 20 % дан кўп молибден бўлган қотишмаларнинг чидамлилиги айниқса юқори бўлади (7.13-расм).



7.13-расм. 10% ли 70°C хароратдаги HCl хлорид кислотасидаги Ni-Mo қотишмаси коррозия тезлигининг унинг таркибидаги молибден миқдorigа боғлиқлиги.

«Хастеллой В» (маркаси Н70МФ), қотишмаси 70% Ni ва 25-29 % Мо таркибга эга. У юқори хароратларда хлорид ва фосфор кислоталарининг исталган концентрациясида, қайнаш хароратидаги сульфат кислотасида (60% ли концентрация ва 150°C хароратгача) ва турли хлор ҳосилалари муҳитида бардошли ҳисобланади. Оксидловчи муҳитларда чидамсиз.

**Қўшимча хром киритилиши орқали «Хастеллой С»** маркали (ХН65МВ) қотишма яратилган, таркиби 65 % Ni, 16 % Мо, 15 % Cr, 4 % Fe. Бу қотишма оксидловчи муҳитларда, совуқ азот кислотасининг барча концентрацияларида, қайнаб турган азот кислотасининг 70% гача бўлган концентрацияли, таркибида Cl<sub>2</sub>, ClO<sup>-</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup> ва HF бўлган эритмаларида чидамлидир. Ni-Mo қотишмаларига ишлов бериш осон, яхши пайвандланади ва силлиқланади, улар кимё саноати учун қимматбаҳо конструкцион материал ҳисобланади.

**Никелнинг хром билан ҳосил қилинган қотишмалари – нихромлар** таркибида 35% гача хром бўлиб, ХН58В (ЭП795), Nicrofer 6030 маркалари чиқарилади. Бу қотишмалар фтор-ионли азот кислотаси эритмаларида юқори хароратларда ҳам юқори чидамлиликка эга. Нихромлар иссиқликка жуда чидамли ва юқори иссиқбардош ҳисобланади, аустенит структурали бўлиб, юқори электр қаршилигига эга. Нихромларнинг нимоник, инконел

**Никел-хром-молибденли қотишмалар** ХН65МВ, ХН65МВУ, Хастеллой С-276, Хастеллой С-22, Nicrofer S5923hMo маркаларда чиқарилади. Улар кенг гамма спектрдаги юқори даражали куйидаги агрессив муҳитларда юқори бардошлилик намоён этади: мис (20% гача) ва темир (35% гача) нинг хлорли



эритмаларида; хлор- ва фтор-ионлари билан ифлосланган сульфат, фосфор, уксус ва чумоли кислоталарнинг эритмаларида; куруқ хлор ва нам хлорланган водород муҳитида.

Никелли қотишмалар умумий ва локал коррозияга юқори бардошли, яхши пайвандланади, турли хилдаги аппаратураларни тайёрлашда яхши технологик тавсифларга эга.

### 7.2.5. Қалай (Sn) ва унинг қотишмалари

Қалайнинг стандарт мувозанат потенциали  $-0,136$  В га,  $0,5$  % ли NaCl эритмасидаги стандарт потенциали эса  $-0,25$  В га тенг. Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,112$  мг/л. Қалай оқ-кумушранг металл бўлиб, ҳавода вақт ўтиши билан хиралашиб боради, унинг икки хил модефикацияси мавжуд. Одатдаги металл модефикацияси ( $\beta$ -фаза) зичлиги  $\rho = 7,31$  г/см<sup>3</sup>, эриш ҳарорати  $t_{\text{эриш}} = 231,9^\circ\text{C}$  бўлган «**оқ қалай**» деб юритилади. Ундан енгилроқ, яъни зичлиги  $\rho = 5,85$  г/см<sup>3</sup> бўлган металлоид модефикацияси ( $\alpha$ -фаза) «**кулранг қалай**» деб номланади. Кулранг қалай  $+13^\circ\text{C}$  дан паст, оқ қалай эса  $+13^\circ\text{C}$  дан юқори ҳароратларда барқарордир. Оқ қалайнинг кулранг қалайга ўтиш максимал тезлиги  $-48^\circ\text{C}$  ҳароратда кузатилади.

Қалай сульфат ва хлорид кислоталарининг эритмаларида, шунингдек, органик кислоталарда бардошли. Минерал кислоталарнинг концентрацияси ортиши билан қалайнинг коррозияланиши тезлашади. Азот кислотасида қалай кучли емирилади, ишқорларга у чидамсиз. Атмосфера шароитида қалай анча барқарор.

Қалай бронза ишлаб чиқаришда ва антифрикцион хусусиятларга эга бўлган қотишмалар, яъни баббитлар ҳосил қилишда қўлланилади. Баббитлар таркибида  $90\%$  гача Sn бўлади. Қалай ва қўрғошиннинг юмшоқ, тез эрувчан қотишмалари кавшарлашда жуда кўп ишлатилади.

Қалай асосидаги қотишмалар электротехникада кенг қўлланилади. **Станиол** – электроконденсаторлар тайёрлаш учун асосий маҳсулот ҳисобланади, у  $95$  % қалайдан ташкил топган.

### 7.2.6. Қўрғошин (Pb).

Қўрғошин – эриш температураси унча юқори бўлмаган ( $t_{\text{эриш}} = 327,4^\circ\text{C}$ ), паст иссиқлик ўтказувчанликли, катта зичликка эга бўлган ( $\rho = 11,34$  г/см<sup>3</sup>) юмшоқ металл ҳисобланади.

Қўрғошиннинг стандарт электрод потенциали  $\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$  реакция учун  $-0,126$  В га тенг. Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,006$  мг/л. Қўрғошиннинг коррозион бардошлилиги унинг коррозия маҳсулотлари барқарорлиги орқали аниқланади.

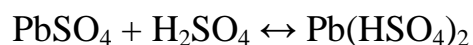
Коррозион материал сифатида софлиги камида  $99,2$  % бўлган қўрғошин ишлатилади. Қўшимчалар сифатида қўшиладиган Cu, Sn, As, Fe, Bi компо-

нентлари кўрғошиннинг мустаҳкамлик кўрсаткичларини яхшиласада, унинг пластиклигини камайтиради.

Кўрғошин азот ва уксус кислоталарида барқарор эмас, чунки кўрғошиннинг нитратлари ва ацетатлари эрувчан. Кўрғошин ишқорларда ҳам турғун эмас, чунки унинг гидроксидлари ишқорларда осон эриб, плюмбитлар –  $PbO_2^{2-}$  ва плюмбатлар –  $PbO_3^{2-}$  ҳосил қилади.

Кўрғошин сульфат ва фосфор кислоталаридаги ўзининг юқори коррозия бардошлилиги билан ажралиб туради. Уларнинг тузли эритмалари учун ҳам бу ҳолат ўринлидир. Кўрғошин коррозиясининг эримайдиган маҳсулотлари сиртга ўтириб, мингдан бир неча минг молекуляр қатламгача бўлган қалинликда металл билан мустаҳкам боғланган плёнка ҳосил қилади.

Иссиқ сульфат кислотасида 80% гача бўлган концентрацияда ва совуқ  $H_2SO_4$  да 96% гача бўлган концентрацияда кўрғошиннинг эримайдиган  $PbSO_4$  тузи ҳосил бўлади. Сульфат кислотасининг янада юқори концентрацияларда ва олеумда кўрғошин турғун эмас. Бундай шароитларда қуйидаги реакция боради:



Кўрғошиннинг бисульфати яхши эрувчанликка эга бўлганлиги учун кўрғошин коррозиясининг тезлиги кескин ортади.

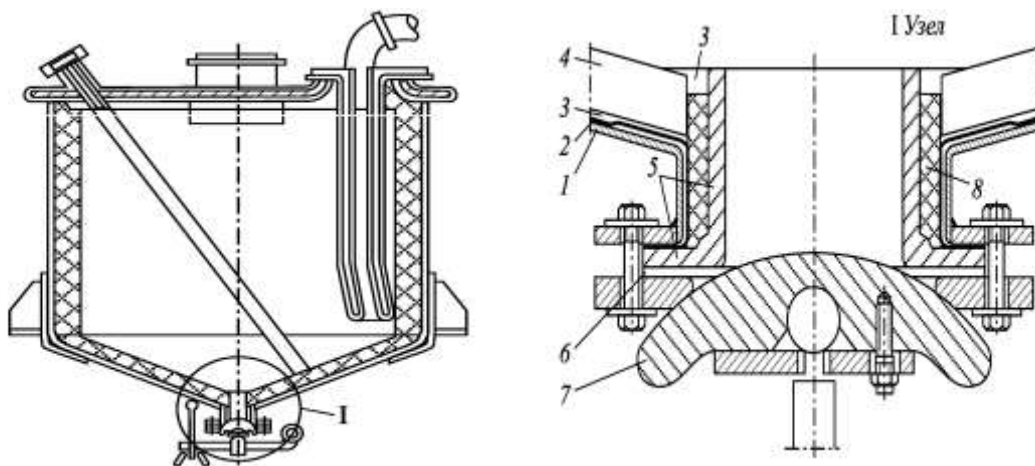
Кўрғошинга 0,03-0,10 % теллурнинг қўшилиши  $H_2SO_4$  нинг юқори концентрациялари ва юқори ҳароратларида кўрғошиннинг коррозия бардошлилигини яхшилайди. Масалан, 78% ли  $H_2SO_4$  эритмасида легирланган кўрғошин 100–115 °С ҳароратда ҳам бардошли бўлади (7.10-жадвал).

Теллурнинг қўшилиши қотишмадан қоплама сифатида фойдаланиладиган материаллар ва қувурларнинг чарчашга ва коррозияга бўлган қаршилигини оширади. Шунингдек қотишманинг титрашга ва механик юктамаларга бўлган чидамлигини яхшилайди.

#### 7.10-жадвал

Сульфат кислотасидаги кўрғошин ва унинг қотишмаларида коррозия тезлиги

Материал	Концентрация $H_2SO_4$ , масс.%	Температура, °С	Коррозия тезлиги, мм/йил
Кўрғошин	45–33	20	0,02–0,08
	40–50	90	0,09–0,11
	78	53–57	0,18
	78	95–100	0,24
	98	90	0,36
Сурмали кўрғошин	50	40	0,016–0,018
	78	100–115	0,16
	95,6	20	0,44
Теллури кўрғошин	78	100–115	0,06
	95,6	20	0,17



**7.14-расм. Ювувчи кислота тўплагичининг антикоррозион химояси.**

1 – углеродли пўлат корпус; 2 – полиизобутилен ( $\delta=2,5\text{мм}$  икки қаватли, 88-Н елимда, чоклари пайвандланган); 3 –кислотабардош силикат сурковли шпатлевка; 4 – кислотабардош ғишт; 5 – гартблейдан вкладиш; 6 – прокладка; 7 – гартблейдан клапан; 8 – андезит сурковли асбест чилвир

Органик кислоталар ёки юқори фойзли карбон кислоталари бўлган ер ости сувларида кўрғошин коррозияланади. Бундай шароитларда етарлича эрувчанликка эга бўлган кўрғошиннинг бикарбонатлари –  $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2$  ҳосил бўлади. Кўрғошин атмосфера шароитида, айниқса таркибида  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  бўлган индустриал атмосфера шароитларида юқори бардошлилик намоиш этади.

Кўрғошиннинг юқори заҳарлилигини ҳам айтиб ўтиш жоиз.

Кўрғошиндан тайёрланган листлар кимё саноатида кимёвий аппаратларни, галваник ванналарни, кристаллизаторларни астарлаш учун ҳамда, қувурлар ва газ мўрилари тайёрлашда кенг қўлланилади. Шунингдек у алоқа кабелларининг қобиғини тайёрлашда, рентген нурларидан химояланишда, аккумуляторлар тайёрлашда кенг қўлланилади.

Сулфат кислотаси саноатида кўрғошин қоплама материал сифатида унча катта бўлмаган сифимларда (вакуум-йиғичлар, ўлчов идишлари) ҳамда аппаратларнинг қўшалок бирикмаларида (7.14-расм), аппаратлар қопқоқларини гомоген кўрғошинлашда, конструкционный материал сифатида совутгичларнинг қувурларида ишлатилади. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг кичиклиги ундан иссиқлик алмашингичларда, зичлигининг катталиги эса конструкцияларни оғирлаштиришда ишлатиш

имконини беради. Кўрғошинни қўллаш мумкин бўлган ҳароратнинг юқори қиймати  $120^\circ\text{C}$ .

Кўрғошиннинг 6-12% Sb билан легирланган қотишмаси юксак механик ва қуйиш хоссаларига эга. У «**Қаттиқ кўрғошин**» ёки **гартблей** (ГОСТ 1292-57) номи билан кенг тарқалган. Ундан кислоталарни ювиш насослари-нинг ва юқори кучланиш остида ишловчи аппаратларнинг тайёрланади.

Қўрғошиннинг 1% Ag ва 1% As қотишмаси марганец диоксида ва водород пероксида олиш учун электрохимёвий ишлаб чиқаришда эрмайдиган анод материали сифатида ишлатилади.

### 7.2.7. Рух (Zn) ва унинг асосидаги қотишмалар

Рух тез эрийдиган ( $t_{\text{эриш}} = 419,6^{\circ}\text{C}$ ), юмшоқ ва унча мустаҳкам бўлмаган металл. Унинг зичлиги ( $\rho = 7,133 \text{ г/см}^3$ ), стандарт электрод потенциали  $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Zn}$  реакция учун  $-0,76 \text{ В}$  га тенг. 3% ли NaCl эритмасидаги стандарт электрод потенциали  $-0,83 \text{ В}$  га тенг. Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,01 \text{ мг/л}$ .

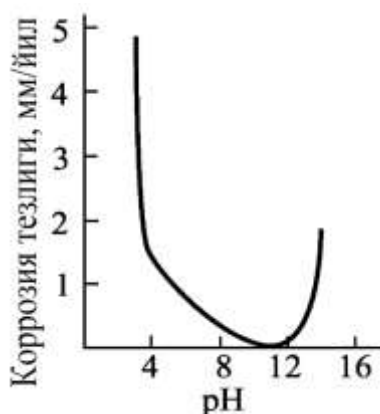
Темир ва пўлат буюмларнинг ҳимоя қопламаси сифатида рух кенг қўлланилади. У ҳам водород, ҳам кислород деполяризацияси орқали коррозияланиши мумкин.

Кислотали муҳитларда рух водород деполяризацияси орқали коррозияланади. Жуда оз миқдордаги бошқа металл қўшимчалари ҳам рухнинг коррозия тезлигига кескин таъсир қилиши мумкин. Бироқ кадмий, қўрғошин ва алюминий қўшимчалари коррозия тезлигига таъсир қилмайди. Темир, мис каби паст водород қайта кучланишли қўшимчаларнинг  $0,002-0,005 \%$  концентрацияли миқдори ҳам рухнинг коррозия тезлигини 10 ва ундан ортиқ мартага оширади.

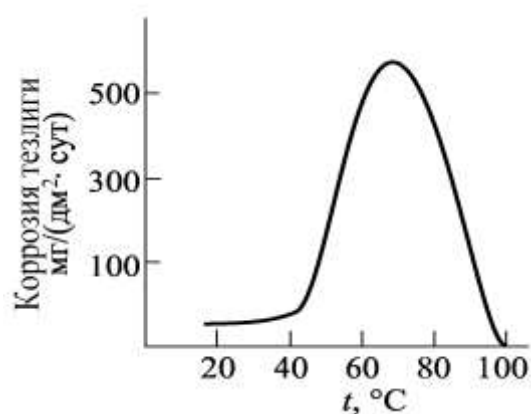
Нейтрал эритмаларда рух кислород деполяризацияси орқали коррозияланади ва унинг таркибидаги техник қўшимчалар унинг коррозия чидамлилигига таъсир қилмайди. Металл сиртида рух гидроксиддан иборат ҳимоя плёнчалари ҳосил бўлади.

pH нинг 9 ва 11 интервалидаги қийматларида рух максимал бардошлилик намоиш этади (7.15-расм). pH нинг 7 дан сезиларли кичик ва 12 дан катта қийматли муҳитларда рух коррозиясининг кучайиши сабабли рухли қопламаларни қўллаш мақсадга мувофиқ эмас.

Рух сувда  $55^{\circ}\text{C}$  гача бардошли ҳисобланади (7.16-расм). Ҳарорат ортиши



7.15-расм. pH миқдорининг Zn коррозиясига таъсири.



7.16-расм. Ҳароратнинг дистилланган сувдаги Zn коррозияси тезлигига таъсири

билан коррозия тезлиги кескин ортиб, 70°C да максимумга эришади, сўнгра эса камайиб боради. Бундай қонуният 50°C ҳароратгача 95°C дан юқорида рухда юқори ҳимоявий хоссаларга эга бўлган зич плёнканинг ҳосил бўлиши билан тушунтирилади. (55-65)°C температуралар интервалида ҳосил бўлган плёнка бўш ва уқаланиб кетадиган бўлгани учун унинг ҳимоявий хоссалари жуда паст. 100°C да коррозия маҳсулотлари зичлашади, коррозион муҳитда кислороднинг эриши секинлашади.

Тоза ва денгиз атмосферасида рух чидамли, чунки гидроксидлар ва рух карбон кислотасининг асосий тузлари каби коррозия маҳсулотлари билан қопланган бўлади. Индустириал худудларнинг SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl билан ифлосланган муҳитларида рух ва рух қопламаларининг бардошлилиги сезиларли пасаяди.

Рух пўлатларни атмосфера коррозиясиасидан ҳимоялашда ишлатилади. Мисли, никелли, магнийли қотишмаларни олишда, аккумуляторлар ишлаб чиқаришда ва темир қотишмаларини электрохимёвий ҳимоя қилиш учун протектор сифатида фойдаланилади.

#### 7.2.8. Кадмий.

Кадмий оқ-кумушранг, юмшоқ металл. Унинг зичлиги ( $\rho = 8,65 \text{ г/см}^3$ ), эриш температураси  $t_{\text{эриш}} = 321,1^\circ\text{C}$ , стандарт электрод потенциали  $\text{Cd}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cd}$  реакция учун  $-0,40 \text{ В}$  га тенг. 0,5н. NaCl эритмасидаги стандарт электрод потенциали  $-0,52 \text{ В}$  га тенг. Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори 0,005 мг/л.

Кадмий осон болғаланадиган, чўзилувчан, листларга ёйилувчан ва сим тайёрлаш учун чўзилувчан.

Кадмийнинг пассивланишга қобилияти анча паст. Шунинг учун пассивланишга мойил бўлган темир билан контактида кўп ҳолларда кадмий анод вазифасини бажаради. Кадмий асосан пўлатга ва алюминий қотишмаларига анод қопламаси ҳосил қилиш учун ишлатилади. У коррозион табиати бўйича рухга жуда ўхшашдир. Нейтрал эритмаларда кадмий кислород деполяризацияси орқали коррозияланади. Рухдан фарқли ҳолда рН нинг ортиши билан кадмийнинг коррозияланиш тезлиги пасаяди.

Манфий электрод потенциалининг камроқлиги сабабли кадмий кислотали ва нейтрал эритмаларда рухга нисбатан юқори чидамликка эга. Ишқорли муҳитларда у анча бардошли.

Денгиз атмосфераси ва денгиз сувида кадмий бардошли. SO<sub>2</sub> ва SO<sub>3</sub> газлари муҳитида кадмий жуда тез емирилади.

Мис қотишмалари ҳосил қилишда кадмий кўп ишлатилади. Юқори захарлилиги сабабли ундан ҳимоя қопламалари сифатида фойдаланиш чегаралангандир.

### 7.2.9. Титан ва унинг қотишмалари.

Титан – қийин эрийдиган ( $t_{эриш} = 1725^{\circ}\text{C}$ ), енгил ( $\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$ ) металл ҳисобланади. Титаннинг стандарт электрод потенциали  $\text{Ti}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ti}$  реакция учун  $-1,63 \text{ В}$  га тенг.  $\text{Ti}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Ti}$  жараён учун эса электрод потенциали  $-1,21 \text{ В}$ . Сувдаги рухсат этилган чегаравий концентрация миқдори  $0,06 \text{ мг/л}$ .

Титан юқори мустаҳкамлик, пластиклик ва коррозия бардошлиликка эга. Ер қобиғидаги титаннинг миқдори  $0,58\%$  ни ташкил қилади, конструкцион материаллар орасида кенг тарқалганлиги бўйича алюминий, темир ва магнийдан кейин тўртинчи ўринда туради. Шундай қилиб титан термодинамик фаол металл ҳисобланади. У оксидлаш хоссаларига эга бўлган ва хлорид-ионлари мавжуд муҳитларда чидамли ҳисобланади. Шунинг учун титан хлорли кислоталар билан иш кўриладиган муҳитлар учун турли хилдаги аппаратлар, насослар ва коммуникациялар тайёрлашда қўлланилиши мумкин.

Азот кислотасининг исталган концентрациясида, ҳатто қайнаш темперасида ҳам титан бардошли ҳисобланади. Унинг коррозия тезлиги бундай муҳитларда  $0,1 \text{ мм/йил}$  дан ошмайди.

Титан эриш тезлигининг сульфат кислотаси концентрациясига боғлиқлиги мураккаб характерга эга. Бу боғланиш жараёни иккита максимумга эга –  $40\%$  ва  $75\%$  концентрацияларда. Олимлар бундай ҳодисани  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$  тизимда титан физик-кимёвий хоссаларининг ва электр ўтказувчанлигининг ўзгариши билан боғлиқ деб ҳисоблайдилар.

Газ ҳолатидаги қуруқ хлор титаннинг кучли коррозияланишига олиб келади, бу эса унинг уз-ўзидан алангаланишига олиб келиши мумкин. Хлорда намликнинг жуда оз миқдорда бўлиши ҳам (масалан,  $0,005\%$ ) титан коррозияланишини тўхтатиши мумкин.

Титан 12X18H9 маркали пўлатлар коррозияланадиган кўпгина органик муҳитларда ҳам юқори коррозия бардошлилик намоён этади (7.11-жадвал). Титаннинг ноёб хоссаларидан бири – унинг денгиз суви ва денгиз атмосферасида тўла коррозиябардошлигидир.

7.11-жадвал

Титан ва 18-8 типидagi зангламайдиган пўлатнинг баъзи муҳитлардаги коррозиябардошлиги

Коррозион муҳит	Температура, °C	Коррозия кўрсаткичи, мм/йил	
		Ti	Пўлат 12X18H9
$\text{H}_2\text{SO}_4, 75\% + \text{HNO}_3, 25\%$	90	10,95	0,183
Подшоҳ водкаси	25	0,00083	Жуда тез эрийди
50% ли чумоли кислотаси	90	0	0,35
5% NaCl қўшилган 50% ли уксус кислотаси	90	0,0018	0,474
Атмосфера коррозияси (денгиздан 24 м). 5 йиллик тадқиқот натижалари	25	0	0,0011

Титанни Al, Mo, Ta, Nb, Zn, Cu каби металллар билан легирлаганда янада юқориқ физик-механик ва коррозия хоссаларга эришиш мумкин. Титаннинг цирконий билан қотишмаси мустақкам, пластик ва коррозия бардошли. Титан оксидловчи ва хлорид-ионли муҳитларда ўзини яхши тутди.

Титан-молибден қотишмаси водород хлоридли, сульфат ва фосфор кислотали муҳитларда юқори коррозия бардошлилик намоён этади. Масалан, 3% молибден қўшилган титаннинг 100°C ҳароратдаги 5% ли H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> эритмасидаги коррозия тезлиги 23,5 марта, агар 5% Mo қўшилса – 117,5 марта камади.

Титан ва унинг қотишмалари кимё саноатида сульфат кислотаси, хлор ва катор органик бирикмалар ишлаб чиқариш аппаратларини тайёрлашда ишлатилади.

Титанни палладий (0,01 % дан 5,0% гача) ва платина билан легирлаганда унинг H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ва органик кислоталарда бўлган коррозия бардошлилиги кескин ортади.

Палладий ва платина билан легирланган титан, кимё саноати учун зарур бўлган конструкцион материал сифатида бебаҳо қўшалок сифатга – оксидловчи ва оксидламайдиган кислотали муҳитларда коррозиябардош хоссасига эга бўлади. 7.12-жадвалда титан ва унинг 0,2 % Pd ли қотишмалари учун қийсий характеристикалар келтирилган.

7.12-жадвал

Титан ва 0,2 % Pd ли титан қотишмаларининг коррозия бардошлилиги

Коррозия муҳит	Концентрация, масс. %	Температура, °C	Коррозия тезлиги, мм/йил	
			Ti	Ti+0,2% Pd
Хлорид кислотаси	5	Қайнаш т.	19,3	0,10
Сульфат кислотаси	5	Қайнаш т.	25,4	0,51
Фосфор кислотаси	5	150	8,15	0,15
Чумоли кислотаси	85	Қайнаш т.	4,26	0,10
Хлорли алюминий	25	Қайнаш т.	51,3	0,025
Хлорли калций	73	177	2,13	0

### 7.2.10. Тантал

Тантал – кумушранг, оғир ( $\rho = 16,6 \text{ г/см}^3$ ) жуда қийин эрийдиган ( $t_{\text{эриш}} = 3017^\circ\text{C}$ ), қаттиқ металл ҳисобланади. Яхши пластиклик ва юқори механик хоссаларга эга, ишлов бериш осон, яхши пайвандланади.

Тантал плёнкаларининг ҳимоя хусусияти туфайли барча металллар ичида энг юқори коррозия бардошли ҳисобланади. У хлорид ва азот кислоталарининг барча концентрацияси ва исталган ҳароратида, бардошли 145°C дан юқори бўлмаган фосфор кислотасининг 35% дан ошмаган концентрациясида чидамли ҳам. Тантал фақат ўювчи (плавиковый) кислотада чидамсиз.

Водород атмосферасида қиздирилганда, тантал гидридлар ҳосил қилиб, 740 ҳажмгача водородни ютади. Бундай водородланиш хона ҳароратида, танталнинг катод кутбланиши орқали электролитларда ҳам кузатилади. Водороднинг металлда ютилиши танталнинг кучли мўртлашувига сабаб бўлади.

Тантал ҳавода 300°C дан юқори ҳароратларда олий Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> оксиди ҳосил қилиб оксидланади. У газсимон фтор муҳитида ҳатто хона ҳароратида ҳам барқарор эмас, 300°C ҳароратли бром, 1000°C ҳароратли йод муҳитида емирилади.

Тантал Mo, W, Nb ва Ti каби металллар билан бир қатор каттик эритмалар ҳосил қилади. Унинг қотишмалари юқори мустаҳкамлик характеристикаларига эга. Улар мустаҳкам конструкцион материал сифатида кимёвий машинасозликда кенг қўлланилади. Бу қотишмалардан хлор ва бром аралашмасидан бром олиш, тозаланмаган хом ашёдан хлорид ва азот кислоталарини дистиллаш, сульфат кислотани регенерациялаш қурилмаларининг иссиқлик алмаштиргич аппаратлари тайёрлашда фойдаланилади. Шунингдек, танталдан ўта агрессив муҳитларда ишлатиладиган иситгичлар тайёрланади. Баъзи ҳолларда углеродли пўлатлардан тайёрланган аппаратларни қоплаш мақсадида ҳам тантал ишлатилади.

### **Еттинчи бобга тегишли услубий тавсиялар**

Бу бобда келтирилган маълумотларни *ўрганиш натижасида талаба қуйидагиларни билиши шарт:*

- темир асосидаги конструкцион материаллар;
- пўлатлар ва чўянлар;
- қотишмаларни легирлашнинг асосий тамойиллари;
- асосий металлларнинг коррозион характеристикалари;
- рангли металллар асосидаги конструкцион материаллар.

Ушбу бобда келтирилган маълумотларни *ўзлаштиш натижасида талаба:*

- конкрет технологик шароитларда ишлайдиган жиҳоз ва қурилмалар учун аниқ конструкцион материалларни танлай билиши;
- металллар ва қотишмаларга ташқи муҳитларнинг таъсир этиш характерини баҳолай олиши;
- конструкцион материалларнинг коррозиябардошлигини ошириш учун керакли легирловчи элементни асослай олиши ва қўллаш учун тегишли тавсиялар бера олиши;
- қотишмаларнинг коррозион бардошлилигини ошириш бўйича қўшимчаларни танлаш юзасидан мустақил фикрга эга бўлиши лозим.



## Назорат саволлари

1. Темирнинг электрокимёвий хоссаларини тавсифлаб беринг.
2. Коррозион плёнкалар қандай ҳосил бўлади?
3. Плёнкалар ҳимоявий хусусиятга эгами?
4. Қандай қотишмаларга пўлатлар дейилади?
5. Темир ва паст легирланган пўлатларнинг минерал ва органик муҳитлардаги коррозион хоссаларини айтиб беринг.
6. Қайси элементларни қўшиш пўлатларнинг коррозион бардошлилигини оширади?
7. Легирлаш нима ва у нима мақсадда амалга оширилади?
8. Хромнинг қўшилиши қотишмаларнинг коррозион хусусиятларига қандай таъсир кўрсатади?
9. Алюминийнинг электрокимёвий ва коррозион хусусиятларини айтинг.
10. Алюминий ва унинг қотишмалари қаерларда ишлатилади?
11. Магний ва унинг асосий хоссаларини тавсифлаб беринг.
12. Миснинг электрокимёвий ва коррозион хусусиятларини айтинг.
13. Латунлар ва бронзаларни таърифлаб беринг ҳамда уларнинг қўлланилиш соҳаларини айтинг.
14. Никелнинг асосий хоссаларини айтиб беринг.
15. Никел қўшилган конструкцион материалларнинг қўлланилиш соҳаларини айтиб беринг.
16. Озиқ-овқат саноатида қалайнинг қўлланилишига сабаб нима?
17. Қалай қўшилган қандай конструкцион материалларни биласиз?
18. Конструкцион материал сифатида кўрғошинга таъриф беринг.
19. Кўрғошиннинг коррозион бардошлилиги унинг тузлари ва гидроксидларнинг эришига боғлиқми?
20. Рух ва кадмий қўшилган конструкцион материалларнинг қўлланилиш соҳаларини айтиб беринг.
21. Титан ва унинг хоссаларини айтиб беринг.
22. Қотишмаларга титаннинг қўшилиши қандай ижобий натижалар беради?
23. Титан қўшилган конструкцион материалларнинг қўлланилиш соҳаларини айтиб беринг.
24. Танталнинг электрокимёвий ва коррозион хусусиятларини санаб беринг.

## Еттинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари

1. Темир ва углеродли пўлатларнинг коррозион характеристикалари
2. Замонавий коррозион бардошли пўлатлар.
3. Рангли металллар асосида олинган қотишмалар ва уларнинг коррозион хусусиятлари.
4. Коррозия маҳсулотлари нима? Занг нима?
5. Турли хилдаги пўлатларга мисоллар келтиринг.

6. Алюминийнинг қандай қотишмаларини биласиз?
7. Магний қўшилган конструкцион материалларга мисоллар келтиринг.
8. Никел қўшилган конструкцион материалларга мисоллар келтиринг.
9. Қалайнинг физик ва кимёвий хоссаларини айтиб беринг.
10. Рух ва кадмийнинг электрокимёвий ва коррозион хусусиятларини тавсифланг.
11. Тантал қўшилган конструкцион материалларнинг қўлланилиш соҳаларини айтиб беринг.
12. Хастеллой қотишмалари қандай материал ҳисобланади?
13. Нихромларнинг асосий хоссаларини санаб беринг.
14. Сульфат ва хлорид кислоталарининг эритмаларида, шунингдек, органик кислоталарда бардошли конструкцион материалларга мисоллар келтиринг.
15. Қўрғошинга теллурнинг қўшилиши унинг коррозион бардошлилигига қандай таъсир кўрсатади?

## VIII боб.

### НОМЕТАЛЛ МАТЕРИАЛЛАР ВА ҲИМОЯ ҚОПЛАМАЛАРИ.

#### 8.1. Ноорганик конструкцион материаллар

Кимё саноатида металллар ва қотишмалар билан бир қаторда металлмас конструкцион материаллар ҳам кенг қўлланилади. Табиий ва саноат шароитларда учрайдиган юқори агрессивликка эга бўлган муҳитларда легирланган қотишмалардан тайёрланган жиҳозларнинг ҳам хизмат қилиш муддати чекланган бўлади. Коррозияга қарши химояни ташкил қилишда қўшимча резерв – металлмас материаллар ҳисобланади. Улардан алоҳида аппаратлар ёки уларга шиша, ситаллар, винипласт, фаолит, графит каби материаллардан қисмлар тайёрланиши мумкин.

Кўп ҳолларда металлмас материаллар футеровкалар, обкладкалар ва бошқа химоявий қопламалар сифатида металл корпусларнинг актив муҳит билан контактда бўлмаслиги учун изоляциялаш мақсадида фойдаланилади. Кўпинча бундай қопламалар кўп қаватли бўлади. Буларнинг ҳаммаси металлмас коррозиябардош материалларнинг хоссалари-ни, коррозияга қарши химояни ташкил қилишда улардан фойдаланиш қонун ва қоидаларини мукамал билишни тақозо қилади.

Нометалл материаллар бир қатор алоҳида хоссаларга эга: иссиқлик ўтказувчанликнинг кенг диапазондаги қийматлари; унча юқори бўлмаган зичликлар; металллар билан яхши адгезия; агрессив муҳитлардаги бардошлилик. Бироқ кўпгина нометалл материаллар, айниқса органик авлодчилари фақат 150–200°C ҳароратгача чидайди, ҳароратнинг кескин ўзгаришларига бардош беролмайди, механик ишлов беришларга мойил эмас.

Кимёвий таркибига кўра нометалл материаллар **ноорганик материаллар** ва **органик материалларга** бўлинади.

**Ноорганик материалларга** тоғ жинслари, силикат материаллари, керамика ва б. киради.

**Органик материалларга** полимер маҳсулотлар, каучук асосли материаллар, графит ва унинг ҳосилалари ва б. киради.

Конструктив ўзига хослик нуктаи назаридан металлмас қопламалар вкладишлар ва монокат қалин қатламли қопламаларга бўлинади. Уларнинг принципиал фарқи шундаки, вкладишлар мустақил конструкцион материал сифатида «идиш ичидаги идиш» тамойили асосида ишлатилиши мумкин. Вкладишлардан фарқли ҳолда монокат қопламаларнинг ишга лаёқатлилиги ва уларнинг механик мустаҳкамлиги фақат уларнинг таглик билан адгезияланиш ҳолидагина таъминланиши мумкин. Шунингдек вкладишлар ва қопламалар қалинлиги билан ҳам фарқ қилиши мумкин. Вкладишларнинг қалинлиги бир

неча ўн миллиметр гача етсада, монолит полимер қопламаларининг қалинлиги 1,5-2 мм дан ошмайди.

Юқори агрессивликка эга бўлган муҳитларда барча қопламаларга кўйиладиган энг асосий талаб – изоляциялаш механизмининг кучли бўлиши, яъни қоплама муҳит билан таглик ўртасидаги контактни тўла бартарафлаши лозим. Бу масалани икки йўл билан ҳал қилиш мумкин: бир хил материал асосидаги мономер қопламанинг қалинлигини ошириш ёки турли хилдаги композицион материаллардан «сендвич» типидagi кўп қаватли қопламалардан фойдаланиш. Моноқопламаларнинг қалинлигини ошириш одатда, ички кучланишнинг вужудга келишига ва улар механик барқарорлигининг бузилишига сабаб бўлади.

Кимё ва нефтни қайта ишлаш саноатида кўп ҳолларда коррозидан ҳимоялаш мақсадида турли хилдаги материаллардан кўпқаватли қопламалар олинади. Қопламаларда одатда, турли функционал вазифаларга эга бўлган учта зонани ажратиб кўрсатиш мумкин:

- тупроқ, яъни ҳимояланадиган сиртга тегиб турган ва таглик билан боғлиқлик барқарорлигини аниқловчи қатлам;
- қопламанинг изоляцияловчи ва механик хоссаларини аниқловчи асосий (ўрта қисм) қоплама;
- агрессив муҳит билан бевосита контактда бўладиган сиртки қатлам.

Охирги қатлам баъзида қопламага абразивбардошлик, хўлланиш ва бошқа шу каби кўшимча специфик хоссаларини бериш учун фойдаланилади.

Ноорганик табиатга эга бўлган материалларнинг кимёвий турғунлиги асосан уларнинг кимёвий ва минералогик таркиби, ғоваклиги, структура тузилиши билан аниқланади. Кислоталарга бардошли материалларга эрмайдиган ёки қийин эрийдиган кислотали оксидлар – кремнезем, паст асосли силикатлар ва алюмосиликатлар киради. Таркибида асосий оксидлар бўлган материаллар ишқорларда чидамли бўлиб, минерал кислоталарда улар чидамли эмас. Уларга мисол тариқасида оҳактош, магнезит ва қурилиш цементларини келтириш мумкин.

Бардошлилик тўғрисида гап кетганда материалнинг минералогик таркиби ҳам катта аҳамиятга эга. Кўп ҳолларда полиминерал ҳисобланадиган табиий тоғ жинслари уни ташкил қилувчи алоҳида қисмлари термик кенгайиш коэффициентининг тулича эканлиги сабабли температуранинг кескин ўзгариши оқибатида дарз кетиб парчаланишга мойил. Кристалл тузилишга эга бўлган материалларнинг бардошлилиги аморф материалларникига нисбатан юқоридир.

### 8.1.1. Табиий силикат материаллари.

Кислотагаларга чидамли табиий ноорганик материалларга *гранитлар, бештаунитлар, андезитлар ва асбест* киради.

**Гранитлар** 70-75%  $\text{SiO}_2$ , 13-15%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва 7-10% магний, калций ҳамда натрий оксидларидан иборат. Иссиқликка чидамлилиги  $250^\circ\text{C}$  гача.

**Бештаунитлар**нинг таркиби 60-70%  $\text{SiO}_2$  дан иборат. Улар қаттиқ, кийин эрийдиган,  $800^\circ\text{C}$  гача иссиқликка чидамли, кислотабардош.

**Андезитлар** (59–62 %  $\text{SiO}_2$ ) кислотабардош, механик ишлов беришга мойил бироқ мустаҳкамлиги унча юқори эмас.

Асбест – магний силикат дигидрати  $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ҳисобланади. У оловга ва кислотага бардошли.

Тоғ жинсларига ишлов беришнинг қийинлиги ва материалларнинг қўполлиги ҳамда бесўнақайлиги уларнинг кенг миқёсда қўлланилишига имкон бермайди. Шундай бўлсада, баъзан улар баҳоси йўқ материал ҳисобланади.

Гранитдан электрофилтрларнинг корпуси, азот ва хлорид кислоталар ишлаб чиқаришда ютувчи миноралар, бром ва йод ишлаб чиқариш аппаратлари тайёрланади.

Бештаунитлар футеровка (ўтга чидамли материал) сифатида минерал кислоталар олиш аппаратларида қўлланилади.

Андезитлар ҳам футеровка ҳамда кислотабардош цементлар ва бетонлар учун тўлдирувчи сифатида ишлатилади.

Иссиқликка чидамли бўлган асбест – ип кўринишида филтрловчи мато, тўлдирувчи, жиҳозлар корпусларини изоляцияловчи материал сифатида фойдаланилади.

### 8.1.2. Сунъий силикат материаллари

Тош қуйиш – кристалл тузилишга эга бўлган материалларни эритиш ҳисобланади. Бунда тоғ жинслари қўшимчалар билан бирга  $1400\text{-}1450^\circ\text{C}$  хароратларда эритилиб, сўнгра қуйилган жиҳозларга термик ва механик ишлов берилади. Бу жараёнлар учун хом ашё сифатида базалт, диабаз, чўкинди жинслар шихтаси, металлургия шлакларидан фойдаланилади. Масалан, эритилган диабаз – 47-48%  $\text{SiO}_2$ , 15-16%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 15-16 %  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , 11-12 %  $\text{CaO}$ , 6-7 %  $\text{MgO}$ , 2-4 %  $\text{K}_2\text{O}$  таркибга эга.

*Тош қуймалар* эритувчи кислоталардан ташқари исталган реагентларга нисбатан юқори кимёвий бардошлилиги билан ажралиб туради. Улар юқори механик мустаҳкамликка (сиқилишдаги  $\sigma = 200\text{--}400$  МПа) ва ейилишга нисбатан катта қаршиликка эга. Уларни  $150^\circ\text{C}$  дан юқори бўлмаган хароратларда ишлатиш мумкин.

Кимёвий заводларда тош қуймаларидан аппаратлар тайёрлаш мақсадида ва футерлаш (қоплаш) материали сифатида кенг фойдаланилади. Диабаз

плиткалари сифими 6 – 8 м<sup>3</sup> бўлган минерал кислоталарни сақлаш ва ҳайдаш учун мўлжалланган аппаратларни, минерал кислоталарни аммиак билан нейтраллаш орқали аммиакли селитра ва аммоний сульфати олиш учун ишлатиладиган сатураторларни футерлаш мақсадида ишлатилади. Қуйма тошлардан шарсимон тегирмонлар тайёрланади: тегирмоннинг ичи базалт плиткалар билан футерланади ва тош қуйма шарлар билан тўлдирилади.

Тоғ жинслари эритмаларидан фасон жиҳозлари, қувурлар, тарновлар, абсорбцион колонналар қуйилади. Қуйма плиткаладан кимёвий заводларнинг махсус бўлимларини қуришда фойдаланилади.

*Силикат шишалар* юқори шаффофлиги, яхши механик чидамлилиги, кимёвий реагентларга нисбатан бардошлилиги ва паст иссиқлик ўтказувчанлиги билан ажралиб туради. Шиша ишлаб чиқариш саноати хоссалари ва мақсадига кўра жуда кўп турдаги маҳсулотлар тайёрлайди. Силикат шишаларнинг асосини кремний диоксиди – SiO<sub>2</sub> (65–75 %) ташкил қилади, қўшимчалар сифатида ишқорий ва ишқорий-ер металлари (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO) нинг оксидлари ҳамда кислотали оксидлардан фойдаланилади.

Силикат шишалар асосан конструкцион ва футеровка материаллари сифатида кенг фойдаланилади. Улардан змеевикли совутгичлар, ректификацион колонналар, аппаратураларнинг элементлари тайёрланади.

*Иссиқбардош шишалар* кам ишқорли, таркиби 63,3 % SiO<sub>2</sub>; 5,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 13,0 % CaO; 4,0 % MgO; 2,0 % Na<sub>2</sub>O; 2,0% F шихталардан тайёрланади. Бундай шишалар 1000–1100°C ҳароратгача бардошли ва 4,5-5,0 Мпа босимга чидади. Эгилишга мустаҳкамлиги 600–800 кг/см<sup>2</sup> ни ташкил қилади.

*Алюмомагнезиал шишалар* чидамли филтрловчи матолар тайёрлаш учун ишлатилади, 71 % SiO<sub>2</sub>; 3 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3,5 % CaO; 2,5 % MgO; 1,5 % K<sub>2</sub>O; 13-15 % Na<sub>2</sub>O таркибдан иорат. 80–100°C ҳароратли алюмомагнезиал шишалар хлорид кислотасига анча чиамли, сульфат кислотаси эса унга кучли таъсир кўрсатади. Хона ҳароратидаги, 60% концентрацияли фосфор кислотаси бундай шишаларга кучсиз таъсир қилсада, ҳарорат ортиши билан унинг емирувчи таъсири кучаяди. Алюмомагнезиал шиша толасидан тайёрланган толалар филтр-прессларда, барабанли филтрларда, ишқорли эритмаларни филтрлаш жиҳозларида қўлланилади.

*Кварц шиша* кристалл ҳолдаги энг тоза табиий кварцнинг турли кўринишлари, тоғ хрустали, томирли кварц ёки 98–99% SiO<sub>2</sub> таркибли кварц кумини эритиш йўли билан олинади.

*Шаффоф бўлмаган кварц шиша* 99,95% SiO<sub>2</sub>; 0,01% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,004% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,028% CaO; 0,012% MgO; 0,041 % Na<sub>2</sub>O таркибга эга. Кварц кумларини эритиш электр печларида амалга оширилади. Бунда кумга тикил-ган графит стержен орқали ток ўтказиш ёрдамида у 1700–1800 °C гача қизди-рилади. Стерженга тегиб турган кум қатлами аста-секин эрий бошлайди. Эриган кварц массаси кейинги ишлов бериш босқичига ўтади.

Кварц шиша юқори ҳароратли барча минерал ва органик кислоталарнинг исталган концентрациясига нисбатан чидамлидир. Хона ҳароратида бўлган эритувчи кислота ва 250 °С ҳароратда бўлган фосфор кислотаси бундан мустаснодир. Ишқорларнинг концентранган эритмалари, айниқса қиздирилганда кварц шишаларни эритади. Хлор, бром ва йод кварц шишаларга ҳатто 500 °С дан юқори ҳароратларда ҳам таъсир қилмайди. Техник кварц шишадан автоклавлар, реакторлар, абсорберлар, ретортлар, қувурлар ва бошқа жиҳозлар тайёрланади.

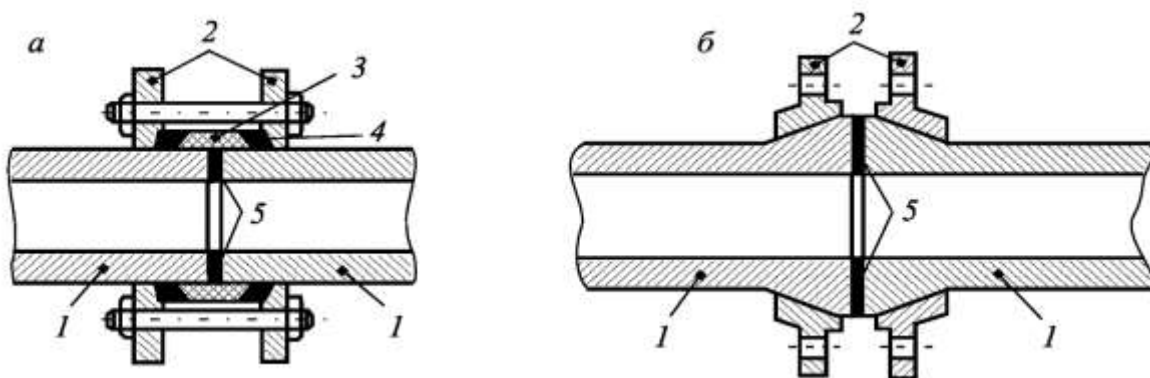
Кварц шишадан тайёрланган буюмлар 1100–1200°С ҳароратга узоқ вақт, ва 1300–1400 °С ҳароратга қисқа муддатга бардош бера олади. Бундай шишалар кичик зичлик (2100 кг/м<sup>3</sup>) ва юқори механик хоссаларга эга, ултрабинафша ва инфрақизил нурларни ўтказди, 1300 °С ҳароратгача газ ўтказмайди. Кварц шишалардан тайёрланган аппаратлар масалан, реактив хлорид кислотаси олишда ишлатилади.

*Ситаллар* деб шишани маълум бир шароитларда кристаллаш натижасида олинган кристалл структурали шиша материалларга айтилади.

Хом ашё сифатида минерализаторлар қўшилган шиша фойдаланилса техник ситаллар, агарда металлургия шлаклари олинса – шлакоситаллар ҳосил бўлади.

*Техник ситаллар* қаттиқ, минерал (эритувчи кислотадан ташқари) ва органик кислоталар ҳамда ишқорлар таъсирига нисбатан чидамли, оддий шишага нисбатан 5 марта мустаҳкам, 1000°С ҳароратгача бемалол чидади. Улардан кичик ҳажмли реакцион аппаратлар, горелкалар, термопараларнинг ғилофлари, ректификацион колонналарнинг қисмлари каби кимёвий қурилмаларнинг турли деталлари тайёрланади. Температура фарқи катта бўлган иссиқлик алмаштиргичлада ситалл қувурлар ишлатилади. Ситаллардан тайёрланган подшипниклар 540°С гача бўлган ҳароратларда мойлашсиз ишлатилиши мумкин.

Ситаллар кимёвий бардошлилиги бўйича силикат эмаллари ва шишага нисбатан жуда устун туради. Хоссалари бўйича диабаз ва базалтдан эритиб қуйилган қуйма тошлари деярли тенглашади. Масалан, АС-05, С-0,23; 224-18; Т-В6; ТС-81 маркали ситаллар кучсиз ва концентранган сулфат кислотаси эритмаларида етарлича юқори бардошлилик намоён қилади. Техник ситаллардан учи қабарикли ва текис қувурлар, шунингдек улар учун фасон қисмлар тайёрланади (8.1-расм). Бундай қувурларнинг хизмат муддати прокладка материалларининг ишлаш муддати билан деярли тенг бўлиб, 5–6 йилдан ортади. Улар Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> узатиш тизимида 80°С гача бўлган ҳароратларда ишлатилади.



**8.1-расм. Ситалл қувурларни улаш усуллари.** *а* – қабариксиз; *б* – қабарикли; 1– қувурлар; 2–қўзғалувчан фланцлар ёки хомутлар; 3–кимёвий чидамли материалдан муфта; 4–резина ҳалқалар; 5– кимёвий чидамли материалдан прокладкалар.

*Шлакоситаллар* мустаҳкам, минерал (эритувчи кислотада ташқари) ва органик кислоталар таъсирига нисбатан чидамли, аммо улардан 200–250°C гача бўлган ҳароратларда фойдаланиш мумкин. Улар қурилиш конструкцияларини тайёрлашда, шунингдек конвейерлар, ғалвир-машиналар, элеваторларнинг деталларини ясашда қоплама сифатида ишлатилади. Сталлар юқори ҳароратларда, агрессив газлар (хлор, хлорли водород, баъзи металлларнинг хлоридлари ва бромидлари) таъсирига бардошлидир.

### 8.1.3. Керамик материаллар

Керамик ва ўтга чидамли буюмлар шихтанинг эриш температерасини пасайтирувчи силикат материаллари ва моддаларни пишгунча ўтда қиздириш йўли билан тайёрланади. Асосий хом ашё сифатида таркибида 20 % дан кўпроқ  $Al_2O_3$  бўлган қум хизмат қилади. Қаралаётган материалларга кислотага чидамли эмал, тош-керамик маҳсулотлар, фарфор киради.

*Кислотага чидамли эмал* тоғ жинслари (қум, кварц қуми, бўр) ни юқори 1250 – 1300°C ҳароратда эритиш орқали олинадиган шишасимон масса ҳисобланади. Ундан ташқари, алоҳида хоссаларга эга бўлиши учун эмал таркибига  $NiO$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $Cr_2O_3$  оксидлари ва б. қўшилади.

Кислотага чидамли эмалнинг минерал ва органик кислоталарга бардошлилиги юқори. Оддий кислотага чидамли эмаллар концентрцияси 5% гача бўлган иссиқ ишқорли эритмаларда бардошли ҳисобланади. Махсус кислотабардош эмаллар кислоталар билан бир қаторда ишқорларнинг қайнаб турган 10% ли эритмаларида ва карбон диоксиди ишқорларининг 40% ли концентрацияларигача ишлатилиши мумкин.

Эмал билан қопланган буюмлар суюқликлар муҳитида 200°C, газсимон муҳитларда эса 600–700°C ҳароратгача ишлатилиши мумкин. Совуқликка чидамлилик – эмалланган пўлат аппаратуралар учун –70°C, чўян аппаратуралар учун эса –30°C ни ташкил қилади.



Эмалланган аппаратлар ишдан чиқишининг асосий сабабларидан бири катта ички кучланишнинг пайдо бўлишига ва ёрилишга олиб келувчи эмал билан метал иссиқлик кенгайиш коэффициентларининг орасидаги фарқ ҳисобланади. Эмаллаш учун таркибидаги углероднинг миқдори 0,1 % дан ошмайдиган пўлатлар ишлатилади.

Эмалланган жиҳозлар кимё саноатида хлорлаш ва нитратлаш жараёнларида, портловчи моддалар ва синтетик каучук, турли хилдаги органик, фармацевтик ва озиқ-овқат ишлаб чиқариш саноатида кенг қўлланилади. Кислотабардош эмаллар билан резервуарлар, реакторлар, вакуум-аппаратлар, автоклавлар, дистилляцияцион ва ректификацион колонналар қопланади.

*Шишасимон қопламалар* металл билан шишани биргаликда шишанинг эриш ҳароратигача қиздириш орқали олинади. Ҳимоянинг бундай тури *шишалаш*, қоплама эса *шиша-эмал* дейилади. Шиша-эмаллар оддий эмалларга нисбатан янада юқори эксплуатацион кўрсаткичларга эга. 5% ли  $H_2SO_4$  эритмасида шиша-эмал қопламаси емирилишининг коррозия тезлиги атиги 0,00021 мм/йил. Шиша-эмал қопламали қувурлар юқори механик мустаҳкамлиги, зарб, титраш ва эгувчи таъсирларга чидамлилиги билан ажралиб туради. Бундай қувурлар 100% ли коррозион бардошлилиги сабабли нефт ва нефт маҳсулотларини ташиш учун истиқболли ҳисобланади.

Керамик кислотабардош материаллар зич ва ғовак турларга бўлинади. Зич кислотабардош материаллар сувни кам ютиши, биржинслилиги ва майда доналиги билан характерланади. Ғовак керамика ғоваклиги ва юқори нам ютишлиги билан фарқ қилади. Керамик буюмлар таркиби 8.1-жадвалда келтирилган.

Зич керамика буюмлари минерал кислоталарда (эритувчи кислотадан ташқари) юқори кислотабардошлик намоён қилади, баъзи керамика турлари ишқорларнинг кучсиз ва ўрта концентрацияли эритмаларида чидамли бўлади. Мўртлик ва ҳароратнинг кескин ўзгаришига сезгирлик керамика

## 8.1-жадвал

### Керамик буюмлар таркиби

Буюмлар	Кимёвий таркиби, масс.%					Ғовак лиги, %
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	
Кислотабардош плиткалар	51–68	24–38	1–5	1–2,5	0,5–5	2–4
Кислотабардош ғишт	55–70	15–25	1–5	1–2,5	0,5–2	4–8
Аппаратура керамикаси	50–67	23–34	1–1,4	1–1,4	2–6	< 1
Фарфор	60–67	20–22	0,3–0,4	0,4–0,5	4–4,5	< 0,1

буюмларининг камчилиги ҳисобланади. Шунинг учун бундай буюмларни ишлатишда ҳароратни аста-секин, минутига 2–3°C ошириб бориш тавсия этилади.

Керамик деталлар ва аппаратлар зарбларга, силташларга, эгишга чидамайди. Керамикадан футерлаш плиткалари, кувур ўтказгичлар, реакторлар, совуткичлар, абсорберларнинг деталлари ва б. тайёрланади.

*Фарфор* сув ва газни ўтказмайдиган нозик кристалли материал ҳисобланади. Уни 1300-1450°C ҳароратда пишириш орқали ҳосил қилинади. Фарфор кислотабардош, эритувчи кислота ҳам емира олмайдиган, қаттиқ, ишқаланишга чидамли, юқори мустаҳкамликка эга, иссиқбардош, ҳароратнинг кескин ўзгаришини сезмайдиган (20–1000°C), ғоваклиги жуда паст. Фарфордан тайёрланган аппаратуралар очиқ алангада қиздирилганда ҳам чидайдди.

Фарфор фармацевтика, озиқ-овқат, парафюмерия саноатида, яъни жуда тоза маҳсулот ишлаб чиқариладиган барча соҳаларда аппаратлар тайёрлаш учун қўлланилади. Кимё саноатида ундан кичикроқ сифимли аппаратлар, вакуум-аппаратлар, филтрлар, тигллар, косачалар ва бошқалар ясалади. Ўтга чидамли материалларнинг турш, яримтурш, самот, талк кўринишлари мавжуд. Улар бир-биридан кимёвий таркиби билан фарқ қилади ва маълум бир муҳитларда ишлатиш учун мўлжалланган. Ўтга чидамли материаллар асосан юқори ҳароратларда ишловчи аппаратлар ва печлар учун футерловчи ҳамда қурилиш материали сифатида кўп ишлатилади.

Ғовак керамикадан электролит ванналар учун филтрловчи элементлар тайёрланади. Улардан филтрловчи плиткалар, поролит плиткалар, кислород қурилмалари учун филтрлар ясалади. Улардан каталитик жараёнларнинг охириги босқичларида газни нозик тозалаш мақсадида фойдаланилади.

Филтр-прессларда ғовак керамика пластинкалари орқали суспензиялар филтрланади. Шунингдек ғовак керамикадан электролизёрлар учун диафрагмалар тайёрланади.

#### **8.1.4. Боғловчи материаллар.**

*Боғловчи моддалар* – тўлдирувчиларни ўзаро боғлаб, физик-кимёвий жараёнлар туфайли қотиб, яхлит муҳит ҳосил қиладиган моддалардир. Бунда боғловчи моддалар – тўлдирувчи тошлар, заррачалар ва доналарни ўзаро бириктириб қуюқ масса ҳолидан қаттиқ монолит тош шаклига олиб ўтади.

Боғловчи моддалар таркибига кўра *органик ва ноорганик (минерал)* гуруҳларига бўлинади. Органик боғловчиларга юқори молекулали углеводородлар аралашмасидан ташкил топган битумлар, қатрон, елимлар, полимерлар киради. Ноорганик боғловчиларга цемент, оҳак, гипс, суяқ шиша ва б. киради.

Минерал боғловчи моддаларга *цементлар* киради. Уларнинг таркибига ун қилинган кислотали ёки ишқорга чидамли тўлдирувчилар кўшилади. Ишқорли муҳитлар учун тўлдирувчи сифатида CaO ва MgO каби асосий оксидлар, кислотали муҳитлар учун эса SiO<sub>2</sub> тўлдирувчи кўшилган цементлар ишлатилади.

*Кислотага чидамли цементлар* эзиб майдаланган тўлдирувчи (кварц куми, гранит, базальт ва б.) билан силикат натрийнинг сувли эритмасини кўшиб тайёрланади. Бундай цементлар концентранган кислоталарга (HF ва H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> дан ташқари) чидамли, сувда анча чидамсиз ва ишқорлар эритмасида ҳамда ишқорли металлларнинг карбонатларида емирилади. Улар юқори механик мустаҳкамликка, металлларга ва бошқа материалларга нисбатан яхши адгезияга эга.

Цемент металл ва бошқа аппаратураларни футерлаш учун, плиткалар, ғиштлар, блокларни маҳкамлаш учун ва мустаҳкам, ўтказмайдиган чокларни беркитиш учун фойдаланилади.

*Бетон* мустаҳкам, қаттиқ тош кўринишидаги жисмдир. Уни цемент, сув ҳамда шағал, шебен, кварц куми каби тўлдирувчилар билан кўшиб тайёрланган бетон қоришмасидан ҳосил қилинади. Бетонлар чўзилиш ва эгилишга унчалик юқори бўлмаган чидамликка эга. Бундай камчиликларни бартарафлаш учун уни пўлат арматуралар (баъзан стержен ёки сим) билан кучайтирилади. Бундай комбинациядаги қотишма *темир-бетон* номи билан машҳурдир.

*Кислотабардош бетонларни* натрий силикати (суюлтирилган шиша), ётишни тезлаштирувчи Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, ҳамда андезит, диабаз, маршаллит, кварц, кислотага чидамли керамика чиқиндилари аралашмаларидан тайёрланади. Бундай бетон юқори механик мустаҳкамликка кимёвий чидамликка эга. У HF ва H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> дан ташқари барча кислотали муҳитларда бардошлидир. Ундан иншоотларнинг фундаментини қуришда, катта габаритли ишоотлар – минора, резервуарлар, тиндиргичлар ва бошқаларни барпо этишда фойдаланилади.

Одатдаги хом ашёлардан полимер материаллар кўшиб тайёрланадиган бетонлар *полимербетонлар* дейилади. Бундай бетонларга боғловчи сифатида фуранли, эпоксидли, полиэфирли, акрилли ва бошқа смолалар кўшилади. Полимербетонлар катта зичликка, кислоталар ва ишқорларга нисбатан юқори бардошлиликка, аъло даражадаги физик-механик хоссаларга эга. Улар полларни қоплаш, конструкцияларни тиклаш, гидроиншоотларни яратиш, кўприклар қуриш учун ишлатилади.

Кимё саноатида кўпинча юқори ҳароратларда ишловчи қурилмалар яратишга тўғри келади. Бундай шароитлар учун юқори ҳароратларга чидамли *иссиқбардош бетонлар* яратилган. Улар тўлдирувчиларнинг таркиби (хромли железняк, шамот ва б.) ва цементнинг маркаси билан фарқ қилади. Бундай

бетонлар учун юклама остида деформация бошланадиган ҳарорат 1000–1100°C ни ташкил қилади.

## 8.2. Органик бирикмалар асосидаги коррозиябардош нометалл материаллар

Органик бирикмалар асосида кўпсонли коррозиябардош материаллар ишлаб чиқариш йўлга қўйилган. Бирламчи бирикмаларнинг хилма-хиллиги, улар комбинацияси вариантларининг кўплигини инобатга олиб айтиш мумкинки, бундай материаллар сони саноксиз ва келгусида яна ортади. Шунинг учун бундай бирикмаларнинг асосий синфлари ва уларнинг вакиллари ҳақида тўхталиш мақсадга мувофиқдир.

Кимёвий машинасозликда пластик массалар, каучуклар асосидаги материаллар ва кўмир-графит материаллар кенг қўлланилади.

### 8.2.1. Полимер материаллар.

*Полимер материаллар* юқори молекулали органик бирикмалардан тайёрланади. Бирламчи хом ашё сифатида одатда паст молекулали бирикмалар хизмат қилади. 8.2-жадвалда амалда қўлланиладиган дастлабки бирикмалар ва юқори молекулали органик бирикмаларнинг такрорланадиган звенолари келтирилган.

8.2-жадвал

Дастлабки бирикмалар ва юқори молекулали органик бирикмаларнинг такрорланадиган звенолари

№	Полимернинг номи	Дастлабки полимер	Такрорланадиган звено
1.	Полиэтилен	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
2.	Полипропилен	$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2$	$-\text{CH} - \text{CH}_2 -$   $\text{CH}_3$
3.	Полиизобутилен	$\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C} = \text{CH}_2 \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$	$-\text{C} - \text{CH}_2 -$   $\text{CH}_3$
4.	Поливинилхлорид	$\text{CH}_2 = \text{CHCl}$	$-\text{CH}_2 - \text{CH} -$   $\text{Cl}$
5.	Полистирол	$\begin{matrix} \text{CH}_2 = \text{CH} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{matrix}$	$-\text{CH}_2 - \text{CH} -$   $\text{C}_6\text{H}_5$
6.	Фторопласт-3 (трифторхлорэтилен)	$\text{CF}_2 = \text{CFCl}$	$\begin{matrix} \text{F} & \text{F} \\   &   \\ -\text{C} - & \text{C}- \\   &   \\ \text{F} & \text{Cl} \end{matrix}$
7.	Фторопласт-4 (тетрафторэтилен)	$\text{CF}_2 = \text{CF}_2$	$-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -$

Макромолекулалар чизикли, тармоқланган ёки фазовий структурага эга бўлиши мумкин. Иситилганда пластик бўлиб, совитилганда яна қайтиб қаттиқ ҳолатга ўтадиган юқори молекулали бирикмалар *термопластиклар* дейилади.

Қиздирилганда қаттиқ ҳолатга ўтиб, совитилганда ўзининг дастлабки ҳолатига қайтмайдиган полимерлар – *терморектив полимерлар* дейилади. Улардан сунъий толалар, плёнкалар олиб бўлмайди.

Коррозияга қарши техникада энг кўп фойдаланиладиган термопластлар сифатида полиэтилен, полипропилен, фторопласт, поливинилхлорид и полиизобутиленларни кўрсатиш мумкин.

Реактопластлар асосидаги кимёвий чидамли қопламаларнинг асосий қисми таркибида полимер асос сифатида эпоксидли, фенолформальдегидли, эпоксин қоришмалари, полиэфирли ва винилэфирли смолаларни, шунингдек паст молекуляр ҳамда юқори молекуляр карбо- ва гетерозанжирли каучуклар: полибутадиен, хлорпренини сақлайди.

Термопластик ва терморектив полимер материаллар биринчидан, агрессив муҳитлар билан таъсирлашиш қонуниятларида принципиал тафовутга эга. Иккинчидан, бу материаллар химояланадиган металл сиртига турли хилдаги технологиялар асосида ётқизилади.

Гидрофоб термопластик полимерлар асосидаги материаллар учун буғланмайдиган электролитларда паст эрувчанлик ва ўтказмаслик хоссалари характерлидир. Бироқ эритмага органик эритувчиларнинг жуда оз миқдордаги аралашуви ҳам бундай хоссаларни йўққа чиқариши ҳам мумкин. Буғланувчан электролитлар учун бундай қопламаларнинг тешилиш вақти жуда сезиларсиздир.

Реактопластларнинг ўзига хос томонлари шундан иборатки, бу гуруҳдаги барча полимерлар у ёки бу даражада сувга нисбатан ўтказувчан ҳисобланади. Электролитларнинг асосий массаси учун полимерларга сувнинг ўтиши эритманинг бошқа ташкил этувчиларига нисбатан катта тезлик билан амалга ошади. Бу эса амалда полимерларнинг бўртишига олиб келади. Бироқ реактопластлар изоляцияловчи материал сифатида қатор афзалликларга эга. Улар учун кислотанинг асосий материалга ўтишига тўсқинлик қилувчи диффузия координатаси бўйича кислоталарнинг поғонали тақсимланиш профилининг мавжудлиги характерлидир. Бу эса агрессив кислоталар таъсиридан тўла изоляцияланган тарзда ишлашни таъминлайди. Бундай изоляция режими буғланмайдиган ва буғланадиган кислоталар учун ҳам амалга оширилиши мумкин.

Реактопластлар асосидаги материаллар юқори агрессивликка эга бўлган муҳитларда ишлаш учун муҳим аҳамиятга эга бўлган чоксиз, монолит қопламалар ҳосил қилиш имконини беради. Бундай материаллардан кўп қаватли полимер конструкциялар олиш мумкин. Масалан, кимёвий агрессив муҳитлар шароитида ишлатиладиган технологик жиҳозларнинг ички сиртини

химоялашга мўлжалланган, қалин қаватли (1-2 мм) полимер қопламасидан иборат «ВИКОР» антикоррозион қопламалар тизими бунга мисол бўлади.

Юқори полимер бирикмалар конструкцион материаллар, футерловчилар, локлар, пасталар сифатида кўплаб ишлаб чиқарилади.

Полимерларнинг хоссалари уларнинг кимёвий таркиби, молекуляр массаси, макромолекулалар шакли, структураси, дисперслиги ва шу кабиларга боғлиқ.

### 8.2.2. Оддий полимеризацион пластик массалар.

Қиздирилганда ва босим остида олган шаклини қотгандан ва совитилгандан сўнг узоқ вақт ўзгаришсиз сақлай оладиган полимерлардан пластик массалар (пластмассалар) ҳосил қилинади. Оддий пластмассаларнинг асосий характеристикалари 8.3-жадвалда келтирилган.

*Полиэтилен* — термопластик полимер ҳисобланади. Дастлабки мономер – этилен  $C_2H_4$  табиий газдан олинади. Полимер олиш паст ёки юқори босим усулида амалга оширилиши мумкин. Юқори босим остида олинган полиэтилен 1800–2500, паст босим остида олингани эса 2500-3500 молекуляр массага эга. Паст босим остида олинган полиэтилен анча юқори мустаҳкамлик ва кимёвий чидамлик кўрсаткичларига эга. Хона ҳароратида полиэтилен қаттиқ эластик материал бўлиб, 60-70°C температурагача ўз хоссаларини сақлайди, 110–120°C ҳароратда юқори эластиклик ҳолатига ўтади.

Полиэтилен совуқда бирорта ҳам эритувчида эримайди, бироқ 70-80°C ҳароратда у кўпгина углеводородларда эрийди. Полиэтилен кислоталар, ишқорлар ва тузларнинг эритмалари таъсирига чидамли бўлиб, оксидловчи муҳитлар таъсирида осонгина парчаланиши мумкин. Ундан мустақил конструкцион материал сифатида ҳам фойдаланиш мумкин. Ундан қувурлар, насос деталлари, турли хилдаги бутловчи қисмлар тайёрланади. Вакуум-шакллантириш орқали ундан йирик габаритли арматуралар ҳам тайёрлаш мумкин.

Полиэтиленни кўшимча қўндирмаларни қўлламадан, қиздирилган бўлақларни бирлаштириш орқали яхлитлаш мумкин. Металл конструкцияларга уларни коррозиядан яхши химоя қилувчи полиэтиленни нуқтали ёпиштириш ва газ-алангали пуркаш усуллари ишлаб чиқилган.

Полиэтилен лок билан дастлаб ишлов берилган сиртларга пуркаш методи ёки уюрмали усулда қопланади. Биринчи ҳолда кукунсимон полиэтилен заррачалари ҳаво аралашган ацетилен алангаси орқали ўтади. Бунда заррачалар эриб, пластик ҳолатдаги суяқ томчиларга айланади ва металл сиртига зарб билан урилиши натижасида унга ёпишиб яхлит қоплама ҳосил қилади. Иккинчи ҳолда кукунсимон полиэтилен ҳаво оқими билан 250-300°C гача қиздирилган металл сиртига йўналтирилади.

*Полипропилен* — полиэтиленга нисбатананча чидамли (8.3-жадвал). У юклама остида  $100^{\circ}\text{C}$  ҳароратда ҳам узоқ вақт ишлай олади. Юмшаш ҳароати  $160-170^{\circ}\text{C}$  бўлиб,  $-30$ – $-35$  ҳароратгача ишчи ҳолатини сақлайди. Полипропилен кислоталар (96% гача бўлган  $\text{H}_2\text{SO}_4$  эритмаларида, концентранган  $\text{HNO}_3$  да), органик эритувчилар, ароматик углеводородлар, минерал ва ўсимлик мойларида юқори бардошлилик намоён этади. Бироқ, олеум, хлорсулфон кислотаси, тутайдиган азот кислотаси ва бром сувида барқарор эмас.

Полипропилендан турли қалинлик ва ҳар хил ўлчамдаги листлар, қувурлар, электротехник ва машинасозлик деталлари, газ ва нам ўтказмайдиган плёнкалар тайёрланади. Ундан аппаратларни футерлаш мақсадида ҳам кенг фойдаланилади. Ундан тайёрланадиган жиҳозларнинг хизмат муддати 6–8 йилни ташкил қилади.

*Поливинилхлорид* — зичлиги  $1,4 \text{ кг/м}^3$  га тенг кукун бўлиб, ундан қайта ишлаш орқали қаттиқ (винипласт) ёки юмшоқ плёка материаллари олинади. Поливинилхлорид олиш учун дастлабки хом ашё — хлорвинил  $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$  ҳисобланади. Хлорвинил  $-14^{\circ}\text{C}$  ҳароратда конденсацияланиб суюқликка айланадиган газ ҳисобланади.

*Винипласт* — молекуляр массаси 1800 дан 120000 гача бўлган термопластик материал. Винипласт деярли барча минерал кислоталар (юқори концентрацияли  $\text{HNO}_3$  ва олеумдан ташқари), ишқорлар, тузли эритмалар, органик эритувчиларда чидамли ҳисобланади. У  $140^{\circ}\text{C}$  ҳароратгача пластик, унга қиздириш орқали исталган шаклни бериш мумкин. Бироқ, винипластнинг қуйидаги камчиликлари ҳам мавжуд: ишчи ҳароратининг пастлиги ( $40-50^{\circ}\text{C}$ ), паст зарбли қовушқоқлик, чизиқли термик кенгайиш коэффициентининг катталиги, юклама остида аста-секин деформацияланиши.

Винипластдан  $+50$  дан  $-20^{\circ}\text{C}$  гача ҳароратда эксплуатация қилинадиган аппаратура деталлари тайёрланади, у осонгина пайвандланади. Мустақил материал сифатида қувурлар, вентиляторлар, иссиқлик алмаштиргич аппаратуралари тайёрлашда фойдаланилади. Агрессив муҳитли иншоотларда вентиляция системалар ясашда ишлатилади. Аппаратларни химоялаш учун қалинлиги 0,6-0,9 мм бўлган плёнка шаклидаги винипласт ишлатилади. Перхлорвинил елими ёрдамида у ёғоч, металл ва бетонга ёпиштирилиши мумкин.

*Полистирол* — қаттиқ, кислоталарнинг эритмаларида, ишқорли муҳитларда, ёруғликка чидамли материал. Полистирол  $-80$  дан  $+110^{\circ}\text{C}$  гача ҳароратларда энг яхши диэлектрик ҳисобланади. Ундан изоляторлар, фасон буюмлари, турли хилдаги ленталар, ўтказгичлар учун изоляция маҳсулотлари ва қувурлар тайёрланади. Полистирол органик эритувчиларда эрийди.

*Фторопластлар* — ўта юқори кимёвий бардошли ва техникада тенги йўқ антикоррозион материал ҳисобланади.

№	Физик-кимёвий хоссалари	Полиэтилен	Полипропилен	Полистирол блокли	Поливинилхлорид	Фторо-пласт-4	Фторо-пласт-3
1.	Зичлиги, кг/м <sup>3</sup>	920–930	900	1100	1330–1430	2160–2260	2100–2160
2.	Мустаҳкамлик чегараси, Мпа: Чўзилишдаги Сиқилишдаги Эгилишдаги	12–16 12–15 12–17	25–40 60–70 80–110	35–50 80–100 85–100	40–60 80–100 90–120	14–25 12–20 11–14	35–40 50–60 60–80
3.	Нисбий узайиш, %	500–600	350–800	1,5–2	10–25	250–500	20–40
4.	Солиштирма ҳажмий электр қаршилиги, Ом·м	10 <sup>15</sup>	8·10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup> –10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup> –10 <sup>16</sup>	1,2·10 <sup>16</sup>
5.	Диэлектрик сингдирувчанлиги (50 Гц частотада)	2,2–2,3	2,0–2,5	2,6	4,1	1,9–2,2	2,5–2,7
6.	Диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги, ·10 <sup>4</sup> (50 Гц частотада)	3	2–5	3–4,5	100	2–3	0,02–0,05
7.	Электр мустаҳкамлиги, кВ/м	45–60	35	20–25	15–45	20–30	13–15
8.	Мартенс бўйича иссиқликка чидамлилиги, °С	60	100–110	80	65	260	70–80
9.	Совуқликка чидамлилиги, °С	–70	–35	–20	–20	–270	–195
10.	Юмшаш ҳарорати, °С	110–120	160–170	100	160–170	327	210
11.	Қўлланиладиган ҳарорат чегараси, °С	80–110	140–150	60–70	60	260	120

Одий пластмассаларнинг физик-кимёвий ва механик хоссалари



*Политетрафторэтилен* — *фторопласт-4* тетрафторэтилен  $[-CF_2-CF_2-]_n$  нинг полимери, яъни тўла фторланган этилен ҳисобланади. У юқори кимёвий чидамликка эга бўлиб, ишқорли материаллар эритмасида, фтор ва фторли керосин муҳитларида емирилади.

Фторопласт-4 нинг муҳим хоссаларидан бири – унинг иссиқбардошлиги, у  $-90$  дан  $+260^\circ C$  гача бўлган ҳарорат интервалида ўз хоссаларини умуман ўзгартирмайди. Ишқланиш коэффициентининг кичиклиги ва паст ҳароратларда ҳам мустаҳкамлиги унинг ижобий томонлари ҳисобланади.

Фторопласт-4 — аъло жаражадаги диэлектрик, деформацияга чидамли, мўрт эмас. Унинг молекулярная массаси 400000-500000 гача етиши мумкин. Камчилиги – металллар ва бошқа материалларга нисбатан адгезиясининг сустлиги.

Фторопласт-4 кимёвий чидамли қувурлар, шланглар, прокладкалар, салниклар, кислоталар учун клапанлар ва филтрлар тайёрлаш учун ишлатилади. Ундан юзаси  $4500\text{ м}^2$  гача бўлган иссиқлик алмаштиргичлар яшаш учун фойдаланилади.

*Фторопласт-3* — трифторхлор-этилен  $[-CF_2-CFCl-]_n$  нинг полимери ҳисобланади. У майдадисперс, осон сочилувчи кукун ҳолатида ишлаб чиқарилади ва  $210^\circ C$  температурада эрийди. Қўлланилиш чегараси  $70^\circ C$  гача, механик юкламалар бўлмаган ҳолда  $100^\circ C$  гача. Сувда ҳўлланмайди, сув билан бўкмайди, азот, сульфат, хлорид кислоталарнинг эритмаларида ҳамда ишқорларнинг концентрланган эритмаларида чидамли.

Фторопласт-3 фасон буюмлар ва зичловчи элементлар тайёрлаш учун ишлатилади. Ундан плёнкалар олинади, металллар сиртига коррозиядан ҳимоялаш учун қопламалар ҳосил қилинади. Бундай қопламалар углеродли ва легирланган пўлатларда, алюминий ва унинг қотишмаларида яхши ёпишади. Фторопласт-3 дан тайёрланган плёнкалар металллар сиртига этил спиртининг ксилол билан аралаштирилган суспензиясидан суркаш орқали ҳосил қилинади. Шундан кейин у олдин  $50-60^\circ C$ , сўнгра  $150^\circ C$  ҳароратда қуритилади. Қуритилган қоплама 10–20 минут тавомида  $260-270^\circ C$  ҳароратда эритилиб металл ёки қотишма сиртига ёпиштирилади.

Фторопласт-3дан тайёрланган плёнкалар кислоталарга, тузларнинг эритмаларига чидамли бўлганлиги сабабли улар хлор ва жуда тоза маҳсулотлар ишлаб чиқариладиган корхона ҳамда завод аппаратураларида фойдаланилади.

### **8.2.3. Мураккаб поликонденсацион пластик массалар.**

Бу синфдаги энг кўп тарқалган пластмассалардан бири – фенолформалдегид пластик массасидир. Тўлдирувчилар қўшилган улар асосидаги композицион материаллар ва қаватли пластиклар саноатнинг турли соҳаларида кенг фойдаланилади.

*Фенол-формальдегид смолалари* поликонденсация реакциялари бўйича сув ажралиши билан кечадиган жараёнда олинади. Фенолларнинг альдегидлар билан поликонденсацияси кислотали ёки асосий катализаторлар иштирокида олиб борилади.

Қиздирилганда ёки қотирувчилар иштирокида смолалар тўрсимон тузилишга эга бўлган полимерларга ўтади. Тўлдирувчиларнинг турига кўра *фенопластлар* уч турга бўлинади: прессланган, толасимон ва қаватли. Фенопластларнинг физик-кимёвий ва механик хоссалари 8.4-жадвалда келтирилган.

*Асботоладан* (асбоволокнит) умумтехник мақсадлар учун мўлжалланган буюмлар (переключателлар, фланцлар, дастаклар, шестерёнчалар) олинади. Материал сув, кислоталарнинг кучсиз эритмалари, ишқорлар таъсирига 300°C ҳароратгача яхши чидайд.

*Фаолит* — резол смоласи ва асбест асосида тайёрланади. У сульфат кислотаси (ўртача концентрация ва 50°C гача), хлорид кислотаси (ўртача концентрация, 100°C гача), уксус, фосфор кислоталари (80°C гача), лимон кислотаси (70°C гача) да бардошли ҳисобланади. Шунингдек фаолит турли хилдаги тузларнинг жумладан, натрий ва калцийнинг эритмасида (100°C гача), хлор ва олтингугурт ангидри газларининг атмосферасида чидамлидир. У азот кислотаси, ўювчи кислота ва ишқорларга чидамсиз ҳисобланади.

Фаолитдан сиғимлар, ректификацион миноралар, совуткичлар, арматуралар, қувурлар каби хилма-хил буюм ва жиҳозлар тайёрланади. У анча мўрт бўлсада, механик мустаҳкамлиги бўйича кислотабардош керамикадан устун туради, уни 130–150°C ҳароратгача ишлатиш мумкин.

*Шиша толалилар (Стекловолокниты)* — мустаҳкам, титраш юкчаларига бардошли, юқори солиштирма мустаҳкамликка эга материал бўлиб, агрессив муҳит ва микроорганизмлар таъсирига чидамли.

*Текстолит* — фенол-формальдегид смоласи ва қотирувчилар шимдирилган, пахта-қоғоз матолари ёки бошқа қаватли бирикмалар (масалан, асбест матоси) дан прессланиб тайёрланадиган материал. Бунда смола шимдирилган пакетлар 145–150°C гача қиздирилган гидравлик пресс плиталари орасида қисилади. Текстолит фаолитдан мустаҳкамроқ, ундан кучланиш узатувчи деталлар – шестерналар, пўлат арқонлар учун роликлар, муфтлар ва шу кабиларни тайёрлашда фойдаланилади.

*Шишатекстолит* — толали материалларга мансуб. Тўлдирувчилар сифатида ориентирланган элементар толалар, шиша-жгутлар ёки турлича тўқилган шишатолали материаллар қўлланилади. Тўлдирувчиларнинг кўриниши, шакли ва жойлашуви шишатекстолитнинг хоссаларига асосий таъсирни ўтказди. Шишатекстолитларнинг мустаҳкамлик хоссалари жуда юқори. Солиштирма мустаҳкамлиги бўйича улар пўлат, дюралюминий ва

## Фенопластларнинг физик-кимёвий ва механик хоссалари

Физик-кимёвий хоссалар	Пресс-кукунлар*		Толалилар			Қаватли пластиклар		
	Буралма	Резолли	Асботола	Фолит	Шишатола	Текстолит	Асбест-текстолит	Шиша текстолит
Тўлдирувчи:	Ёғоч уни ва каолин	Кварц уни	Асбест толаси	Асбест толаси	Шиша толаси	Текстил мато	Асбест мато	Шиша мато
Зичлиги, кг/м <sup>3</sup>	1400	1750–1900	1950	1650	1700–1800	1300–1400	1500–1700	1700–1900
Мустаҳкамлик чегараси, Мпа: чўзилишда сиқилишда эгилишда	30–50 60 15	50–10 85–115 150–200	30 70 110	20–30 30–60 50–90	80–200 100–200 130	80–120 120–160 230–250	80–100 100–130 300–320	270–300 140 –
Солиштирама ҳажмий электр қашилиги, ом·м	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{11}$ – $5 \cdot 10^{12}$	$10^4$	$10^4$	$10^{10}$	$10^8$	$10^7$	$10^{12}$ – $10^{13}$
Электр мустаҳкамлиги, кВ/м	7–13	16–29	1,1	–	13	6–8	0,5–0,9	10–24
Диэлектрик йўқотишнинг тангенс бурчаги, $10^6$ Гц частотада	0,04–0,09	0,012	0,8–1,0	–	0,05	0,02–0,08	0,8–0,9	0,02–0,03 $10^{10}$ Гц частотада
Пресслаш температураси, °С	150	170	170–190	200	150–170	140–170	145–170	150–170
Қўллашнинг температура чегараси, °С	140	140	200–300	120–160	200	100–120	200	250
*Буралмали (ортиқча фенол, катализатор – кислота); резолли (ортиқча формалдегид, катализатор – ишқор);								

титандан қолишмайди, баъзан ўхшаш кўрсаткичлар бўйича улардан юқори ҳам туриши мумкин.

*Шшапластлар* зарб таъсирига ва динамик юкламаларга яхши қаршилиқ кўтсата олади, конструкция элементларининг тебранишини сўндира олади. Улар электролитлар, мойлар, суяқ ёқилгилар таъсирига чидамли. Улардан агрессив суяқликларни ташиш ва сақлаш учун катта габаритли конструкциялар ва сифимлар тайёрланади. Боғловчи материаллар сифатида эпоксид, плизфир ва кремнийорганик моддалар қўшиш орқали шшапластларнинг мустаҳкамлиги ва иссиқлик ўтказувчанлигини янада ошириш мумкин.

*Силиконли смолалар ёки кремнийорганик полимерларнинг* асосий занжири кремний ва кислород элементларини сақлайди (полисилоксанлар, умумий формуласи  $R_2SiO$ , бунда R – радикал). Молекуляр боғларнинг характери ва радикалларнинг табиатига қараб, силиконлар смола, каучуксимон модда ёки ёғ кўринишида олиниши мумкин. Бундай бирикмалар асосида иссиқбардош локлар, сурковлар, силикон каучуклари, қаватли пластиклар ишлаб чиқарилади.

Кремнийорганик қопламаларни оддий усуллар: детални ботириш, пуркаш, чўтка билан суркаш ва ҳ.к. билан қоплаш мумкин. Қопламанинг тўла қотиши учун  $200-250^{\circ}C$  ҳарорат ва 5–10 саот вақт талаб этилади. Локлар  $200^{\circ}C$  дан юқори ҳароратларда узоқ вақт ишлатилиши мумкин. Айниқса бундай шароитларда *фенил-силиконлар* бебаҳо ҳисобланади. Уларни титан оксидлари билан қўшиб,  $600^{\circ}C$  ҳароратга бемалол чидайдиган қопламалар ҳосил қилинади.

*Силиконли каучуклардан* юқори ҳароратларда ишлатиладиган прокладкалар ва зичловчилар тайёрланади. Силиконли полмер қопламалари кислородга, азонга, нам атмосферага  $500-550^{\circ}C$  ҳароратгача бардошли ҳисобланади. Тўлдирувчилар сифатида алюминий ва титан ишлатилади.

*Эпоксид смолалари* – кўп атомли феноллар билан эпоксигидрогуруҳ (масалан, эпихлоргидрин) поликонденсациясининг маҳсулидир. Эпоксид смолалари асосидаги композициялар кимё саноатида кенг қўлланилади. Эпоксид смолалари металлга нисбатан яхши адгезияга эга, қотгандан кейин ишқор, бензин, ацетон, хлорид кислотаси ва ноорганик тузлар эритмаларининг таъсирига чидамли бўлади.

Эпоксид смолали қопламалар мўри қувурлари, буғлантириш аппаратлари, қуритгичлар, қайноқ суяқликларни ҳайдаш насослари, крекинг қурилмаларини коррозиядан ҳимоялаш учун кенг қўлланилади.

### 8.2.4. Каучуклар ва резиналар

*Натурал каучуклар* (НК) – таркибида каучук моддаси бўлган тропик ўсимлик-ларнинг сутсимон сокидан олинади. Сокка кислотали ишлов берилгандан сўнг ҳосил бўлган маҳсулот ёйилиб, шакл берилади.

*Синтетик каучуклар* (СК) чекланмаган бирикмаларни полимерлаш йўли билан олинади. Дастлабки материал таркиби ва уларга ишлов бериш шароитига боғлиқ ҳолда турлича хоссали ва ҳар хил чидамлилиқка эга бўлган каучуклар ишлаб чиқарилади (8.5-жадвал).

*Каучуклар* – юқори молекулали бирикмалар бўлиб резина, эбонит ва локлар, елимлар, боғловчи моддалар олиш учун фойдаланилади. Каучуклар чизикли тузилишга эга бўлиб, юқори эластиклиги ва ишчи температура диапазонининг кенглиги билан ажралиб туради. 100°C ҳароратда улар мўрт бўлиб қолади, 200°C да эса суюлиб қолади (8.6-жадвал).

8.5-жадвал

Синтетик каучукларнинг характеристикалари

Каучукнинг номи	Дастлабки мономерлар	Махсус хоссалари
Бутадиен (СКБ)	Бутадиен $\text{CH}_2=\text{HC}-\text{CH}=\text{CH}_2$	
Бутадиен стиролли (СКБ)	Бутадиен $\text{CH}_2=\text{HC}-\text{CH}=\text{CH}_2$ $\text{CH}_2=\text{CH}$   $\text{C}_6\text{H}_5$ Стирол	
Изопренли	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$   $\text{CH}_3$ Изопрен	
Бутадиен нитрилли (СКБ)	Бутадиен $\text{CH}_2=\text{HC}-\text{CH}=\text{CH}_2$ Акрилонитрил $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$	Юқори иссиқлик-, бензо-, мой чидамлилиқ
Хлорперенли (наирит)	Хлорперен $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$   $\text{Cl}$	Юқори иссиқлик-, бензо-, мой чидамлилиқ
Бутилкаучук	Изобутилен $\text{CH}_2=\text{C}$ / $\text{CH}_3$ \ $\text{CH}_3$ Изопрен $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2$   $\text{CH}_3$	Юқори кимёвий бардошлилик
Силиконли (СКТ)	Кремний органик бирикмалар	-60°C дан +300°C гача бўлган кенг интервалда ишлайди

## Каучуклар ва улар асосидаги резиналарнинг баъзи хоссалари

Номи	Каучуклар			Резиналар				Характерли хоссалари
	Зичлиги, кг/м <sup>3</sup>	Ўзилишга Мустаҳкамлиги, МПа	Нисбий узайиши, %	Зичлиги, кг/м <sup>3</sup>	Ўзилиш га мустаҳкамлиги, МПа	Нисбий Узайиши, %	Иссиқбардошлиги, °С	
Нарурал каучук (НК)	910–930	20–30	700-800	917–937	25–34	550–650	80–110	Мой, бензинда бўкади; оксидланади
Бутадиен-стирол каучуги (СКС)	920	3–5	500–600	620–980	20–25	550–650	80–100	Ейилишга юқори бардошли; оксидланади
Бутадиен-нитрил каучуги (СКН)	960	3–4,5	500–700	910–980	27–30	550–650	100–110	Суюқ ёқилғилар, мойларни шимимайди;
Наирит	1270	25–30	800–1100	1150–1250	20–35	600–700	110–120	Кимёвий ва атмосфера таъсирига чидамли
Бутилкаучук	910	15–20	700–850	920	15–22	500–600	120	Атмосферага чидамли, газ ўтказмайди
Полисилоксан каучуги	1600–2200			1600–2200	4–50	220–300	250–300	Совуққа, кислородга чидамли, газ ўтказмайди
Фторкаучуклар	1600–2200			1800–1900	20–25	250–550	200–250	Кимёвий инерт, совуқ, кислород, бензин, мойга чидамли

Резина ва эбонит – каучукни вулканизациялаш туфайли олинган маҳсулотлардир. Бу жараён вулканизатор моддалар (кўпинча олтингугурт, металл оксидлари) иштирокида, юқори температураларда амалга оширилади. Киритилаётган вулканизаторнинг миқдрига қараб юмшоқ резина (2–4 % S), яримқаттиқ резина (12–20 % S) ва қаттиқ резиналар (30–50% S) олинади. Охирги маҳсулот эбонит деб номланади.

Резиналар ноёб юқори, тескари деформацион қобилиятга эгаллиги, эластиклиги, мустаҳкамлиги, сидирилишга ва агрессив муҳитлар таъсирига юқори қаршилиги, газ ва сув ўтказмаслиги билан ажралиб туради.

*Бутадиен-стирол каучук (СКС)* – бутадиен ва стиролнинг сополимери ҳисобланади. Унинг асосидаги эбонитлар юқори кимёвий чидамлилиги билан характерланади. Улар қуруқ ва нам хлорга, концентрланган уксус кислотасига 65°C гача чидамли, шунингдек 36 % ли хлорид кислотасида 80°C ҳароратда узоқ вақт ишлатилиши мумкин.

*Бутадиен-нитрил каучук (СКН)* – бутадиен ва акрилонитрил кислотасининг сополимери ҳисобланади. Унинг асосидаги резиналар бензин, мойга чидамли, абразив ейилишга нисбатан юқори қашиликка ва иссиқликка юқори бардошга эга (100°C гача).

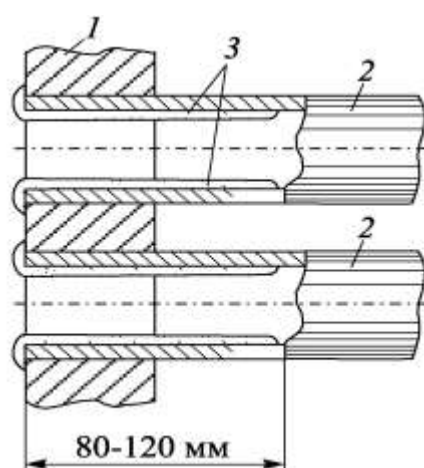
*Хлорпрен каучуғи – наирит* деб номланади. У асосан арзон ва сероб хом ашё ҳисобланган – ацетилен ва водород хлоридидан олинади. Наиритлар органик эритувчиларда яхши эрийди, ҳимояланадиган сиртга осон суркаладиган, қовушқоқлиги кичик ва концентрланган эритмалар ҳосил қилади. Наиритдан тайёрланган вулканизацияланмаган қопламалар термопластик ҳисобланади. Улар 40°C дан юқори ҳароратларда юмшоқ бўлиб қолади. Агарда уларни бир неча кун 60–70°C ҳароратда сульфат кислотаси ёки натрий хлор эритмасида сақланса, қоплама вулканизацияланиб резина хоссаларини олади. Наирит қопламалари эскирмайдиган, 70°C ҳароратда ҳам кислоталарда, ишқорларда ва тузли эритмаларда чидамли. Қисқа муддатли 90-95°C киздиришларга бардош беради.

Гуммилаш (гуммирование) – кимёвий аппаратларнинг сиртларни резина ёки эбонит билан қоплаш жараёнидир. Аппаратнинг ички сирти икки ёки ундан кўпроқ қаватли хом резина листлари билан кетма-кет қопланиб, ҳар сафар вулканизацияланиб борилади. Вулканизациялаш ўткир буғ билан қиздириладиган маҳсус қозонлада амалга оширилади. Бу жараён аппаратни қайнаб турган сув ёки қайнаш ҳарорати 100°C бўлган тузларнинг сувли эритмаси билан тўлдирилган ҳолда ҳам амалга оширилиши мумкин. Хом резина аралашмаси қиздирилганда мустаҳкам эластик резинага айланади. Хлоропрен каучукларидан тайёрланган қопламалар ёрдамида қувур ўтказгичлари, электролизёрлар, резервуарлар коррозиядан ҳимояланади.

Хом резина билан қопланган темир йўл цистерналари ёз пайтида иссиқ атмосфера ҳавоси таъсирида қўшимча қиздиришларсиз бир ойда ўз-ўзидан вулканизацияланади.

Эбонитлар металлга нисбатан яхши адгезияга эга. Бундай хусусиятдан кимёвий заводларда кўп учрайдиган қўш қаватли қопламаларни ҳосил қилишда фойдаланилади. Бунда ички қават эбонитдан, ташқи қават эса юмшоқ резинадан тайёрланади. Бундай қўш қаватли қопламалар хлорид, эритувчи, уксус ва лимон кислоталари, ишқорлар ҳамда тузларнинг эритмаларига  $65^{\circ}\text{C}$  ҳароратгача чидамли ҳисобланади. Улар фақат кучли оксидловчи муҳитлар — концентранган сульфат кислотаси ва азот кислотасида парчаланиши мумкин.

Мисол тариқасида резина қопламали иссиқлик алмаштиргич аппаратининг ҳимоясини кўриб чиқамиз. Иссиқлик алмаштиргич аппаратлари пўлат қувурларининг юпқа ва бакелитли қопламалари пўлатни коррозиядан етарлича яхши ҳимоялайди. Бироқ улар уни эрозия ва интенсив гидрообразив эскиришдан ҳимоялай олмайди. Шунингдек, иссиқлик алмаштиргич аппаратининг бир қисми қаттиқ механик заррачалар аралашган сувнинг ҳаракати туфайли кучли ейилади. Бундай ҳолларда коррозия ва абразив эскиришга қарши ишончли ҳимояга фақат резина қопламалар ёрдамидагина эришиш мумкин. Ҳақиқатан ҳам наирит қопламалари яхши ҳимоявий хоссаларини намоён этади. Бундай иссиқлик алмаштиргичлари-ни АҚШ ва Россиядаги баъзи заводларда ишлатиш тажрибалари мавжуд (8.2-расм). Шунини айтиш лозимки гуммиланган иссиқлик алмаштиргичларда иссиқлик узатиш коэффициенти ҳимоя қопламалари бўлмаганларникига нисбатан кичикроқ бўлади.



**8.2-расм. Қувурлар четини эрозиядан тайёрланган резина қопламаси орқали ҳимоялаш схемаси.**  
1 – қалқон; 2 – қувурлар; 3 – резина қаопламалари.

*Бутилкаучук* – изобутилен ва изоперенларнинг биргаликдаги полимерла-ниш маҳсулотидир. У агрессив муҳитлар таъсирига инертлиги, газ ўтказмаслиги ва сув шимимаслиги билан ажралиб туради, баъзи органик эритувчиларга чидамли. Унинг асосидаги резиналар кўпгина органик эритувчиларнинг таъсирига чидамли бўлади.



Силиконли каучуклар юқори иссиқбардош ( $250\text{--}300^\circ\text{C}$ ) ва совуққа ( $-50$  дан  $-60^\circ\text{C}$  гача) чидамлили саналади. Бироқ уларнинг коррозиябардошлиги паст.

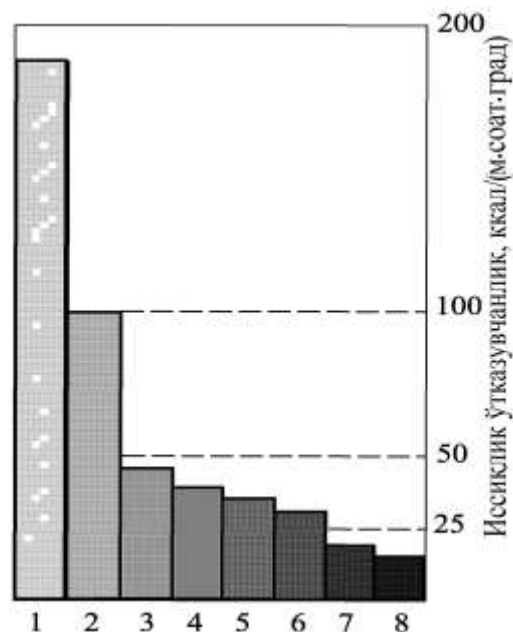
Фторкаучуклар кимёвий чидамлилиги ва иссиқбардошлиги бўйича биринчи ўринларда туради. Улардан тайёрланган буюмлар кучли агрессив муҳитлар ва оксидловчилар таъсирига  $200^\circ\text{C}$  гача чидайди. Бу турдаги каучукларнинг камчилиги – киришиб қисқариши юқори бўлганлиги сабабли кимёвий аппаратураларда қўллаб бўлмаслиги.

### 8.2.5. Графит материаллар.

Графит ва кўмир асосидаги материаллар кимё саноатида кенг қўлланилади. Графит юқори кимёвий чидамликка ва иссиқлик ўтказувчанликка эга. У иссиқлик ўтказувчанлик борасида хромникелли пўлатлар ва қўрғошиндан ҳам 3–5 марта устун туради (8.3-расм).

**8.3-расм. Углерод-графитли материаллар ва металларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги.**

1–алюминий; 2–бакелитирланган графит (игурит); 3–тантал; 4–углеродли пўлат; 5–антегмит АТМ-1; 6–қўғошин; 7–зангламайдиган пўлат 12Х18Н9; 8–титан.

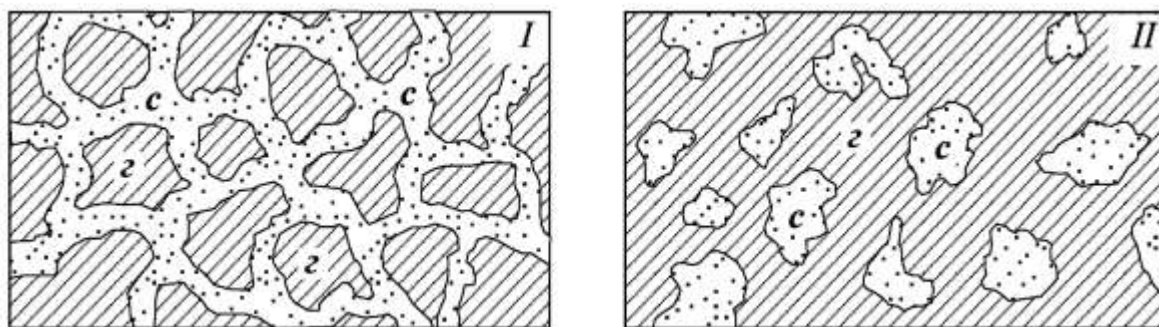


Бундан ташқари графит ўз-ўзини мойлагандек хусусиятга эга, унинг сиртига ўтирадиган қасмоқ ва ифлосланишлар бошқа материалларга нисбатан энг кам. Бироқ у деформацияланмайди, шу сабабли мўрт бўлади. Графит ғоваклигининг юқорилиги (баъзан 30–35 % гача етади) унинг яна бир асосий камчиликларидан ҳисобланади.

Сунъий графит нефт кокси ва тошкўмирни  $1200^\circ\text{C}$  гача қиздириб, сўнгра кислород кирмайдиган жойда  $300^\circ\text{C}$  ҳароратда тоблаш орқали олинади.

Графит кукуни ва фенол-формалдегид смоласи асосида антегмит деб номланадиган материал олинади. Графит пресс-кукун ва смола дастлаб қиздирилган қолипларда прессланади, сўнгра материалга термик ишлов берилади.

АТМ-1антегмити – иссиқлик ўтказувчанлиги паст (тахминан 2 марта), бироқ юқори мустаҳкамликка эга бўлган антикоррозион ва антифрикцион материалдир (8.4-расм). АТМ-1нинг физик-механик хоссалари унга термик ишлов бериш орқали яхшиланиши мумкин. Улар оксидловчи, ишқорли ва баъзи органик бирикмалардан ташқари кўпгина агрессив муҳитларда бардошли ҳисобланади. Улар иссиқлик алмаштиргичлар, реакторлар, буғлатгичлар, абсорберлар, конденсаторлар каби йирик габаритли қурилмалар тайёрлашда ишлатилади.



**8.4-расм. Углеродграфитли материалларнинг структура-схемаси.**

I–антегмит АТМ-1; II–бакелитирланган графит; z–графит;  
c–фенолформалдегид смоласи.

8.4-расмдан кўринадики, антегмит АТМ-1 да (I) узлуксиз фаза қотган фенол-формалдегид смоласидан, кукунсимон графит эса ғовакликларни тўлдирувчи вазифасини ўтайди. Бакелитирланган графитда (II) узлуксиз фаза графитдан, қотган фенол-формалдегид смола эса ғовакликларни тўлдирувчи ҳисобланади.

Юқори агрессив муҳитларда ишлатиладиган иссиқлик алмаштиргич аппаратлари учун юқори иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлган графитли материаллар тенги йўқ ҳисобланади. Юқори агрессивликка эга бўлган муҳитларда ишлатиладиган иссиқлик алмаштиргич аппаратларини тайёрлашда юқори иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлган графитли материалларнинг тенги йўқдир. Водород хлориди ишлаб чиқариладиган корхоналарда қўлланиладиган игуритдан тайёрланган совутгичлар етти ва ундан кўпроқ йил хизмат қилади.

### **Саккизинчи бобга тегишли услубий тавсиялар**

VIII бобда келтирилган маълумотларни ўрганиш натижасида талаба қуйидагиларни билиши шарт:

- ноорганик металлмас материаллар;
- органик металлмас материаллар;
- органик ва ноорганик металлмас материалларнинг хоссалари ва коррозияни характеристикалари.

Ушбу бобда келтирилган маълумотларни ўзлаштириш натижасида талаба

- кимёвий аппаратлар ёки қурилмаларнинг қоррозиядан ҳимоясини ташкил қилиш учун конструкцион материалларнинг оптимал вариантларини танлай билиши;
- ноорганик конструкцион материалларни ҳимоя воситаси сифатида танлай олиши;
- органик бирикмалар асосидаги металлмас материалларни тегишли жойларда қўллай олиши керак.

### **Назорат саволлари**

1. Ноорганик конструкцион материаллар турларини санаб ўтинг.
2. Табиий силикат материалларига нималар киради?
3. Табиий силикат материалларининг қандай хоссаларини биласиз?
4. Сунъий силикат материалларига нималар киради?
5. Сунъий силикат материалларининг қандай хоссаларини биласиз?
6. Қандай керамик материалларни биласиз?
7. керамик материалларнинг устунлик томонлари нимадан иборат?
8. Боғловчи материаллар нима?
9. Тўлдирувчи материалларга нималар киради?
10. Графит асосида олинадиган қандай материалларни биласиз?
11. Органик бирикмалар асосидаги металлмас материалларга нималар киради?
12. Қандай полимер материалларни биласиз?
13. Оддий полимеризацион пластик массаларга нималар киради?
14. Фтаропластлар нима?
15. Мураккаб поликонденсацион пластик массаларга нималар киради?
16. Каучукларнинг таркиби ва хоссаларини айтиб беринг.
17. Резиналар қандай материал?
18. Графит материалларнинг таркиби ва асосий хоссаларини айтинг.
19. Графит материаллар қаерларда қўлланилади?
20. Фаолит ва текстолит қайси синфдаги бирикмаларга киради?
21. Фаолит ва текстолит қаерларда қўлланилади?

### **Саккизинчи бобга тегишли мустақил таълим мавзулари**

1. Ноорганик конструкцион материалларни тавсифлаб беринг.
2. Ноорганик конструкцион материалларнинг саноат соҳасидаги қўлланилиши.
3. Органик бирикмалар асосидаги металлмас материаллар.
4. Органик бирикмалар асосидаги металлмас материалларнинг техникада қўлланилиши.
5. Оддий полимеризацион пластик массалар қўлланилиш соҳалари.
6. Мураккаб пластик массалар.
7. Каучуклар ва резиналар.
8. Графит материаллар ва уларнинг қўлланилиши.

## IV қисм.

# Кимё саноати машина ва аппаратларини коррозиядан ҳимоялаш усуллари

## IX боб.

### Юпқа сирт қопламалари орқали металлларни коррозидан ҳимоялаш

#### 9.1. Фосфатли ва оксидли ҳимоя плёнкалари.

Металлларни коррозиядан ҳимоялашнинг асосий шарты – коррозия тезлигини камайтиришдир. Коррозия тезлигини қуйидаги йўллар билан камайтириш мумкин:

- тегишли коррозиябардош қотишмаларни танлаш;
- агрессив муҳит таркибини ўзгартириш;
- ҳимоя қопламаларини қўллаш;
- металлни коррозияга янада бардошлироқ материал билан агрессив муҳитдан изоляциялаш;
- ҳимоянинг электрохимёвий усулларини қўллаш.

Биринчи гуруҳ ҳимоя усуллари металл ёки қотишмаларни тайёрлаш, термик ёки механик ишлов бериш босқичида қўлланилади.

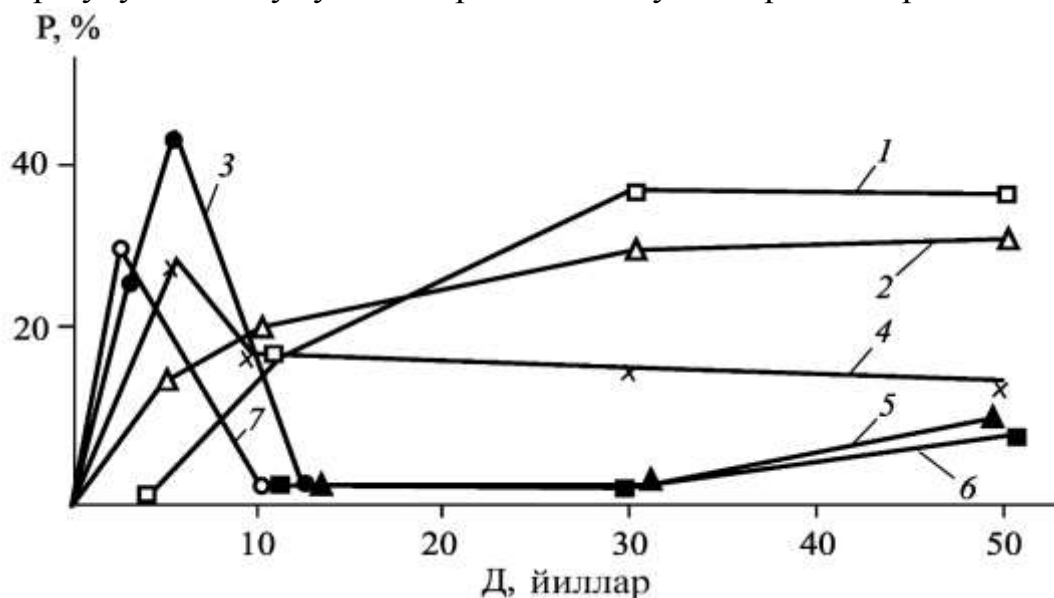
Коррозияга қарши курашишнинг иккинчи гуруҳ методлари – муҳит агрессивлигини камайтириш мақсадида унга ингибиторларни аралаштириш. Бу охириги пайтларда кенг тарқалган усулдир.

Металл сиртига изоляцияловчи қопламаларни ёпиштириш унинг коррозияланиш тезлигини сезиларли даражада камайтиради. Бу универсал усул бўлиб, у кўпдан бери қўлланилади. Қопламалар органик масалан, лок-бўёқ ва ноорганик (галваник, фосфатли ва б.) бўлиши мумкин. Кўп ҳолларда ҳимоя хоссасини кучайтириш мақсадида органик ва ноорганик қопламаларнинг комбинацияси ҳам ишлатилади. Кўп ҳоллада оралиқ қатлам сифатида металлга яхши адгезияланувчи фосфатлаш амалга оширилади. Бунда органик қопламанинг ҳимоялаш қобилияти бир неча мартага ортади.

Бир вақтда борадиган катод ва анод реакциялари тезлигига бевосита таъсир этишга асосланган усуллар электрохимёвий усулларга таълуқлидир. Бу кўпинча ҳимояланадиган металлнинг потенциали билан ифодаланади. Анодли ва катодли электрохимёвий усуллар мавжуд.

Металларни коррозидан ҳимоялашда юпқа сирт қопламалари сифатида асосан ноорганик ҳимоя плёнкалари, гальваноқопламалар ва лок-бўёқ қопламалари ишлатилади. Полимер материаллар ёрдамида металларни коррозиядан ҳимоялаш олдинги бўлимларда кўриб ўтилган эди.

Металларни коррозиядан ҳимоялаш учун у ёки бу турдаги қопламани қўллаш буюмни эксплуатация қилиш муддати ва коррозия тезлигига боғлиқ. 9.1-расмда талаб қилинадиган ишлаш муддати ва муҳитнинг агрессивлик даражасига боғлиқ ҳолда коррозияга қарши ҳимоялашнинг иқтисодий мақбул усуллари улушининг умумлаштирилган маълумотлари келтирилган.



**9.1-расм. Турли ҳимоялаш усуллари  $P$  солиштирма оғирлиги билан пўлат конструкцияларининг талаб қилинадиган ишлаш муддати  $D$  га боғлиқ ҳолда коррозияга қарши қўлланиладиган воситалар ҳажмида тақсимланиши.**

1– электрометаллизация (80 мкм)+ЛБҚ (лок-бўёқ қопламалари); 2– иссиқликда рухлаш (60–80 мкм); 3– силлиқланган сиртга ЛБҚ (120 мкм); 4– паст легирланган пўлат, локсиз; 5– қўлда металлаш (150–200 мкм); 6– қўлда металлаш (150–200 мкм)+ЛБҚ; 7– қўл билан зангдан тозаланган сиртга ЛБҚ (120 мкм); **1, 2, 4, 6** – 0,5-1,0 мм/йил; **3,7**– 0,05 мм/йил.

Расмдан кўринадики, хизмат қилиш муддати 10 йилдан ошмайдиган, коррозия тезлиги 0,05 мм/йил дан ошмайдиган ҳолларда лок-бўёқ қопламаларини қўллаш мақсадга мувофиқдир. Коррозия тезлиги 0,5–1,0 мм/йил бўлганда буюмларнинг хизмат муддатини комбинацияли металлаштирилган лок-бўёқ қопламаларини қўллаш орқали узайтириш мумкин. Масалан, иссиқлик орқали рухлаш плюс лок-бўёқ қопламалари, қўлда металлаш плюс лок-бўёқ қопламалари ва ҳ.к. Бундай ҳимоя усулларни қўллаш орқали хизмат муддатини 30 йил ва ундан ортиқроққа узайтириши мумкин.

Атмосфера шароитида кўпгина металллар оксид плёнкалари билан қопланган бўлади. Бироқ бу плёнкалар ҳамма вақт ҳам буюмни коррозиядан тўлиқ ҳимоялай олмайди.

Кимёвий ва электрокимёвий ишлов бериш орқали металл сиртида юқори адсорбцион имкониятга, электроизоляция хоссаларига, юқори мустаҳкамликка эга бўлган ва ейилмайдиган фосфат ёки оксид қопламаларини ҳосил қилиш мумкин. Пассивлаштирувчи эритмалар, мойловчи ёки лок-бўёқ материаллари билан қўшимча ишлов бериш орқали металллар ва қотишмаларнинг коррозиябардошлигини янада ошириш мумкин.

### 9.1.1. Фосфатлаш.

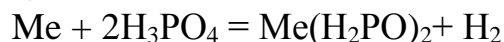
Фосфатлаш жараёнининг технологияси оддий. Фосфатлаш қора ва рангли металллар учун қўлланилади ва у темир, марганец ёки рухнинг кам эрийдиган фосфатларини ҳосил қолишдан иборат. Бу метод фосфор кислотаси тузларининг хоссаларига асосланган. Фосфор кислотаси –  $H_3PO_4$  уч турдаги тузларни ҳосил қилиши мумкин:

- бир алмашинган – дигидрофосфатлар  $Me(H_2PO_4)_2$
- икки алмашинган – моногидрофосфатлар  $MeHPO_4$
- уч алмашинган – фосфатлар  $Me_3(PO_4)_2$

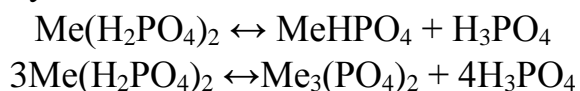
(бунда  $Me$  – икки валентли металл).

Сувда фақат аммоний ва ишқорли металлларнинг фосфатлари эрийди. Темир, марганец ва рухнинг бир ва икки алмашинган фосфатлари кам эрувчан. Демак, уларнинг ҳосил бўлиши учун шароит яратилса, улар металлнинг сиртида қолаверади.

Металл фосфор кислотаси билан таъсирлашганда дастлаб дигидрофосфатлар ҳосил бўлади:



Фосфор кислотасининг концентрациясини камайтирсак унинг иккиламчи ва учламчи тузлари ҳосил бўлади:

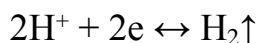


Фосфат плёнкасининг ҳосил бўлишида фосфор кислотаси билан металл ўзаро таъсирлашганда ҳосил бўладиган маҳсулот ва фосфатлаш учун олинган эритма таркибидаги модда қатнашади.

Фосфат плёнкасининг ҳосил бўлишидан олдин темирнинг ионланиш



ва водороднинг ажралиш реакцияси



боради деб таъкидлаш мумкин.

Эритмага ўтадиган темир фосфор кислотасини боғлайди ва реакциянинг мувозанати ўнг томонга силжийди. Чўкмага тушадиган ди- ва трифосфатлар кристалланиб, пўлат буюм сиртида зич кристалл плёнка ҳосил қилади.

Бутун сирт яхлит плёнка билан қопланиб, водород ажралиши тўхтагач, фосфатлаш тугатилади. Фосфат плёнкаси яхши адгезияга ҳамда юқори

ривожланган ғадир-будурликка эга. Улар лок-бўёқ қопламалари ва сингувчи мойламалар учун яхши грунт вазифасини ўтайди.

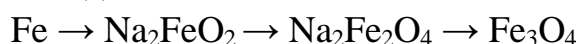
Денгиз сувларида, тропик районларда ишлатиладиган жиҳозларда фосфатлаш яхши самара беради. Хизмат муддатининг қисқалиги, мустаҳкамлиги ва эластиклигининг пастлиги уларнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

### 9.1.2. Оксидлаш.

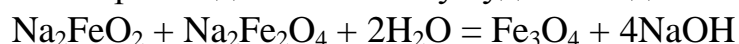
*Металл буюмлар сиртида оксид плёнкаларни ҳосил қилиш жараёни – оксидлаш дейилади.* Оксидлашнинг замонавий усули – ишқорли эритмаларда деталларни кимёвий ва электрокимёвий ишлов беришдир.

Электрокимёвий оксидлаш 4 % ли, 65–120°C ҳароратдаги ўювчи натрий (каустик сода) эритмасида 2,5 дан 10 А/дм<sup>2</sup> гача бўлган анод токи зичлигида олиб борилади. Бундай жараённинг давомийлиги 60 минутдан ошмайди.

Кетма-кет босқичларда ҳосил бўладиган темирнинг магнитли оксидидан сифатли қоплама юзага келади:



Қора металлларни оксидлаш *қорайтириши (зоклаш)* деб номланади. Қорайтириш қуйидаги тақибли эритмада амалга оширилади (г/л): NaOH — 600–700; NaNO<sub>2</sub> — 200–250; NaNO<sub>3</sub> — 50–100. Ҳарорат — 135–145°C, жараённинг давомийлиги 30–90 минутни ташкил қилади. Бу жараёнда темирнинг эриши Na<sub>2</sub>FeO<sub>2</sub> ва Na<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> бирикмаларининг ҳосил бўлиши билан боради, улардан эса темир оксиди плёнкаси вужудга келади:



Оксид плёнкасининг ранги кам улеродли пўлатларда тим қора, юқори углеродли пўлатларда эса – кулранг сояли қора рангда бўлади. Коррозияга чидамлилигини ошириш учун оксидланган буюмлар 2–3% ли қайноқ совунли эритмада 2–3 сақланади, сўнгра эса 105–120°C температурадаги минераллашган трансформатор ёки машина мойига 5–10 минут давомида туширилади. Шундан сўнг плёнка тиниқ, ялтироқ ва текис қора тусга киради.

Шу йўл билан магнийли қотишмаларни ҳам хромкислотали электролитларда оксидлаб, кейинчалик лок-бўёқ қопламалари суркалади. Оксид плёнкаларининг қалинлиги одатда 0,8-1,5 мкм ни ташкил қилади.

Сирт оксид плёнкаларнинг коррозиябардошлик хусусиятлари жуда юқори бўлмаганлиги сабабли бу усулнинг қўлланилиш соҳаси унча кўп эмас. Оксид плёнкалари билан қоплаш асосан декоратив ишлов бериш мақсадида амалга оширилади. Деярли барча ўқотар қурооллар ва аниқ ўлчовчи асбоблар шу йўл билан қорайтирилгани боис, улар узоқ вақт сақланадиган нафис ва чиройли қора рангда бўлади. Шу билан бир қаторда улар жуда юпка (1,0–1,5 микрон) бўлганлиги учун буюмнинг ўлчамларига таъсир қилмайди.

### 9.1.3. Пассивлаш.

Коррозидан ҳимоялашнинг самарали усулларида яна бири металлларни *пассивлаштириш* яъни уларга хроматлар ва нитратлар эритмасида ишлов беришдир. Рухланган буюмларни пассивлаштириш учун 8–10мл/л концентрацияли  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ва 200 г/л –  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  эритмаларидан фойдаланилади. Ишлов бериш вақти 5–30 с бўлиб, плёнканинг ранги ушбу вақтга боғлиқдир.

Тутиб туриш вақти 5 с бўлганда плёнканинг ранги камалаксимон, яшил тусли бўлиб, унинг массаси 0,9–1,2 г/м<sup>2</sup> ни ташкил қилади. Вақтни ундан кейинги ошириш рангнинг сарикдан жигаригача ўзгаришига олиб келади.

Алюминийни пассивлаштириш учун калий бихромати (200 г/л) ва 2 мл/л HF эритмаси ишлатилади.

Хроматли эритмаларда мисни пассивлаштириш  $\text{SO}_2$  буғлари ва нейтрал туз эритмалари муҳитидаги буюмларни коррозиядан ҳимоялашда айниқса яхши самара беради.

Пулат деталларга 60–90 % ли натрий нитрити эритмасида ишлов берилганда улар икки йилгача зангламайди.

### 9.1.4. Анодлаш.

Алюминий сиртида оксид плёнкаларини ҳосил қилиш жараёни анодлаш дейилади. Одатдаги шароитларда алюминий сиртида  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ёки  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  оксидларининг юпқа плёнкалари мавжуд бўлсада, улар алюминийни коррозиядан ҳимоялай олмайди. Ўраб турган муҳит таъсири туфайли алюминий уқаланиб кетадиган оқ коррозия маҳсулотлари билан қопланади. Қалин оксид плёнкаларини сунъий равишда ҳосил қилиш жараёни кимёвий ва электрокимёвий усулларда амалга оширилади.

Алюминийга анодли ишлов беришдан ҳосил бўлган плёнка етарлича қалинликка ва бир қатор муҳим хоссаларга эга. Бу плёнкалар металлни коррозиядан ҳимоялаб, лок-бўёқ қопламалар учун яхши тагир вазифасини бажаради. Анод плёнкалари ейилишга чидамли, юқори электр қаршиликка эга ва яхши бўялиши сабабли анодланган алюминий бумларга чиройли ҳамда нафис кўриниш бера олади. Анодли оксидлаш учун икки турдаги электролитлардан фойдаланилади:

- кучсиз (бор, вино, лимон) кислоталарнинг эритмалари;
- сульфат, хром, шовул (оксалат) кислоталарнинг эритмалари.

Биринчи ҳолда ғоваксиз, зич, ўзидан электр токини ўтказмайдиган қалинлиги 1 мкм гача бўлган плёнка ҳосил бўлади. Бундай плёнкалардан конденсатор ишлаб чиқаришда электроизоляция қопламалар сифатида фойдаланилади.

Иккинчи ҳолдаги эритмаларда 1 дан 50 мкм гача қалинликдаги говак плёнкаларни олиш мумкин.



Алюминий ва унинг қотишмаларини анодлаш концентрацияси 180-200 г/л бўлган сульфат кислотаси эритмасида, хром ангидриди (3% ли эритмаси) ва шавел кислотаси (3–10% ли эритмаси)да 80–200 А/м<sup>2</sup> ток зичлигида, 24 В гача бўлган кучланишда 15-60 минут давомида амалга оширилади. Катодлар кўрғошиндан ёки 2Х18Н9Т маркали пўлатдан тайёрланади.

Ҳимоя хусусиятларини яхшилаш учун оксидланган буюмлар олдин буг ва иссиқ сув билан, сўнгра эса хроматлар ва бихроматлар эритмасида ишлов берилади. Буг билан ишлов берилганда плёнка ғовакликларида алюминий гидроксиди, хромли эритмаларда эса янада чидамли (А1О)<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> кўринишидаги бирикмалар ҳосил бўлади.

Алюминий сиртида оксид анодли оксидланиш натижасида ҳосил бўлади:



Бу плёнка икки қаватдан иборат бўлади: бевосита металл сиртига ёпишган 0,01-0,1 мкм қалинликдаги зич барер қавати ва қалинлиги 200-400 мкм гача борадиган ташқи ғовак қатлами.

Алюминий ва унинг қотишмаларини кимёвий оксидлаш қуйидаги таркибдаги ишқорий хромли эритмаларда (г/л): Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> – 15; NaOH – 2,5 ва Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 50 да 90–95°С ҳароратда, 5–10 минут давомида амалга оширилади. Бунда механик ва диэлектрик хусусиятлари унчалик юқори бўлмаган 3–4 мкм қалинликдаги плёнкалар ҳосил бўлади. Жараён оддий, тез амалга ошадиган ва махсус қурилмаларни талаб қилмайди.

## 9.2. Галваник қопламалар

Металл ва қотишмаларни коррозиядан ҳимоялашнинг усулларида яна бири галваник сирт қопламалари ҳосил қилишдир. Электр қоплаш бошқа усулларга нисбатан бир қатор афзалликларга эга, чунки унда:

- қатламнинг қалинлигини бошқариш мумкин;
- рангли металллар тежаб ишлатилади;
- хром, никел, мис, кумуш, платина каби эриш температураси юқори бўлган металллар билан ҳам қоплаш имкони мавжуд.

Галваник қопламалар қуйидаги хусусиятларга эга бўлиши талаб этилади:

- буюмни агрессив муҳитдан изоляциялай олиши;
- қопламанинг ўзи коррозиябардош бўлиши;
- белгиланган физик-механик хоссаларга эга бўлиши лозим.

Бундай сифатларнинг барчаси қоплама кристалларининг юзага келиш ва ўсиш шароитлари орқали белгиланади. Юқори ҳимоявий хусусиятларга эга бўлган қопламаларни олиш учун электролитга турли қўшимчалар ва сирт фаол моддалар киритилишини тақозо этади. Бироқ бу қатъий экологик нормалар орқали чеклангандир. Шунинг учун электрокимёвий қоплаш жараёнларини такомиллаштириш органик қўшимчаларга таяна олмайди ва кристаллар ўсишининг физик-кимёвий қонуниятларини чуқур ўрганишни тақозо этади.

Кўп сонли изланишлардан маълум бўлдики, адсорбцияланган атомларнинг кўпқаватли ҳосил бўлишини металллар сиртга электр ўтиришининг биринчи стадияси сифатида қараш лозим. Қопламаларнинг кейинги ўсиш характери ва хоссаларини аниқлашда бу муҳим аҳамият кашф этади.

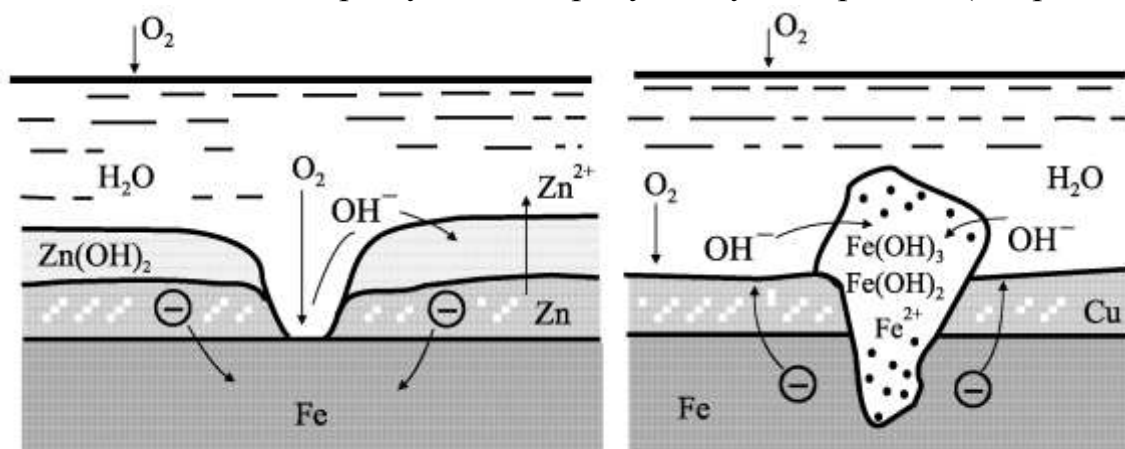
Бу изланишлар шуни кўрсатадики, кўпгина системалар учун кўпқаватлилар нейтрал атомлардан ташкил топган, биржинсли тақсимотга эга ва уларнинг адсорбцияси Фрумкин ва Темкин изотермалари орқали ифодаланиши мумкин.

$\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  анионлари моноқатламларнинг ҳосил бўлишига адсорбцияланган атомлар билан рақобатлашиб, сиртнинг хоссаларига таъсир таъсир қилади.

Металлларнинг моноқатламлари ўзининг физикавий хоссалари билан массив металлдан фарқ қилади. Масалан, кумушнинг платинада адсорбцияланиши электронларнинг чиқиш ишини 5,8 дан 2,7 эВ гача пасайтиради. 3 моноқатламдан катта қалинликларда чиқиш иши соф металлникига тенг бўлиб қолади.

Антикоррозион химоя қопламалари *анодли* ва *катодли* бўлиши мумкин.

Металл қопламалари коррозион агентлар учун ўтказмайдиган бўлиши керак. Бироқ, металл қопламаларида ғовакликлар, тирналишлар, эзилишлар каби дефектлар бўлса, асосий металлнинг коррозион емирилиш характери ҳар иккала металлнинг электрокимёвий характеристикалари орқали белгиланади. Пўлатга нисбатан рухли қопламалар анодли, мисли қопламалар эса – катодли ҳисобланади. Шунинг учун дастлаб рух емирила бошлайди. Бунда қоплама қанчалик қалин бўлса, у темир ёки пўлатни емирилишдан шунча узоқ вақт химоя қилади, яъни у протектор вазифасини бажаради (9.2-расм, *а*). Мис темирга нисбатан катодли қоплама ҳисобланади, чунки мис янада мусбатроқ потенциалга эгадир. Шунинг учун бу жараёнда мис қопламасининг ғовакликлиги қанча юқори бўлса, темир шунча кўп емирилади (9.2-расм, *б*).



9.2-расм. Металл қопламаларининг асосий металлдан нисбатан анодли (*а*) ва катодли (*б*) таъсирини тушинтириш схемаси.

### 9.2.1. Рухлаш ва кадмийлаш

**Рух** арзон ва танқис бўлмаган металлдир. Рух қопламалари машина деталларини, қувур ўтказгичларни ва пўлат листларни коррозиядан ҳимоялаш учун хизмат қилади. У асосий буюмларни механик ва электроким-ёвий усуллар билан ҳимоялайди, чунки ғовак ва яланғоч жойлар бўлганда рух емирилиб, пўлат асос коррозияланмай қолади.

Рух қопламалари ҳимоя қопламалари ичида етакчи ўринни эгаллайди. Барча пўлат буюмларнинг тахминан 20 % рух ёрдамида коррозиядан ҳимояланади, бунинг учун дунёда ишлаб чиқариладиган рухнинг деярли 50 % гальваник қопламаларга сарфланади.

Охирги йилларда рух асосидаги Zn-Ni (8–12% Ni); Zn-Fe; Zn-Co (0,6–0,8% Co) қотишмалардан гальваник ҳимоя қопламалари яратиш борасида катта ишлар амалга оширилди. Натижада қопламаларнинг коррозиябардош-лиги 2–3 мартага оширилди. Рухлаш кислотали, цианидли ва бошқа рухли электролитларда амалга оширилади. Рухнинг ўтириши ток бўйича юқори чиқиш орқали амалга оширилади. Рух қопламалари юқори даражадаги тозалиги, кимёвий бардошлилиги ва яхши механик хусусиятлари билан ажралиб туради.

Рухли комбинацион электрокимёвий қопламалар (КЭҚ) ҳам самарали ҳимоя воситаси ҳисобланади. Сульфат электролитига 0,4–0,5 масс.% кроунд қўшиш орқали яхшигина КЭҚ олиш мумкин. Цинкат электролити билан никелли карбонил кукуни ёрдамида таркибида 6–12 масс.% никел бўлган КЭҚ олинади. Рух асосида капрон ва полиамид каби полимерларнинг заррачаларини қўшиб, уларнинг улуши 0,9–3,1 мас.% бўлган КЭҚ ҳосил қилинади. Бундай қопламалар кислотали муҳитларда соф рухга нисбатан 1,5 марта чидамлидир.

**Кадмий** темирга нисбатан рухга қараганда янада яқинроқ потенциалга эга. Кадмийли ҳимоянинг характери коррозион муҳитнинг табиатига боғлиқ. Хлор-ионлари мавжуд бўлган нам атмосферада кадмийнинг потенциали темирнинг потенциалига қараганда электр-манфийроқ бўлиб қолади ва кадмий металлни коррозиядан электрокимёвий йўл билан ҳимоялайди. Кадмий анча танқис ва юқори даражада заҳарли бўлганлиги сабабли ундан ўта муҳим деталларни ҳимоялашдагина фойдаланилади.

Рухлаш ва кадмийлаш учун ҳозирги пайтда қўлланиладиган электролитларда металл оддий тузлар ёки комплекс бирикмалар кўринишида қўшилади. Бунда сульфат электролитлари энг кўп тарқалгандир. Уларнинг таркиби (г/л) 9.1-жадвалда келтирилган.

9.1-жадвал

Рухлаш ва кадмийлаш учун қўлланиладиган электролитларнинг таркиби (г/л)

№	Рухлаш	Кадмийлаш
1.	ZnSO <sub>4</sub> — 200–250	CdSO <sub>4</sub> — 40–60

2.	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ — 50–100	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 240–250
3.	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ — 20–30	Препарат ОС-20 — 0,7–1,2
4.	Декстрин 8–10	Диспергатор НФ — 50–100
5.	pH=3,5–4,5	Уротропин — 15–20

Рухлаш жараёнида катод токининг зичлиги 100–400 А/м<sup>2</sup>, кадмийлаш пайтида эса бу кўрсаткич 80–20 А/м<sup>2</sup> ни ташкил қилади. Ҳар иккала жараён учун электролитнинг ҳарорати — 5–30°С.

### 9.2.2. Қалай ва қўрғошин қопламалари

Пўлат билан контактлашганда қалай катод вазифасини бажаради, чунки унинг потенциали темирга нисбатан мусбатлироқ қийматга эга. Бироқ қалай органик кислоталар муҳитида комплекс бирикмалар ҳосил қилади ва унинг потенциали электр манфийроқ бўлиб қолади. Бундай муҳитларда қалай анод бўлиб ҳисобланади. Қалай қопламалари озиқ-овқат саноати жиҳозлари тайёрлашда, электрон аппаратураларнинг печатли платаларини ясашда ишлатилади.

Ишлаб чиқариладиган қалайнинг 50% оқ жист тайёрлаш учун сарфланади. Коррозион бардошлиликни ошириш мақсадида қалайли қопламаларнинг сирти эритилади. Ялтироқ қалайлаш – металл буюмларнинг сиртини юпка ялтироқ қалай қатлами билан қоплашдир. Ғоваклиги ва коррозиябардошлиги бўйича улар хира қопламалардан қолишмайди, юқори каттиқликка эга.

Қалайлаш учун кислотали ва ишқорли электролитлар қўлланилади. Кислотали электролитлар таркиби бўйича оддий, уй ҳароратида ишлатилиши жиҳатидан қулайдир. Улар кўпинча оддий конфигурацияли деталларни қоплаш учун қўлланилади. Қалай билан қоплаш учун ишлатиладиган электролитларнинг тақибини (г/л):  $\text{SnSO}_4$  — 20–25;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — 50–100; ОС-20 препарати — 2–5. Ҳарорат 15–30°С, ток зичлиги — 100–200 А/м<sup>2</sup>.

Мураккаб деталларни қалай билан қоплаш учун ишлатиладиган ишқорли электролитларнинг таркиби (г/л):  $\text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$  — 45–90;  $\text{NaOH}_{\text{эркин}}$  — 7–17;  $\text{CH}_3\text{COONa}$  — 15. Ҳарорат 60–80°С, ток зичлиги — 50–200 А/м<sup>2</sup>.

Қўрғошин сульфат кислота ва унинг бирикмалари муҳитида чидамлидир. Қўрғошин қалай сингари пўлат буюмларни электрохимёвий йўл билан ҳимоялай олмайди. Шунинг учун сульфат ва хром кислоталари ҳамда уларнинг тузлари бўлган муҳитларда қора металллардан тайёрланган деталларни механик ҳимоялаш мақсадида ғовак бўлмаган қалин (300 мкм гача) қўрғошинли қопламалар қўлланилади. Шунини айтиш лозимки, қўрғошин юқори токсинликка (заҳарлилик) эга.

Қўрғошин билан қоплаш учун саноатда борфторводородли ёки фенолсульфонли электролитлар қўлланилади. Сифатли ва чидамли қоплама-

лар олиш учун органик қўшимчалар ҳам киритилади. Электролитларнинг таркиби (г/л) 9.2-жадвалда берилган.

9.2-жадвал

Қўрғошин билан қоплаш учун қўлланиладиган электролитларнинг таркиби (г/л)

Борфторводородли	Фенолсульфонли
$Pb(BF_4)_2$ — 125–200	$Pb(НОС_6H_4SO_3)_2$ — 170–180
$HBF_4$ — 40–60	$НОС_6H_4SO_3H_{эркин}$ — 20–25
Дурадгорлик елими — 0,5–1,0	Дурадгорлик елими — 0,4–0,5

Электролиз 15–30°C ҳароратда ва 50–200 А/м<sup>2</sup> ток зичлигида олиб борилади.

### 9.2.3. Никелли қопламалар

Никел ҳавода, ишқорли эритмаларда ва баъзи кислоталарда чидамдир. Никелли қопламалар озиқ-овқат саноати жиҳозларини қоплашда, асосан буюмларга декоратив ишлов беришда қўлланилади.

Темир билан жуфтлик ҳосил қилганда никел катод ҳисобланади, чунки у темирга нисбатан мусбатроқ электр потенциалига эга.

Никел пўлатни фақат механик йўл билан ҳимоялаши мумкин, шу сабабли никелли қопламалар ғовакларсиз, 20-25 мкм гача қалин бўлиши лозим. Никелли қопламаларнинг бир неча кўринишлари мавжуд.

*Никелли хира қоплама* ҳосил қилиш учун электролитларнинг асосий компоненти – никел сульфати ҳисобланади. Қоплама пластик ва сифта бўлиши учун эритмага натрий ёки магний сульфати, шунингдек рН нинг қийматини ўзгармас сақлаш учун бор кислотаси қўшилади.

*Ялтироқ никеллаш* декоратив-ҳимоялаш мақсадларида қўлланилади. Бунда қопламани силлиқлашга ҳожат қолмайди. Ялтироқ никел қопламаларини мураккаб профилли деталларга ҳам осонгина ётқизиш мумкин, қоплама ғадир-будурликларни текислаш хоссасига эга. Ялтироқ қоплама олиш учун электролит эритмасига махсус қўшимча – ялтиратувчи компонентлар қўшилади. Хира қопламаларга нисбатан ялтироқ қопламаларнинг бардошлилиги пастроқ.

*Қора никеллаш* – металл буюмлар сиртига қора рангдаги никелни электролитик усулда қоплаш демакдир. Бундай қопламалар ҳимоя-декоратив мақсадлар билан бирга ёруғликни қайтариш коэффициентини камайтириш учун ҳам фойдаланилади. Қора никелли қоплаш оптик ишлаб чиқариш ва машинасозликнинг баъзи соҳаларида қўлланилади. Қора никелнинг коррозия бардошлилик, пластиклик ва юза билан илашувчанлик кўрсаткичлари анча паст. Шунинг учун сиртларни дастлаб қалайлаш ёки хира никеллаш амалга оширилади. Агар дастлабки рухлаш қўлланилиб, сўнгра қора никел ётқизилса,

катламнинг коррозиябардошлиги соф рухники каби бўлади. Кўпинча мис ва жез (латун) буюмларнинг сирти кора никел билан қопланади.

Кўриб ўтилган усуллардан ташқари металл буюмлар сиртини никеллашнинг кимёвий усуллари ҳам мавжуд. Кимёвий қайтарилган никел ўзининг юқори коррозиябардошлиги ва қаттиқлиги билан ажралиб туради. Бунда олинган қатлам қалинлигининг бутун сирт бўйича бир хиллиги, юқори декоратив хусусиятлари ва ғовакликларнинг камлиги билан аҳамиятлидир.

Никел асосидаги янги электролитлар ва қотишмаларни яратиш йўлидан бориш орқали никеллаш жараёнларини такомиллаштириш ишлари амалга оширилмоқда. Янги метансулфон эритмалари ишлаб чиқилган бўлиб, улардан ички кучланиши кичик бўлган пластик никелли қопламалар олинади.

Икки-уч қаватдан иборат кўпқаватли никелли қопламалар бир қаватлиларига нисбатан янада коррозиябардош бўлади. Биринчи қават оддий никелли электролитдан ҳосил қилинса, иккинчиси органик қўшимчалар тақибига киритилган олтингугуртли электролит ёрдамида ётқизилади. Таркибида олтингугурт бўлган никелнинг потенциали олтингугурт киритилмаган никелнинг потенциалидан манфийроқ бўлади. Шу сабабли никелнинг биринчи қаватини электрокимёвий йўл билан унинг иккинчи қавати ҳимоялайди. Натижада асосий жиҳознинг ишончли, юқори даражадаги ҳимояси таъминланади.

“Сил-никел” деб номланадиган қўш қаватли қопламалар ҳам ҳозирги кунда жуда кўп ишлатилади. Унинг биринчи қавати ялтироқ никелдан ташкил топган. Иккинчи қавати таркибида суспензия кўринишидаги каолин бўлган электролитдан ҳосил қилинади. Электролиз пайтида каолин никел билан бирга тиниган ҳолда чўкма ҳосил қилади.

Ni-W қотишмасидан таёрланган қопламалар телевизион трубкалар ишлаб чиқаришда пуансон штамплари тайёрлаш учун фойдаланилади. Никелнинг фторопласт ва MoS<sub>2</sub> билан бирга чўкиш жараёни ҳам такомил-лашиб бормоқда. Қопламалар матричасига олмос ва бошқа металлмас қўшимчаларни киритиш улар қаттиқлигининг кескин ортишига ва никел қопламаларининг узоқ вақт хизмат қилишига олиб келади.

Кўпқаватли никелли қопламалар никелни сезиларли даражада тежаш билан бирга уларнинг эксплуатацион хоссаларини тубдан яхшилайдди.

#### **9.2.4. Хромлаш.**

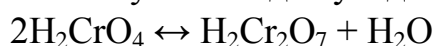
Хромли қопламалар турли хилдаги машина ва жиҳозларни коррозиядан ва механик ейилишлардан ҳимоялаш мақсадларида кенг қўлланилади.

Хромли қопламаларнинг ҳимоя-декоратив ва функционал кўринишлари мавжуд. Хром пўлатга нисбатан катод ролини ўйнаганлиги сабабли уларнинг контактида пўлат емирилади. Шу сабабли пўлат сиртидаги хромли қопламалар яхлит ва ғовакларсиз бўлиши лозим. Пўлат буюмларни атмосфера

шароитида химоялаши учун бир қаватли хромли қопламаларнинг қалинлиги камида 40 мкм бўлиши лозим.

Мис ва мис қотишмаларининг сиртлари никел тагқатламлари устидан хром билан қопланади. Рух, алюминий, магний қотишмаларидан тайёрланган деталларни кўпқаватли қопламалар билан қоплангандан сўнг хромлаш ахши самара беради.

Хромлаш электролитининг асосий компонентлари хром(VI) оксиди –  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ва сульфат кислотаси ҳисобланади. Cr(VI) бирикмасининг сувли эритмасида  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ва  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  кислоталарининг аралашмаси ҳосил қилинади. Эритмада бу кислоталар динамик мувозанатда бўлади:



Электролиз пайтида катодда бир вақтнинг ўзида  $\text{Cr}^{+6}$  нинг  $\text{Cr}^{+3}$  гача ва ундан кейин хром металлгача қайтарилиши, шунингдек водород ионининг разряди амалга ошади. Ток бўйича хромнинг чиқиши 15–25 % дан ошмайди. Хромлаш анча мураккаб жараён ҳисобланади. Катодда хромнинг ажралиши жуда катта ток зичлигида (1000–3000 А/м<sup>2</sup>) рўй беради. Ҳар бир температура учун хромнинг ўтириши юз бермайдиган ток зичлигининг минимум қийматлари мавжуд бўлади.

Электролизнинг режимларини ўзгартириб, *ялтироқ, хира (кулранг) ва «сутсимон»* хром қопламаларини ҳосил қилиш мумкин. Ялтироқ ёпишмалар энг юқори қаттиқликка, асосий металл билан яхши илашишга ва энг кам мўртликка эга. Хира-кулранг қопламалар юқори мўртлиги билан ажралиб туради. Сутсимон хромли қопламалар юқори қаттиқликка, эластикликка, жуда кам ғовакликка ва юқори химоялаш қобилиятига эга.

Қаттиқ эксплуатация шароитларида ишлайдиган машина ва аппаратларнинг пўлат деталлари икки қаватли хром билан: пастки қавати – сутсимон ва утки қавати – ялтироқ қатлам билан қопланади. Бу коррозиядан жуда яхши химоя ва керакли декоратив сифатлар билан бирга ейилишга қарши юқори чидамлиликини таъминлайди.

Деталларнинг сирти коррозиябардош бўлиши билан бир қаторда ёруғликни қайтариш коэффиценти кичик бўлиши талаб этиладиган ҳолларда қора хромли химоя-декоратив қопламалардан фойдаланилади. Қора рангли бошқа қопламаларга нисбатан қора хром қопламалари юқори коррозиябардошлиги билан ажралиб туради. Бундай қопламалар кўпинча сутсимон ёки ялтироқ хром, ёинки никел тагқопламалари устидан ётқизилади. Қора хром қопламалари 75 % металл хромдан ва 25 % хром оксидидан иборат бўлади.

Таркибида Cr(VI) бирикмалари бўлган эритмалар орқали хром қопламаларини ҳосил қилишнинг анъанавий жараёнлари экологик хавфли ҳисобланади. Cr(VI) нинг рухсат этиладиган чегаравий концентрация миқдори

– 0,02 мг/л, Cr(III) учун эса – 0,07 мг/л ни ташкил қилади. Шу сабабли ишлатилган гальванооқавалар мураккаб тозалаш тизимидан ўтади.

### **9.3. Иссиқликка чидамли ҳимоя қопламалари.**

#### **Термодиффузион қоплаш усули**

Металлар сиртига иссиқбардош ва оловбардош қопламаларни ётқизиш буюмлар ва жиҳозларни газ коррозиясидан ҳимоялаш усулларидан бири бўлиб ҳисобланади. Бундай қопламаларга бир қатор талаблар қўйилади. Улар яхлит ва агрессив муҳитни ўтказмайдиган, металлга қаттиқ ва мустаҳкам ёпишадиган, асосий металлнинг технологик хоссаларини ёмонлаштирмайдиган ва ҳ.к. Металл сиртига ҳимоя қопламаларини ётқизишнинг қуйидаги усуллари мавжуд:

- 1) диффузион;
- 2) металлни пуркаш;
- 3) иссиқлик усули – буюмни эритилган металлга ботириш;
- 4) механотермик ёки суркаш (плакирлаш).

#### **9.3.1. Қоплашнинг термодиффузион усули**

*Термодиффузион усул* 1938 йилда Н.А. Изгарышев ва Э.С. Саркисовлар томонидан ишлаб чиқилган ва амалда қўлланилган. Бу усул юқори температураларда асосий металл сиртини диффузия йўли билан легирловчи компонент атомлари билан тўйинтиришга асосланган. Бунда легирловчи металл сарфининг кескин камайишига эришилади. Термодиффузион қоплама ҳосил бўлиши учун қуйидаги икки асосий шарт бажарилиши керак:

- асосий металл билан қопланадиган металлнинг қаттиқ эритмаси ҳосил бўлиши лозим;
- қопланадиган металл атомларининг кристалл панжара ичкарасига эркин кириб бориши учун уларнинг атом радиуси асосий металл атомлари радиусидан катта бўлмаслиги керак.

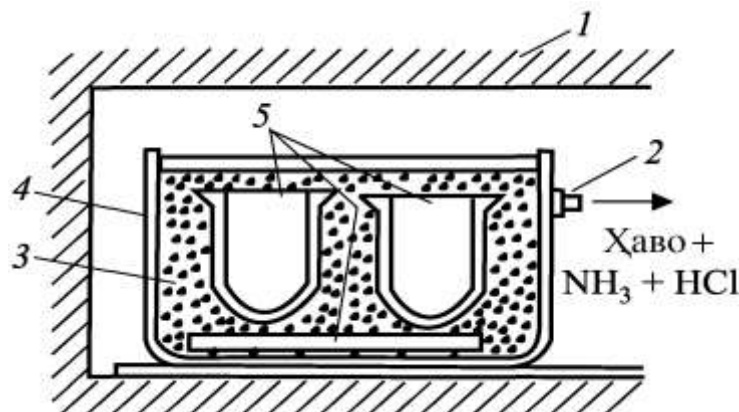
Масалан, темир учун термодиффузион қоплама Cu, Au, Zn, Ti, Al, Si, Cr, Mo ва б. металллардан ҳосил қилиниши мумкин. Булардан ишлаб чиқаришда энг кўп қўлланиладиган қопламаларга қуйидагиларни келтириш мумкин:

- *алюминий билан — термоалюминийлаш;*
- *хром билан — термохромлаш;*
- *кремний билан — термокремнийлаш.*

*Термоалюминийлаш* 900-1000°С гача қиздиришга чидайдиган металл сиғимда амалга оширилади. Бу идишга сирти ортиқча ўтирмалардан тозаланган пўлат деталлари туширилиб, реакция аралашма билан яхшилаб, пухталиқ билан кўмилади. Аралашма 49 % алюминий кукуни ёки темир-алюминий қотишмасининг кукуни, 49 % алюминий оксиди  $Al_2O_3$  ва 2 % аммоний



хлориди  $\text{NH}_4\text{Cl}$  дан иборат бўлади. Деталларни аралашма билан зичлаштирилган ҳолда кўмилади, бўшлиқлар қолмаслиги лозим, идиш тубидаги аралашманинг қалинлиги 10 см дан кам бўлмаслиги лозим. Сифим ортиқча газларнинг чиқиб кетишига имкон берувчи клапан билан жиҳозланган (9.3-расм).

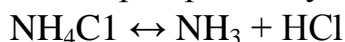


9.3-расм. Термоалюминийлаш жараёнининг схемаси.

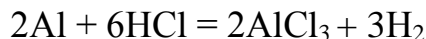
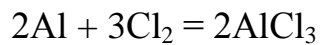
1–печ; 2–клапан; 3–реакцион аралашма; 4–темир яшик; 5–буюм.

Инерт тўлдирувчи ҳисобланган  $\text{Al}_2\text{O}_3$  алюминий заррачаларининг бирига ёпишишига имкон бермайди ва ҳарорат ортиши билан умумий масса ичига қўшилиб кетади. У алюминийнинг дисперс ҳолатда сақланишига имкон туғдиради, диффузия жараёни боришини осонлаштирувчи умумий реакцион аралашманинг ғовак ҳолатда бўлишини таъминлайди.

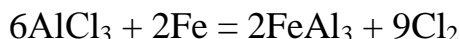
Аммоний хлориди буюм оксидланишининг олдини олиш мақсадида ҳавони сиқиб чиқариш ва махсус газ муҳити ҳосил қилиш учун идишга киритилади. Идишдаги ҳарорат  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$  гача етганда  $\text{NH}_4\text{Cl}$  парчаланиши юз беради. Бунда қуйидаги реакциялар бориши мумкин:



$\text{Cl}_2$  нинг ёки  $\text{HCl}$  нинг алюминийга таъсири қуйидаги реакциялар орқали бориши мумкин:



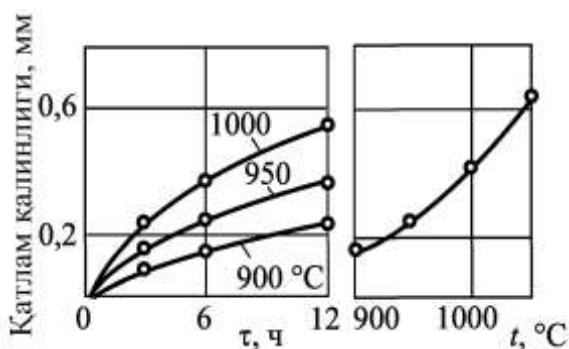
Алюминий хлориди учувчан бирикма бўлганлиги сабабли пўлат буюмлар сиртига жуда тез етиб боради. Натижада сиртда қуйидаги алмашинув реакцияси амалга ошади:



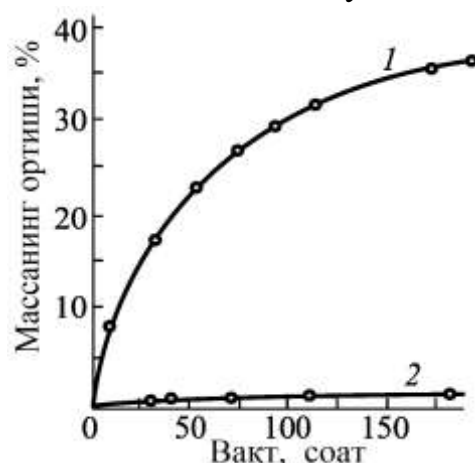
Озод хлор алюминий билан таъсирлашиб, яна учувчан алюминий хлориди ҳосил қилади. Шундай қилиб, газ фазаси орқали қопловчи металл (алюминий)нинг буюм металл (пўлат) сиртига кўчиши амалга ошади.

Ундан кейин деталнинг сирт қатламига алюминий атомларининг диффузия жараёни амалга ошади. Бу жараён  $950\text{--}1000^\circ\text{C}$  ҳароратда 5–6 соат давом этади. Қанчалик ҳарорат юқори ва давомийлик кўп бўлса, ҳимоя

катламининг чуқурлиги шунча катта бўлади (9.4-расм). Одатда ҳосил қилинадиган ҳимоя қатламлари 0,3 дан 0,6 мм гача қалинликда бўлади.



9.4-расм. Алюминийлаш жараёни давомийлиги ва ҳароратининг ҳимоя қатлами қалинлигига таъсири



9.5-расм. Термоалюминийлашда пўлат оловбардошлигининг ортиши. 1–қопламали пўлат; 2– термоалюминийланган пўлат.

Қопламанинги иссиқбардошлигини  $Al_2O_3$  ва  $FeAl_2O_4$  кўринишидаги оксидлар таъминлайди. Бунда ташқи қават алюминий билан бойиган, ўртадаги қават таркиби бўйича  $FeAl_3$  интерметалл бирикмага яқинроқ, ундан кейин чуқурроқ борган сари алюминийнинг миқдори камайиб борадиган алюминийнинг темирдаги қаттиқ эритмаси ётади.

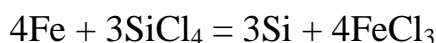
Термоалюминийлашда пўлат буюмларнинг оловбардошлиги кескин ортади (9.5-расм). Улар 800–900°C ҳароратда узок вақт ишлатилиши мумкин. Таркибида олтингугурт бирикмалари бўлган атмосфераларда газ коррозиясига қарши жуда яхши ҳимояни таъминлайди. Бироқ 1000°C дан юқори ҳароратларда уларнинг ҳимоявий хусусиятлари пасаяди. Пўлатларни диффузия йўли билан алюминийга тўйинтириш – уларни юқори ҳароратларда кислород таъсиридан ҳимоялашнинг энг ишончли усулларида ҳисобланади.

Алюминийланган жиҳозлар нефтни тозалаш, нефтни ҳайдаш ва қайта ишлаш қурилмаларида, газогенераторларнинг деталларида, муфелли печларда газ коррозиясидан ҳимоялаш учун кенг қўлланилади.

*Термохромлаш* – пўлат ёки чўяндан тайёрланган буюмлар сиртини хром билан тўйинтириш жараёнидир. Бу жараён кукунсимон хром ёки феррохром билан каолин ва аммоний хлориди аралашмасида 1000–1500°C ҳароратда амалга оширилади. Жараён 8–16 соат давом этади. Бу вақтда қалинлиги 50–200 мкм бўлган қатлам ҳосил бўлади. Ташқи қатлам таркибидаги хромнинг миқдори 50% дан ортади ва қатлам қаттиқ Fe-Cr эритмасидан иборат бўлади.

Термохромланган буюмлар юқори оловбардошликка, қаттиқликка ва иссиқбардошликка эга бўлади. Улар кимё ва нефткимё саноатида, айниқса оксидловчи муҳитларда, ишқаланишдан юқори кучланиш сезувчи деталлар тайёрлашда кенг қўлланилади.

*Термокремнийлаш* ҳам кўрилган икки усулга ўхшаш технологик жараён. Бу жараён ферросилиций (FeSi), шамот (оловда пиширилган оқ лой) ва аммоний хлориди куқунларининг аралашмасини қўллаш орқали ёки SiF<sub>4</sub>, SiCl<sub>4</sub> кремний бирикмаларининг газсимон муҳитида амалга оширилади. Жараён 1100–1200°C ҳароратда 10–24 соат давом этади. Бунда қуйидаги реакция боради:



Ҳосил бўлган химоя қатламининг қалинлиги 0,8–1,0 мм ни ташкил қилади. Кремнийланган буюмнинг сирти қаттиқ, ейилмайдиган бўлади. Бундай қопламалар углеродли пўлатларни газ коррозиясидан яхши химоялайди. 9.3-жадвалда термодиффузион қопламаларининг қиёсий характеристикалари келтирилган.

9.3-жадвал

Термодиффузион қопламаларининг қиёсий характеристикалари

Қоплама тури	Узоқ вақт ишлаши мумкин бўлган максимал температура, °C	Ишлов бериш натижасида қўшимча ҳосил бўладиган буюмнинг хоссалари
Термохромлаш	800	Иссиқбардошлиги, қаттиқлиги ва ейилишга чидамлилиги ортади
Термоалюминийлаш	950	Оловбардошлиги ва мўртлиги ортади
Термокремнийлаш	1000	Ейилишга чидамлилиги ортади

Термолегирлаш – коррозияга қарши химоялашнинг энг кўп тарқалган усулларида бири ҳисобланади. Сирти легирланган буюмлар тўлалигича юқори маркали пўлатлардан тайёрланганига қараганда анча арзон тушади. Улар ўзида юқори иссиқбардошлик ва оловбардошликларни мужассамлаштирган бўлади. Чунки юқори легирланган оловбардош қотишмаларнинг кўпчилиги етарлича иссиқбардошликка эга эмас. Шунингдек сирт химоя қатлами буюмларнинг механик хоссаларини яхши сақлайди, легирланган қотишмаларда бу хоссалар кўпинча тез ёмонлашади.

**9.3.2. Иссиқлик усули ёки эритилган металлга ботириш усули.**

Бу усул пўлат листлар, симлар ва тайёр буюмлар сиртига металл қоплашнинг энг қадимги ва жуда оддий усулларида ҳисобланади. “Қайноқ” қоплама қоплаш учун мўлжалланиб эритилган металлга химояланадиган металлни ботириш орқали ҳосил қилинади. Одатда қоплаш учун эриш температураси унча юқори бўлмаган рух ( $t_{эп} = 419^\circ\text{C}$ ), қалай ( $t_{эп} = 232^\circ\text{C}$ ), кўрғошин ( $t_{эп} = 327^\circ\text{C}$ ), алюминий ( $t_{эп} = 658^\circ\text{C}$ ) каби металллар ишлатилади.

Қоплашдан олдин металлнинг сиртига 52–56% аммоний хлориди, 5–6% глицерин ва қолган қисми қопланадиган металл хлоридидан иборат эритма (флюс) билан ишлов берилади. Флюс металл сиртини оксидланишдан сақлаш

билан бир қаторда унинг сиртидаги оксид плёнкалари, тузли бирикма ва бошқа ифлосликлардан тозалаш вазифасини бажаради. Бу усулнинг камчиликларига – қопланадиган металл сарфининг нисбатан кўплиги, қоплама қалинлигининг ҳамма жойда бир хил эмаслиги, эриган массанинг резба, тирқиш, ёриқларнинг охиригача тўлиқ етиб бормаслиги кабилар киради.

Қайноқ оқартириш озиқ-овқат саноатида кўп қўлланилади. Қайноқ рухлаш тайёр маҳсулотларни атмосфера ва сувли муҳит коррозиясидан ҳимоялашда ишлатилади.

Кимёвий машинасозликда темирга ёки пўлатга алюминий қоплашдан фойдаланилади. Алюминийли қопламалар эритилган алюминийни ванналарда 780–800°С гача қиздирилгач, унга деталларни 40–50 мин ботириб қўйиш орқали амалга оширилади.

Қайноқ кўрғошинлаш усули ҳам кенг тарқалган ҳисобланади. Кўрғошин қопламалари аралаштиргичларни, кранларни, турли арматураларни коррозиядан ҳимоялашда кенг қўлланилади. Темир бир неча миллиметрга қопланганда биржинсли, ғовакларсиз кўрғошин қатлами ҳосил бўлади.

Жуда агрессив муҳитларда ишлатиладиган ўта масъулиятли жиҳозлар учун гомоген кўрғошинлаш амалга оширилади. Бу жараёнда эриган томчи кўринишидаги кўрғошин дастлаб оқартирилган ҳимояланувчи конструкция сиртига пуркалади. Детални ҳўллаб, сирт бўйлаб ёйилган томчилар гомоген кўрғошин қопламасини ҳосил қилади. Масалан, гомоген кўрғошин билан қопланган сиғимлар агрессив муҳитлар учун чидамли бўлиб, бромни сақлаш ва ташишда ишлатилади .

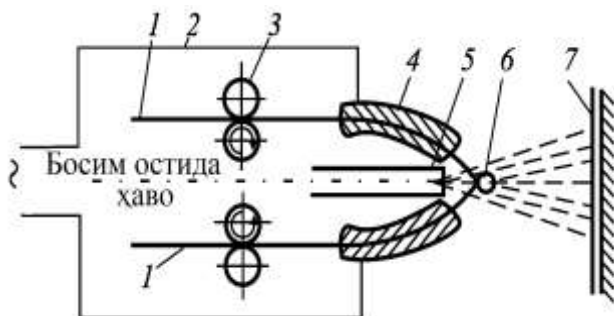
### **9.3.3. Пуркаш орқали металл ётқишиш**

Сиқилган ҳаво ёки инерт газ оқими ёрдамида ҳимояланадиган буюм сиртига эритилган металлни ётқишиш (металлизация) ушбу методнинг моҳиятини тақил қилади. Эриган металл заррачалари катта тезликда ҳаракатланиб, ҳимоялана-диган асосий металл сиртига урилгач, унга ёпишиб ҳимоя металл қопламаси-ни ҳосил қилади. Пуркагичга металл ингичка сим кўринишда киритилади. Бунда у махсус механизм воситасида 2,5 м/мин тезлик билан узатилади. Шундан сўнг ингичка сим газ алангаси ёки икки электрод орасида ҳосил қилинадиган электр ёйи ёрдамида эритилади.

Бу усулда ҳосил қилинган қопламалар муҳитнинг коррозион таъсиридан ҳимоялаш, ишқаланиб ёйилган сиртларни қайта тиклаш, буюмларда иссиқ-бардошликни таъминлаш каби вазифаларни бажаради. Металлизациялаш орқали мураккаб тузилишга эга бўлган, йиғилган конструкцияларни ҳам қоплаш мумкин.

9.6-расмда симли электрометаллизатор қурилмасининг схемаси келтирилган. Ток ўтаётган симларнинг учлари пойнак (наконечник) (4) дан чиққач уларнинг учрашиш фазосида электр ёйи ҳосил бўлади ва унинг

таъсирида симларнинг учлари эриб, суяқ фазага ўтади. Катта тезликдаги сиқилган ҳаво оқими (5) соплодан чиқаётганда эриган металл заррачаларини ўзи билан олиб кетиб металл сиртига пуркайди.



**9.6-расм.**  
**Электрометаллизатор**  
**қурилмасининг схемаси.**  
 1—ингичка сим; 2—аппарат  
 корпуси; 3—сим тортиш  
 механизми; 4—пойнак; 5—ҳаво  
 соплоси; 6—электр ёйи; 7—металл  
 қопланадиган детал.

Иккита сим ўрнига учта сим олиб, уларни уч фазали ток манбаидан таъминлаш ҳам мумкин. Бунда симларнинг учида ҳосил бўладиган электр ёйлариининг сони ҳам ортади. Бу хилдаги металлизатор одатда псевдокотишмалар (темирнинг мис, рух, алюминий ва бошқа металллар билан сунъий қотишмалари) олиш учун ишлатилади. Олинган псевдокотишмалар жуда юқори антифрикцион хоссаларга эга бўлади.

Газ билан металлизациялашда металл янада кичикроқ ўлчамлар билан ва текис пуркалади.

Электр металлизациялашда симлар учларининг бир текис эримаслиги сабабли пуркалаётган массада турли ўлчамли— 10 мкм дан 100 мкм гача бўлган заррачалар учрайди. Заррачаларнинг ўлчамлари ўйича бундай биржинсли бўлмаслиги ҳосил қилинган металл қопламаси физик-механик хоссаларининг ёмонлашувига сабаб бўлади.

Ҳар иккала усулда борадиган жараёнда ҳам асосий металл жуда кам қизийди, шу сабабли унда структуравий ўзгаришлар деярли кузатилмайди, асоснинг физик-механик хоссалари яхши сақланади.

Бироқ бу усулларнинг ҳам қуйидаги камчиликлари мавжуд:

- олинган қоплама тангачали структурага эга;
- қопламанинг ғоваклиги юқори;
- пуркаш пайтида металл заррачалари чанг кўринишида тарқалиши сабабли металл сарфи катта бўлади;
- қатламнинг қалинлиги нотекис, металлга адгезияси паст;
- олинадиган қатламнинг қалинлиги 0,5-0,7 мкм дан ошмайди.

Қопламалар буюмларни коррозия муҳит таъсиридан химоялаш, ишқаланиб ейиладиган сиртларини тиклаш, буюмларнинг оловбардошлигини ошириш мақсадларида ётқизилади. Саноатда металлизациялаш орқали мураккаб шаклдаги деталарни, йиғилган ва катта габаритли конструкцияларни, газголдер, резервуар каби жиҳозларни керакли қалинликда қоплаш мумкин. Шу йўл билан олинган алюминийли қопламалар олтингугуртли нефтларни қайта ишлаш заводларининг қурилмалари ва

жиҳозларини, вулканизация қозонларини ва шунга ўхшаш аппаратларни коррозиядан ҳимоялашда қўлланилади.

### **9.3.4. Термомеханикавий плакирлаш методи.**

Плакирлаш – кам бардошли металлларни юқори коррозиябардош қотишмалар ёки металллар билан ҳимоялашнинг янада такомиллашган усулларида ҳисобланади. Бунда асосий металлнинг икки томонига бошқа чидамли металл листлари қопланган ҳолда, бутун ҳосил бўлган пакет юқори ҳароратда прокатланади. Металлларнинг бўлиниш чегарасидаги термодиффузия ҳодисаси туфайли мустаҳкам кўпқаватли яхлит буюм ҳосил бўлади.

Плакирлаш учун яхши пайвандланадиган металллар ёки қотишмалар: углеродли ва кислотабардош пўлатлар, дюралюминлар, мис қотишмалари қўлланилади. Бу жараён учун ҳимоя қопламаси сифатида алюминий, тантал, молибден, титан, никел, зангламайдиган пўлатлар ишлатилади.

Плакирловчи қатламнинг қалинлиги ҳимояланувчи металл қалинлигининг 3% дан 40% гача бўлиши мумкин. Плакирланган пўлатга барча турдаги механик ишловларни бериш мумкин, жумладан штамповкалаш ва пайвандлашни ҳам.

Металлсозлик саноати томонидан хромли, хром-никелли ва бошқа юқори легирланган (08X17T, 08X13, 10X17H13M2T, 15X25T, 12X18H10T ва б.) углеродланган Ст.3 10, 15К, 20К ва бошқа маркали турли қалинликдаги пўлат листлари ишлаб чиқарилади. Шунингдек мис, кумуш, алюминий билан плакирланган қотишмалар ҳам мавжуд. Электрохимёвий саноатда асоси титан ёки тантал, ҳимоя қопламаси эса платина, родий, иридийдан иборат бианодлар кенг қўлланилади.

Плакирлаш методи қимматбаҳо ва ноёб металлларни, юқори легирланган қотишмаларни тежаш имконини бериши сабабли саноатда кенг қўлланилади.

## **9.4. Лок-бўёқ ҳимоя қопламалари**

Лок-бўёқ қопламалари – коррозиядан ҳимоялашнинг энг кўп тарқалган ва ишончли усулларида ҳисобланади. Улар арзон ва қулай, сиртга суришнинг оддий технологиясига эга, шикастланганда осон тиклаш мумкин, жуда кўп турлари мавжуд. Ҳар йили халқ хўжалигида фойдаланиладиган металл буюмларнинг 80% лок-бўёқ қопламалари билан бўялади. Йилига тахминан 27 млн тонна лок-бўёқ материалларининг ишлаб чиқарилиши коррозиядан ҳимоялашнинг бу турини ишлаб чиқаришга нақадар улкан масштабда маблағлар ажратиётганлигини кўрсатади.

Лок-бўёқ қопламаларини қўллашнинг самарадорлиги хизмат муддати 10 йилдан ошмаган ва металл коррозиясининг тезлиги 0,005 мм/йил гача бўлган шарт билан белгиланади. Хизмат муддатини ошириш талаб этилганда ёки

металлнинг коррозия тезлиги 0,5 – 1,0 мм/йил бўлганда комбинацияланган қопламаларни қўллаш мақсадга мувофиқдир. Масалан, рухли плус лок-бўёқ қопламаларининг комбинацияси ишлаш муддатини 30 йилгача узайтиради.

Лок-бўёқ қопламалари эксплуатация шароитлари ва ташқи кўриниши бўйича ГОСТ 9894-61 га асосан синфланади. Уларнинг ҳимоя таъсири металл буюм сиртида яхлит плёнка ҳосил қилиб, ташқи муҳитнинг агрессив таъсирдан ҳимоялаш ва металлни емирилишдан сақлашга асосланган.

Лок-бўёқ қопламаларининг асосий компонентлари – *плёнка ҳосил қилувчи моддалар, эритувчилар, пластификаторлар, пигментлар, тўлдирув-чилар, катализаторлар (сиккативлар – бўёқларни тез қуритадиган моддалар)*.

*Локлар* – буғланадиган мойларнинг коллоид эритмалари ёки органик эритувчилардаги смолалардир. Ҳимояловчи қаттиқ қоплама эритувчиларнинг буғланиб кетишидан, шунингдек мой ёки смолаларнинг қиздирилиши туфайли ёки катализатор таъсирида полимерланиши натижасида ҳосил бўлади.

*Бўёқлар* – плёнка ҳосил қилувчидаги минерал пигментларнинг суспензиясидир.

*Эмаллар* – майдаланган пигментлар киритилган лок эритмаларидир.

*Плёнка ҳосил қилувчилар* – табиий ёғлар, табиий ёки сунъий смолалардир.

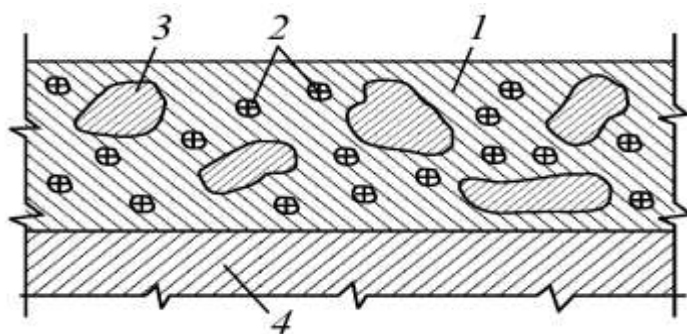
Ёғлар таркибига кўра мураккаб эфирлардир, яъни кислота ва спиртлар ўзари таъсирлашувининг маҳсулидир. Ёғлар синфланишининг асосида уларнинг қуришга бўлган қобилияти ётади.

Энг кўп тарқалган мойли плёнка ҳосил қилувчи модда – *алифдир*. *Натурал алиф* – қисман полимерлаш мақсадида 300°C ҳароратда ишлов берилган қурувчан ўсимлик мойидан олинади. Алиф ҳавода оксидланади ва қаттиқ ҳолатгача полимерланади.

*Плёнка ҳосил қилувчи моддаларнинг эритувчилари* лок-бўёқ қопламаси материалга осонгина суркаладиган ҳолатгача қовушқоқлик ҳосил қилади. Сиртга суркалгач, эритувчилар буғланиб кетади. Эритувчилар жуда хилма-хилдир: спиртлар, ацетон, бензин, скипидар, толуол, ксилол, этил ацетат ва б.

*Пластификаторлар ёки юмшаткичлар* – плёнка қуригандан сўнг унинг эластиклигини оширувчи моддалардир. Уларга кастор мойи, каучуклар, дибутилфталат, трикрезилфосфат, адипин кислотаси эфирлари ва б. киради. Аралашмага киритиладиган пластификаторларнинг миқдори плёнка ҳосил қилувчи модда массасининг 20–75% ни ташкил қилади. Лок-бўёқ қопламаларига ранг бериш мақсадида уларга *пигментлар* – охра, кўрғошин суриги, хром-кўрғошин кукуни, рух белиласи ва бошқа металлларнинг кукунлари қўшилади. Заррачаларнинг ўлчамлари 0,5 дан 5 мкм гача бўлади. Бу пигментлар ранг бериши билан бир қаторда қаттиқликни, атмосфера ва кимёвий чидамликни, ейилишга бардошлиликни ҳам оширади.

Тўлдирувчилар – лок-бўёқлар таркибига пигментлар сарфини камайтириш ва плёнканинг антикоррозион хусусиятларини яхшилаш учун қўшиладиган моддалардир. Уларга бўр, тальк, каолин, асбест кукуни ва б. киради. Тўлдирувчилар бутун плёнканинг мустаҳкам асосини ташкил қилади. Тўлдирувчининг заррачалари плёнкадаги пигмент заррачалари орасида тақсимланиб тарқалган ҳолда, улар орасидаги бўшлиқларни тўлдиради. Натижада плёнка юқори намга чидамлилиқ ва антикоррозион хусусиятларга эга бўлади. Лок-бўёқ плёнкаси тузилишининг схемаси 9.7-расмда келтирилган.



**9.7-расм.** Лок-бўёқ плёнкаси тузилишининг схемаси. 1-плёнка ҳосил қилувчи модда; 2-тўлдирувчи; 3-пигмент; 4-металл.

Сиккативлар ёки катализаторлар – ёғли органик кислоталарнинг магнийли ва кобальтли тузларидан иборатдир. Мойли плёнка қуришини тезлаштириш мақсадида улар композиция таркибига киритилади.

Лок-бўёқ материалларининг коррозияга қарши юқори ҳимояси қопламаларни ҳосил қилиш технологиясига қанчалик амал қилишга жуда боғлиқдир. Қопламаларнинг хизмат қилиш муддатига қуйидаги омиллар таъсир қилади:

- сиртни қоплашга тайёрлаш даражаси;
- лок-бўёқ қопламасини суркаш ва қуриштириш методлари;
- қопланган композициянинг қалинлиги;

Қопламаларни ётқизиш усуллари ҳам уларнинг хизмат қилиш муддатига сезиларли таъсир қилади. Масалан алкидли эмал (сарик) қопламасининг хизмат қилиш муддати ётқизиш усулларига қуйидагича боғланган: электропол – 12 йил; пневмочанглатиш – 11 йил; ҳавосиз чанглатиш – 10 йил; тиззилатиб қоплаш – 9 йил; ботириш усулида 8 йил. Хизмат қилиш муддатидаги фарқларни шаклландирган қопламалар структурасининг турлича эканлиги билан изоҳланади. Янада кичик ва зич упаковкали структуралар электростатик пуркаш усули орқали қопланганда ҳосил бўлади.

Лок-бўёқ қопламасининг тури унинг ишлатилиш шароитидан келиб чиққан ҳолда танланади. Кислоталар, ишқорлар ва агрессив газ муҳитлари таъсиридан қурилма ва жиҳозларни ҳимоялаш учун фенолоформалдегид, полихлорвинил, эпоксид ва фторорганик полимерлар асосидаги лок-бўёқ қопламалари ётқизилади.



Эпоксид бирикмалари асосидаги лок-бўёқ қопламалари NaOH (25% гача) эритмасида 125°C гача қиздирилганда, хлорид (25 % гача), сульфат (70 % гача), фосфор и азот кислоталари эритмаларида бардошли ҳисобланади. Улар эластик, таркибида Cl<sub>2</sub>, HCl, хлороформ бўлган муҳитларда ва атмосферада чидамли, нам ўтказмайди. Юқори электро-изоляция ва механик хоссаларга эга.

Полихлорвинил асосидаги лок ва бўёқлар азот, хлорид, сульфат, уксус ва бошқа кислоталарга ҳамда ишқор ва ёғларга чидамлидир. Улар таркибида SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, HCl бўлган атмосфераларда бардошли ҳисобланади. Улар гальваник ванналар, кимёвий ва сувли тозалаш аппаратларини ҳимоялашда қўлланилади.

Полиуретанли лок ва бўёқлар магний ва алюминий қотишмаларидан тайёрланган буюмларни ҳимоялашда ишлатилади. Улар нефт маҳсулотлари атмосферасида бардошли ҳисобланади.

Иссиқбардош қопламалар кремнийорганик бирикмалар асосида олинади. Улар 300°C ҳароратда узоқ вақт, 500–800°C ҳароратда қисқа вақт ишлаши мумкин. Бундай бўёқлар ва эмаллар вентилизация ва қуриштириш қурилмалари-ни, иссиқлик алмаштиригичларни ва б. бўёқ учун ишлатилади.

Экология бўйича қўйиладиган талаблар лок-бўёқ материалларининг прогрессив ассортиментини ишлаб чиқишда етарлича жиддий қийинчиликларни туғдирмоқда. Чет эл фирмаларининг маълумотларига кўра эритувчиларнинг бўйиладиган юзалар қуришидан ажралиб чиқадиган газларнинг миқдори 100– 85 г/м<sup>2</sup> ни ташкил қилади. 1991 йилда Европа автомобилсозлигида бу кўрсаткич 90 г/м<sup>2</sup> ни ташкил қилган бўлса, 1993 йилга келиб у 50 г/м<sup>2</sup> га тушган. Ҳозирги замон экологик талабларга жавоб берувчи юқори қуруқ қолдиқли (ҚҚМ), сувда эрийдиган ва қуқунли каби янги прогрессив лок-бўёқ материалларини ишлаб чиқариш технологиялари йўлга қўйилмоқда. 9.4-жадвалда жаҳоннинг уч асосий регионида экологик қулай лок-бўёқ қопламаларидан фойдаланишга ўтишнинг умумий тенденцияси келтирилган.

9.4-жадвал

Лок-бўёқ қопламалари асосий кўринишларининг тақсимланиши

№	Лок-бўёқ материалларининг тури	АҚШ	Европа	Япония
		Умумий ишлаб чиқариш ҳажми, млн. т		
		6,4	7,9	2,0
Умумий ҳажмдаги ҳиссаси, %				
1.	Юқори қуруқ қолдиқли	2,7	15,0	1,4
2.	Сувда эрийдиган	11	11	11
3.	Қуқунли	5,2	12,3	3,6
4.	Органик-қўшиладиган	55	55	80

Юқори қуруқ қолдиқли материаллар (ҚҚМ) органик эритувчилар истеъмоллини 30% гача қисқартириш, лок-бўёқ материаллари сарфини ўртача 20–30 % га камайтириш, шунингдек қопламаларнинг хизмат қилиш муддатини

1,5–2 марта узайтириш имконини беради. Мамлакатимизда бу материаллар саноат миқёсида қўлланиш босқичида бўлиб, яқин келажакда улар ишлаб чиқариш босқичига ўтади.

Сувда эритилган лок-бўёқ материаллари замонавий экологик талабларга жавоб берадиган материаллар ассортиментидан етакчи ўринлардан бирини эгаллайди. Бу турдаги материаллар асосан жиҳозларни электр ўтқазуш усули билан бўяшга мўлжалланган. Яъни сувда эрувчан бўёқ – электролит билан тўлдирилган ваннага катод (ёки анод) вазифасини бажарувчи бўяладиган жиҳозларни тушириш орқали амалга оширилади. Бундай мақсад учун плёнка ҳосил қилувчилар – электролитлар асосидаги сувда эрувчи лок-бўёқ материаллардан фойдаланилади. Бундай материаллар-га В-КЧ-0207, В-КФ-093, ВЭП-0190 бўёқлар, В-ФЛ-11990, МС-278, В-ЭП-2100 эмаллар мисол бўла олади.

Кукунли бўёқлар – замонавий лок-бўёқ материалларининг янги тури ҳисобланади. Уларнинг қўлланилиши атроф муҳитни ифлослантириш хавфини деярли йўқ қилади, иш пайтидаги ёнғин ва портлаш хавфини кескин камайтиради. Ҳозирги пайтда бундай қопламалар ишлаб чиқаришни такомиллаштириш ва арзонлаштиришга йўналтирилган ишлар олиб борилмоқда.

Қопламалар ҳимоя хусусиятларини яхшилашнинг истиқболли йўллари-дан бири серияли лок-бўёқ материалларининг *йўналтирилган модификацияси* ҳисобланади. Модификаторлар сифатида саноат миқёсида чиқариладиган турли хилдаги сирт-фаол моддалардан фойдаланилади. Бундай қопламалар-нинг ҳимоявий хоссалари сиртда металлни пассивлаштирувчи комплекслар-нинг ҳосил бўлиши билан изоҳланади.

Лок-бўёқ композицияларига коррозияга қарши ингибиторларни қўшиш орқали ҳам анодли коррозия жараёнлари кечишини секинлаштириш мумкин. Уларга хроматлар, металл фосфатлари, азотсақловчи ва силаксан бирикмалари киради. Бундай бирикмаларнинг таъсир эффекти ингибиторларнинг ташқи муҳит таркибидаги диффузияланувчи сувда эришига ва кейинчалик ингибитор ионлари ва молекулаларининг актив металл марказларида адсорбцияланишига асосланган.

## **IX бобга тегишли услубий тавсиялар**

IX бобда келтирилган маълумотларни *ўрганиш натижасида талаба қўйидагиларни билиши шарт:*

- фосфатли ва оксидли ҳимоя қопламалари;
- галваник қопламалар;
- иссиқбардош ҳимоя қопламалари;
- лок-бўёқли ҳимоя қопламалари;

IX бобда келтирилган маълумотларни *ўзлаштириш натижасида талаба:*

- кимёвий аппаратлар ёки қурилмаларнинг қоррозиядан ҳимоясини ташкил қилиш учун фосфатли ва оксидли ҳимоя қопламаларини танлай билиши;
- галваник қопламалар турларини материаллар ва қотишмаларнинг хоссаларига мос ҳолда танлай олиши;
- иссиқбардош ва оловбардош ҳимоя қопламалари ҳосил қилишни тегишли жойларда қўллаш олиши керак;
- Металл ва нометалл материалларнинг тури, хоссалари ва адгезиясига мос ҳолда лок-бўёқли ҳимоя қопламаларини танлай билиши лозим.

### **Назорат саволлари**

1. Қандай юпқа сирт қатламларини биласиз?
2. Фосфатли ва оксидли плёнкаларнинг хоссаларини айтиб беринг.
3. Адгезия ҳодисасини тушуниб беринг.
4. У ёки бу турдаги қопламани қўллаш нимага саосланиб танланади?
5. Фосфатлаш асосан қайси металллар учун қўлланилади?
6. Алюминий сиртида оксид плёнкаларининг ҳосил бўлиш жараёни қандай амалга ошади?
7. Галваник сирт қопламалари бошқа турдаги қопламаларга нисбатан қандай афзалликларга эга?
8. Анодли ва катодли антикоррозион ҳимоя қопламаларни тушинтиринг.
9. Пўлат буюмларни атмосфера шароитида ҳимоялаши учун бир қаватли хромли қопламаларнинг қалинлиги камида қандай бўлиши лозим?
10. Қайноқ қоплама усулининг моҳияти нимадан иборат?
11. Лок-бўёқ қопламалари қандай компонентлардан ташкил топган?

### **Мустақил таълим мавзулари.**

1. Фосфатлаш, жараённинг бориши ва технологияси.
2. Оксидлаш жараёнини тавсифлаб беринг.
3. Металларнинг пассивланиш ҳолати, унинг қоррозия жараёнига таъсири.
4. Анодлаш жараёни, унинг моҳияти.
5. Галваник сирт қопламаларини ҳосил қилиш механизми, усуллари.
6. Галваник қопламаларнинг асосий хусусиятлари ва уларни ҳосил қилиш усуллари
7. Рухлаш ва кадмийлаш жараёнлари.
8. Қалай ва қўрғошин қопламалари уларни ҳосил қилиш механизми.
9. Қоплашнинг термодиффузион усули.
10. Термоалюминийлаш жараёни, унинг афзалликлари.
11. Металлизациялаш жараёни унинг механизми.
12. Плакирлаш жараёни.
13. Лок-бўёқ қопламалари билан қоплашнинг эксплуатация қилиш шароитларига боғлиқлиги.
14. Пластификаторлар ва тўлдирувчилар, уларнинг хоссалари .

## Металларни коррозиядан химоя қилишнинг электрохимёвий усуллари.

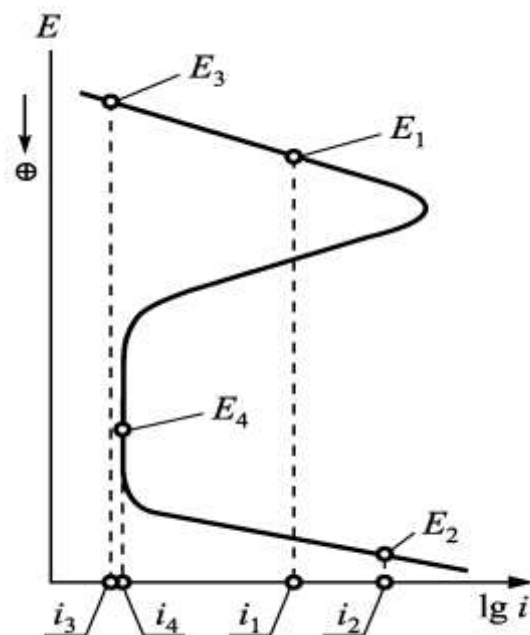
### 10.1. Электрохимёвий химоя механизми.

Электрохимёвий химоя – потенциалнинг қийматини энг кичик эриш тезлигига мос келадиган қийматигача силжитиш орқали коррозия тезлигини пасайтиришга асосланган металл материалларни коррозиядан химоя қилиш усули ҳисобланади. Ўзгармас ток манбаидан ёки коррозияланаётган системага нисбатан анод ҳисобланган қўшимча электрод билан контакт орқали электроднинг кутбланишида металл электрохимёвий коррозиясининг тезлигини камайтириш ушбу усулнинг моҳиятини ташкил қилади.

10.1-расмда металлни турли усуллар билан электрохимёвий химоялашда металл эриш тезлигининг камайишини тушунтирадиган схема келтирилган. Металл потенциалини силжитиш йўналишига боғлиқ ҳолда электрохимёвий химоя **катодли** ва **анодли** турларига бўлинади.

Электрохимёвий химоя шундай ҳолларда қўлланиладики, унда конструкцион материалнинг эркин коррозия потенциали  $E_{кор}$  актив эриш соҳасига ( $E_1$ ) ёки қайта пассивланиш соҳасига ( $E_2$ ) тўғри келса, яъни материал катта тезлик билан эриётган бўлса.

**Катодли химояда** металл эриш тезлигини камайтириш – потенциални  $E_{кор}$  дан манфийроқ соҳага силжитиш натижасида амалга оширилади.



10.1-расм.  
Электрохимёвий  
химояда металл эриш  
тезлигини пасайтириш  
усуллари.

Масалан, агар металл эркин коррозиясининг потенциали  $E_1$  актив эриш соҳасида жойлашган бўлса (эриш тезлиги  $i_1$ ), у ҳолда потенциални манфий

томонга  $E_3$  қийматгача суриш эриш тезлигининг  $i_1$  дан пастроқда жойлашган  $i_3$  қийматгача камайишига олиб келади. Эркин коррозия потенциали  $E_2$  нинг қиймати қайта пассивланиш соҳасига тўғри келган ҳолатда ҳам металл эриш тезлигининг пасайиши ҳам хидди шундай юз беради. Потенциални манфий томонга  $E_4$  қийматгача суришда эриш тезлиги  $i_4$  гача камаяди. Фарқи шундаки, биринчи ҳолда эриш тезлигининг пасайишига эриш характерини ўзгартирмасдан эришилади, яъни металл актив ҳолатдалигича қолади. Иккинчи ҳолда эса эриш тезлиги металлнинг актив ҳолатдан пассив ҳолатга ўтиши оқибатида пасаяди.

**Анодли химояда** химояланадиган конструкция потенциали  $E_{кор}$  дан мусбатроқ томонга силжитилади. Бунда металлнинг актив ҳолатдан пассив ҳолатга ўтиши амалга ошади. Агар металл эркин коррозиясининг потенциали  $E_1$  актив соҳада жойлашган бўлиб, унга мос келадиган эриш тезлиги  $i_1$  га тенг бўлса, у ҳолда уни  $E_4$  қийматгача мусбат томонга силжитилганда эриш тезлиги  $i_4$  қийматгача камаяди.

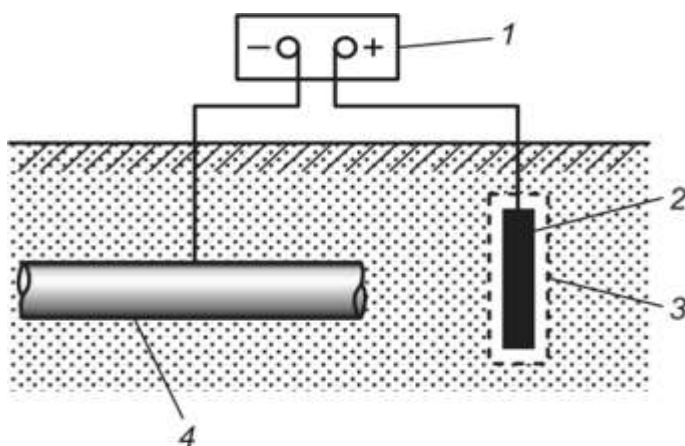
### 10.1.1. Катодли химоя.

**Катодли химоя** металл пассивланишга мойил бўлмаган, яъни кенг актив эриш соҳасига, тор пассив соҳага, юқори критик токининг ( $i_{кр}$ ) ва потенциалининг қиймати ( $E_{кр}$ ) эга бўлган ҳолларда қўлланилади. Катодли химояни турли усуллар орқали амалга ошириш мумкин:

- катод реакцияси тезлигини камайтириш (масалан, коррозия жараёнлари кечадиган эритмаларни деаэрациялаш);
- ташқи ток манбаи ёрдамида кутблаш;
- қаралаётган шароитда янада манфийроқ эркин коррозия потенциалига эга бўлган бошқа материал билан контактлаш (протекторли химоя);

Ташқи ток манбаи ёрдамида кутблаш орқали амалга ошириладиган катодли химоя углеродли, паст ва юқори легирланган ҳамда юқори хромланган пўлатлардан, қалайдан, рухдан, мис ва мис-никел қотишмаларидан, алюминий ва унинг қотишмаларидан, қўрғошиндан, титан ва унинг қотишмаларидан тайёрланган жихоз ва қурилмаларни коррозиядан химоялаш учун қўлланилади.

Катод химоясининг қурилмасининг асосий қисмлари доимий ток манбаи асосидаги катод химояси станцияси, анодли ерга ўтказгич (заземление) ва уловчи ўтказгичлардан иборат (10.2-расм). Бунда химояланадиган объектга (магистрал қувур ўтказгичлар) ток манбаининг манфий кутиби, анодли ерга ўтказгичга эса унинг мусбат кутиби уланади. Анодли ерга ўтказгичлар сифатида қора металллардан тайёрланган стерженлар ёки зангламайдиган пўлат, графит, кремнийли темир қотишмаларидан тайёрланган махсус анодлар қўлланилади.



**10.2-расм. Катод химояси қурилмасининг схемаси.**  
 1-ўзгармас ток манбаи; 2-анод; 3-қалин кокс (ёки кўмир кукуни) қатлами; 4-химоя қилинадиган қувур ўтказгич.

Бундай қурилмаларга ер ости иншоотлари (турли мақсадлар учун ишлатиладиган қувур ўтказгичлар ва кабеллар, фундаментлар, бурғилаш ускуналари), денгиз сувида ишлатиладиган иншоотлар (судноларнинг корпуслари, кирғоқ иншоотларининг металл қисмлари, денгиздаги бурғиловчи платформалар), кимё саноати жихозлари ва резервуарларининг ички сиртлари киради. Кўп ҳолларда катодли химоя қопламали химоя билан биргаликда қўлланилади. *Ташқи қутбланиш туфайли ўз-ўзидан металл эриш тезлигининг камайиши химоя эффекти дейилади.*

Катодли химоянинг асосий омили – химоя потенциали ҳисобланади. *Химоя потенциали деб, қаралаётган эксплуатация шароитида металлнинг эриш тезлиги рухсат этиладиган энг паст қийматга эришадиган потенциалга айтилади.*

*Химоя эффекти катталиги  $Z$  (%) – катодли химоянинг асосий характеристикаси бўлиб ҳисобланади:*

$$Z = (K_0 - K_1) / K_0 \cdot 100 \%, \quad (17.1)$$

бунда  $K_0$  [г/(м<sup>2</sup>·соат)] – химоясиз ҳолдаги металл коррозиясининг тезлиги,  $K_1$  [г/(м<sup>2</sup>·соат)] – электрохимий химояланган металл коррозиясининг тезлиги. Химоянинг таъсир коэффициенти  $K_3$  [г/А] куйидаги ифода билан аниқланади:

$$K_3 = (\Delta m_0 - \Delta m_1) / i_k, \quad (17.2)$$

бу ерда  $\Delta m_0$  ва  $\Delta m_1$  – химоясиз ва катодли химоя қўлланилгандан кейинги ҳолатларда металл массасининг йўқотилиши (г/м<sup>2</sup>),  $i_k$  [А/м<sup>2</sup>] – катод токининг зичлиги.

Катодли химояни амалга ошириш учун ташқи ток манбаининг манфий қутиби химояланадиган металл конструкциясига, мусбат қутиби эса – анод сифатида фойдаланиладиган ёрдамчи электродга уланади. Химоя жараёнида анод емирилиши сабабли уни даврий равишда алмаштириб турилади.

Катодли химоя учун ташқи ток манбаи сифатида катодли химоя станциялари хизмат қилади. Уларнинг асосий таркибий қисмларига ток манбаи, ўзгартир-гич (тўғрилагич), химояланадиган конструкцияга ток

ётказувчи ўтказгичлар, таққослаш электроди, ерга ўтказувчи анодлар, анод кабеллари киради.

Катод ҳимояси станциялари ростланадиган ва ростланмайдиган кўринишларда бўлади. Ток занжирининг қаршилиги ўзгармайдиган ҳолларда ростланмайдиган катод ҳимояси станциялари қўлланилади. Бундай станциялар потенциални ёки токни доимий сақлаш режимида ишлайди ва улар резервуарлар, сақлагичлар, пўлат лентали юқори кучланиш кабеллари, қувур ўтказгичлар ва ш. к. ҳимоялашда қўлланилади.

Ростланадиган катод ҳимояси станциялари системада дайди тоқлар мавжуд (темир йўл яқин) бўлганда, ток оқишидаги қаршилик даврий ўзгарадиган ҳолда (тупроқ ҳароратининг ва намлигининг мавсумий ўзгариши), технологик ўзгаришларда (эритма сатҳи ва суюқлик оқимининг тезлиги) қўлланилади. Ҳимояланадиган объект узунлиги бўйлаб жойлашадиган катод ҳимояси станцияларининг сони эксплуатацион муҳитнинг электр ўтказувчанлиги билан аниқланади. Электр ўтказувчанлик қанча юқори бўлса, улар орасидаги масофа шунча катта бўлади.

Ер билан катод станциясининг мусбат кутбини туташтирувчи – ерга ўтказувчи анодлар пўлат, графит, ферросилицид, титан, платиналанган титандан ва б. материаллардан тайёрланади.

Анод-ер ўтказувчиларини жойлаштириш схемаси ҳимояланадиган конструкциянинг конфигурациясидан келиб чиққан ҳолда тузилади. Катодли ҳимоя станциясининг қуввати анод ер-ўтказувчилари сифатида ток оқаётган ўтказгичлар умумий қаршилигининг максимал қиймати орқали аниқланади. Кўрсатилган қаршиликни камайтириш мақсадида анод ер-ўтказувчилари қаршилиги энг кичик бўлган тупроқ участкаларида, ёки махсус кокс кўмилмаларида жойлаштирилади.

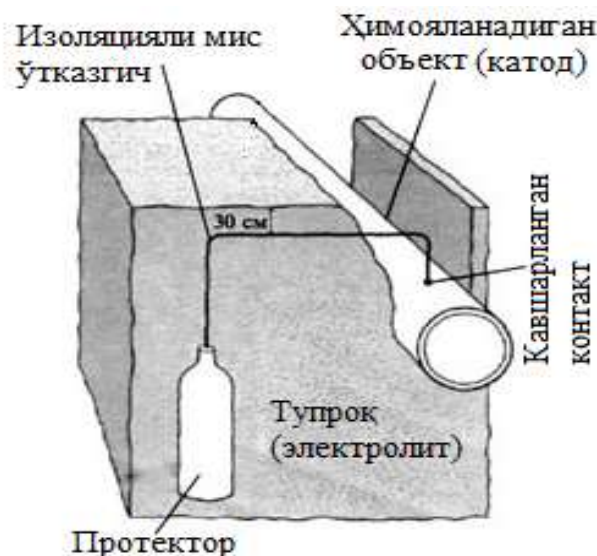
Кўмилма – гипс ва ош тузини 4:1 нисбатда кўшиб тайёрланган қалин кокс қатламидан иборат. Бундай кўмилма юқори электр ўтказувчанликка эга. Сув иншоотларини ҳимоялашда анод ер-ўтказувчилари дарё ёки денгиз тубига ўрнатилса, завод ускуналарини ҳимоялашда эса технологик муҳитларда чўктирилади. Ҳимоя токи асосан ҳимояланадиган металлнинг яланғоч сирти бўйлаб оқади.

Ташқи ток орқали катод ҳимояси сезиларли жароҳатланган конструкцияларни ҳимоялашда ҳам қўлланилади, бунда коррозиянинг қолган қисмларга тарқалишининг олди олинади.

Катодли ҳимоянинг камчилиги – ҳимояланадиган конструкция потенциални манфий томонга анча кучли суриш оқибатида водород ажралиш тезлигининг кескин ортиб кетишидир. Бунинг натижасида конструкция материалининг водородли мўртлашуви юзага келиб, материалнинг коррозия ёрилишига ёки ундаги ҳимоя қопламаларининг бузилишига олиб келиши мумкин.

### 10.1.2. Протекторли химоя

*Протекторли химоя* катодли химоянинг яна бир кўринишларидан бири бўлиб, химояланадиган конструкцияга янада электр-манфийроқ бўлган ва атроф муҳитда эриб, асосий конструкцияни емирилишдан сақлайдиган металл – протектор уланишига асосланган (10.3-расм). Протектор тўла эриб кетганда ёки химояланадиган конструкция билан контакт йўқолганда протектор алмаштирилади.



**10.3-расм.**  
**Протекторли**  
**химоялаш**  
**схемаси**

Протектор билан атроф муҳит орасидаги ўтиш қаршилиги унча катта бўлмаса у самарали ишлайди. Бироқ протекторнинг таъсир доираси маълум масофа орқали чеклангандир. *Химояланадиган конструкциядан мумкин бўлган максимал узоқлашиш масофаси протектор химоя тасирининг радиуси дейилади.*

Катодли химояни ташкил қилиш учун ташқаридан энергия олиб келиш кийинчилик туғдирадиган ва электр линияларини тортиб келиш иқтисодий зарар бўладиган ҳолларда протекторли химоя қўлланилади. Бундай химоя дарё ва денгиз сувларида, тупроқ ва бошқа нейтрал муҳитларда ишлатиладиган металл конструкцияларни коррозиядан химоялаш учун қўлланилади.

Кислотали эритмаларда металллар ўз-ўзидан эриш тезлигининг юқорилиги сабабли бундай муҳитларда протекторли химоя мақсадга мувофиқ эмас. Протекторлар сифатида Al, Fe, Mg, Zn каби металлари ишлатилади. Бироқ соф металлларни протектор сифатида ишлатиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас. Ундан ташқари, соф рух дендрит структурага эга бўлганлиги учун нотекис эрийди, тоза алюминий сирти зич оксид плёнкаси билан қопланган бўлади, магнийнинг ўзи кучли коррозияланувчи ҳисобланади. Протекторларга талаб этиладиган ксплуатацион хоссаларни бериш учун уларнинг таркибига легирловчи элементлар киритилади.



Рухли протекторлар таркибига кадмий (0,025–0,15%) ва алюминий (0,1–0,5%) элементлари киритилади. Шунингдек Fe, Cu, Pb каби элементлар ҳам 0,001–0,005 % дан кўп бўлмаган миқдорда қўшилиши мумкин.

Алюминийли протекторлар таркибига уларнинг сиртида оксид плёнкалар ҳосил бўлишининг олдини олиш мақсадида – Zn (8 % гача), Mg (5 % гача), шунингдек кристалл панжара параметрларини талаб этиладиган ҳолатгача ўзгартириш учун Cd, In, Gl, Hg, Tl, Mn, Si элементлари (0,01 – 0,1 % гача) қўшилади.

Магнийли протектор қотишмаларининг таркибига легирловчи қўшимчалар сифатида Al (5–7 %) ва Zn (2–5 %); шунингдек, Fe, Ni, Cu, Pb, Si каби элементлар фоизнинг юздан бир ёки кўпи билан ўндан бир улушигача миқдорида қўшилади.

Протектор материали сифатида темир соф ҳолда (Fe-армко) ёки углеродли пўлатлар кўринишида фойдаланилиши мумкин.

Рухли ва алюминийли протекторлар асосан денгиз сувида эксплуатация қилинадиган қурилмаларни (денгиз суднолари, сув ости қувур ўтказгичлари, қирғоқ иншоотлари ва б.) ҳимоялаш мақсадида ишлатилади. Рухли протекторларнинг сиртида ZnO рух оксиди ёки Zn(OH)<sub>2</sub> гидроксиди ҳосил бўлиши сабабли уларни кам тузли, чучук сувли ва тупроқ муҳитларида қўллаш чегаралангандир.

Алюминийли протекторлар ҳаракатланадиган денгиз сувида ишлатиладиган иншоотларни, бурғилаш платформаларини, шунингдек қирғоққа яқин жойлашган порт иншоотларива конструкцияларини коррозиядан ҳимоялаш учун қўлланилади.

Магнийли протекторлардан кўпинча рухли ва алюминийли протекторлар таъсири самарали бўлмайдиган, электр токини суст ўтказадиган – тупроқ, чучук ва унчалик шўр бўлмаган сувли муҳитларда ишлатиладиган, унча катта бўлмаган иншоотларни коррозиядан ҳимоялаш учун фойдаланилади. Бироқ, ўз-ўзидан эриш тезлигининг ва сиртида қийин эрийдиган бирикмалар ҳосил бўлиш эҳтимоллигининг юқорилиги туфайли магнийли протекторлардан фойдаланиш осҳаси рН = 9,5–10,5 бўлган муҳитлар билан чекланади.

Ёпиқ тизимларни масалан, резервуарларни магнийли протекторлар билан ҳимоялашда магнийли қотишма сиртида кечадиган катодли реакцияларда ажраладиган водород туфайли портловчи газ ҳосил бўлишини албатта инобатга олиш зарур. Шунингдек, улар ёрдамида ҳимояланадиган конструкцияларда водородли мўртлашув ва коррозия ёрилиш юзага келишининг эҳтимоллиги ҳам юқоридир.

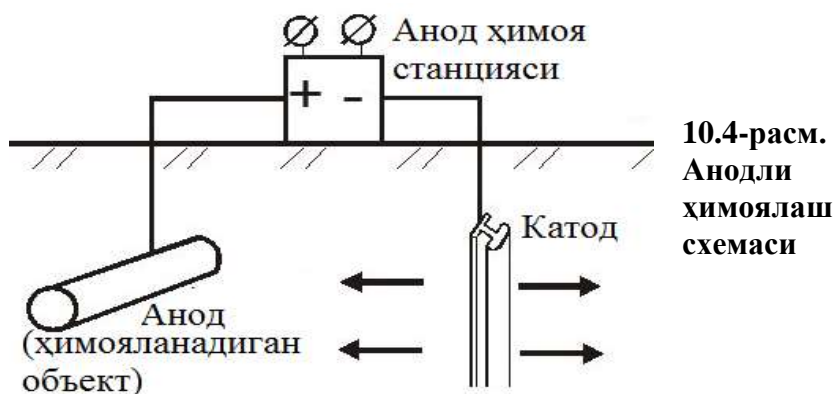
### **10.1.3. Анодли ҳимоя.**

*Анодли ҳимоя* осон пассивлашадиган материаллар – углеродли, паст легирланган зангламайдиган пўлатлар, титан, темир асосли юқори легирлан-

ган пўлатлардан тайёрланган қурилма ва жиҳозларни яхши электр ўтказувчи муҳитларда коррозиядан ҳимоялаш учун қўлланилади. Анодли ҳимоя турли хилдаги пассивлашадиган материаллардан, масалан турли хил таркибли зангламайдиган пўлатлардан, пайвандланган бирикмалардан тайёрланган қурилмаларни ҳимоялашда айниқса қўл келади.

Анодли ҳимоя – фаол эриётган металлнинг потенциални барқарор пассив ҳолат юзага келгунча мусбат томонга суришга асосланган (10.4-расм). Натижада нафақат металл коррозияланиш тезлигининг кескин (минглаб мартагача) камайишига, балки эриш маҳсулотларининг ишлаб чиқарилаётган маҳсулот таркибига тушишининг олдини олишга эришилади. Потенциални мусбат томонга суриш қуйидаги усулларда амалга оширилиши мумкин:

- конструкцияни ташқи ток манбаига улаш;
- эритмага оксидловчиларни киритиш;
- қотишмага металл сиртида кечаётган катод жараёнининг эффективлигини оширувчи элементларни киритиш.



Пассивлаштирувчи ингибитор-оксидловчилар орқали анодли ҳимояни амалга ошириш шунга асосланганки, уларнинг қайтарилиши жараёнида металлни пассив ҳолатга ўтказиш учун етарли бўлган ток вужудга келади. Ингибиторлар сифатида  $Fe^{3+}$  тузлари, нитратлар, бихроматлар ва бошқалардан фойдаланиш мумкин. Ингибиторларни қўллаш конструкцияларида ноқулай жойлар – тирқишлар, тешиқлар, тор тирқишлар (зазор) бўлган қурилмаларни ҳам коррозиядан ҳимоялашда қўл келади. Технологик муҳитнинг ифлосланиши ушбу ҳимоялаш усулининг камчилиги ҳисобланади.

Металлга оксидловчининг таъсири анод қутбланишининг таъсирига ўхшайди. Буни исботлаш учун иккита бир хил намуна билан турлича шароитларда ўтказилган Я.М. Колотыркин ва Н.Я. Бунэлларнинг тажриба ишлари бизга маълум. Бир намуна таркибида маълум миқдорда ( $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $K_2Cr_2O_7$  ёки  $KMnO_4$ ) оксидловчиси бўлган 1 н.  $H_2SO_4$  эритмасида сақланди. Иккинчи намуна эса оксидловчилари бўлмаган 1 н.  $H_2SO_4$  эритмасида потенциостатик усул билан қутблантирилди. Ҳар иккала тажрибанинг натижалари бир хил бўлиб чиқди. Демак, кимёвий ёки

электрохимий ишлов берилишидан қатъий назар металлнинг пассив ҳолати потенциалнинг қийматига боғлиқ бўлиб, унга қандай эришилганига боғлиқ эмас.

Катодли легирлаш усули орқали анодли ҳимоялашда қотишмаларга деполяризаторлар қайтарилишининг катод реакцияси асосий металлга нисбатан кичикроқ зўриқиш билан амалга ошадиган килиб қўшимчалар (кўп ҳолларда асл металллар) киритилади. Масалан, таркибида камроқ миқдорда палладий бўлган титан қотишмаларида титаннинг селектив эриши амалга ошиб, қотишманинг сирти узлуксиз равишда палладий билан бойиб боради. Натижада палладий протектор вазифасини бажариб, металлни пассивлаштиради. Бундай эффект хромли пўлат қотишмаларига ҳам қўшимча асл металллар киритилган ҳолларда ҳам кузатилади.

*Ташқи манба ёрдамида анодли ҳимояни* амалга ошириш ҳимояланадиган конструкция орқали ток ўтказиш орқали унинг коррозия потенциални мусбатроқ қиймат томонга силжитишга асосланган. Бунда анодли ҳимоя курилмаси – ҳимояланадиган конструкция, ўзгармас ток манбаи, катод ва қиёслаш электродидан иборат бўлади.

Анодли ҳимояни қўллаш мумкинлигининг асосий шarti – эриш токи зичлигининг  $(0,15-0,60) \text{ A/m}^2$  дан катта бўлмаган қийматларида етарлича чўзилган, металл пассивлашадиган барқарор соҳанинг бўлишидир.

Металл сиртининг ҳолатини характерловчи асосий критерия – электрод потенциали бўлиб ҳисобланади. Шунинг учун анодли ҳимояни аниқ бир металл учун қўллаш мумкинлиги анод кутбланиш эгриликларини чизиш усули орқали аниқланади. Бунинг учун эса қуйидаги маълумотларга эга бўлиш талаб этилади:

- ўрганилаётган эритмада металлнинг коррозияланиш потенциали;
- металл барқарор пассив соҳасининг кенглиги;
- барқарор пассив соҳага мос келадиган ток зичлиги.

Ҳимоянинг самарадорлиги – ҳимояланмаган ҳолдаги коррозия тезлигининг  $(\vartheta_0)$  ҳимоялангандан кейинги коррозия тезлигига  $(\vartheta_{\text{хим}})$  бўлган нисбати

орқали аниқланади: 
$$\eta = \frac{\vartheta_0}{\vartheta_{\text{хим}}}$$

Одатда анод ҳимояси учун лаборатория ва ишлаб чиқариш шароитларида олинган натижалар бир-бирига мос тушади. Конкрет эксплуатация шароитларида анод ҳимояси учун ҳимоя потенциалинанг соҳаси эркин коррозия потенциалдан 0,3–1,5 В га мусбатроқ томонга сижитилганда металлнинг эриш тезлиги минглаб мартагача камайиши мумкин. Бироқ, металлнинг пассив соҳасида коррозия локал кўринишларининг вужудга келиш эҳтимоллиги юқори бўлади. Бу эса анод ҳимосини қўллашга жиддий чеклашлар қўяди. Бунинг олдини олиш учун тадқиқотлар ўтказилиб, коррозиянинг локал кўринишлари вужудга келмайдиган ҳимоя

потенциалининг қиймати аниқланиб, сўнгра у қўллаш учун тавсия этилади ёки эритмага ингибирловчи қўшимчалар киритилади. Масалан  $\text{NO}_3^-$  ионлари мавжуд бўлган хлоридлар эритмасидаги 12X18H10T маркали пўлатни анодли химоялаш натижасида питтинглар ҳосил бўлишининг олди олиниб, пўлатнинг эриш тезлиги 2000 марта камаяди. Баъзи ҳолларда юқори хавфлиликка эга бўлган локал коррозия жараёнларининг вужудга келиши туфайли анод химоясини қўллаш самарали эмас. Агрессив муҳит температурасининг ортиши билан металлларни пассивлаштириш критик токининг кескин ортиши юқори ҳароратли шароитларда анод химоясини қўллашни чегаралайди.

Қурилма ишлашининг стационар режимида коррозия муҳит эксплуатацион параметрларининг (ҳарорат, кимёвий таркиб, аралашуш шароити, эритма ҳаракат тезлиги ва ҳ.к.) ўзгариши туфайли барқарор пассив ҳолатни сақлаб туриш учун талаб этиладиган кутбланиш токининг қиймати ҳам доимо ўзгариб туради. Металлоконструкция потенциалини керакли қийматларда сақлаб туриш учун доимий ёки даврий равишда кутблаш талаб этилади. Даврий равишда кутбланганда токни улаш ва ўчириш потенциалнинг қиймати маълум бир қийматга етганда ёки номинал қийматдан маълум бир миқдорда четлашганда амалга оширилади. Ҳар иккала ҳолда ҳам анод химоясининг параметрлари лаборатория шароитида тажриба йўли билан аниқланади.

Анод химояси жараёнида катод сифатида қийин эрийдиган материаллар, масалан Pt, Ta, Pb, Ni, платиналанган жез (латун), юқори легирланган зангламайдиган пўлатлар ва б. қўлланилади. Катодларнинг жойлашув схемаси ҳар бир конкрет ҳолат учун индивидуал тарзда лойиҳаланади.

Анод химоясини самарали қўллаш учун объект қуйидаги талабларга жавоб бериши лозим:

- жиҳоз материали технологик муҳитда пассивланадиган бўлиши керак;
- жиҳоз конструкцияси парчинланмаган, тирқишлар сони минимал ва пайванлар сифатли бўлиши лозим;
- химоялаш қурилмасининг катода билан қиёслаш электроди доимо эритмада бўлиши керак;

Кимё саноатида анод химояси учун цилиндрик шаклдаги аппаратлар ва иссиқлик алмаштиргичлар энг қулай ҳисобланади. Ҳозирги пайтда зангламайдиган пўлатларни анодли химоялаш – ўлчов асбоблари, йиғичлар, цистерналар, шунингдек сульфат кислота, минерал ўғитлар, аммиак эритмалари ишлаб чиқариш саноатидаги сақлагичларни ҳамда кимёвий никеллаш ванналарини химоялашда қўлланилади.

#### 10.1.4. Кислородли химоя.

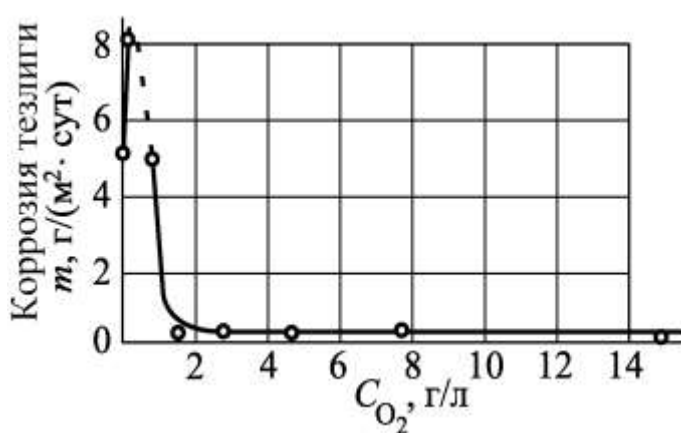
*Кислородли химоя* электрокимёвий химоянинг кўринишларидан бири бўлиб, химояланадиган металл конструкцисининг потенциалини мусбатроқ

томонга силжитиш коррозия муҳитни кислород билан тўйинтириш орқали амалга оширилади. Бунда катод жараёнининг тезлиги шу қадар ортадики, бунда металлни актив ҳолатдан пассив ҳолатга ўтказиш имкони туғилади.

Пўлат ҳам кирадиган Fe-Cr турдаги қотишмаларни пассивлаштириш токининг критик қиймати улар таркибидаги хромнинг миқдорига жиддий равишда боғлиқлигидан, қотишмадаги хром концентрациясининг ортиши билан пассивлаштиришнинг самарадорлиги ҳам ортади.

Кислородли ҳимоя сувли муҳитда юқори параметрли (юқори ҳарорат ва катта босим) шароитларда эксплуатация қилинадиган иссиқлик-энергетик қурилмаларини коррозиядан ҳимоялашда қўлланилади.

Паст легирланган пўлат коррозияланиш тезлигининг юқори ҳароратли сувдаги кислород концентрациясига боғлиқлиги 10.5-расмда келтирилган.



**10.5-расм.**  
Паст легирланган пўлат коррозияланиш тезлигининг 300°C ҳароратли сувдаги кислород концентрациясига боғлиқлиги

Расмдан кўринадикки, сувда эриган кислород концентрациясининг ортиши дастлаб коррозия тезлигининг ортишига, сўнгра камайишига, ундан кейин эса барқарорлашувиغا олиб келади. Пўлат эриш тезлигининг паст кўрсаткичи сувдаги кислород концентрациясининг  $\sim 1,8$  г/л қийматига тўғри келади. Металларнинг кислородли ҳимояси асосан сувли муҳитда ишлатиладиган қурилмаларни коррозиядан ҳимоялашда, шунингдек атом энергетикасида кенг қўлланилади.

## 10.2. Коррозияга қарши ҳимоялашда муҳининг таркибини ўзгартириш усуллари.

Жиҳоз ва қурилмаларни саноат миқёсида ишлатишда кўпинча коррозия муҳитнинг агрессивлигини камайтириш орқали коррозия туфайли бўладиган йўқотишларни камайтириш мумкин. Бунда икки хил ёндошув мавжуд:

- агрессив муҳит таркибидаги коррозияга олиб келувчи моддаларни йўқотиш;
- агрессив муҳит таркибидаги коррозия жараёни тезлигини сезиларли даражада скенлатувчи махсус моддаларни киритиш.

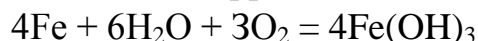
Жуда оз миқдори ҳам коррозия тезлигини секинлаштирадиган махсус моддалар коррозияни секинлаштирувчилар ёки ингибиторлар дейилади.

### 10.2.1. Коррозион муҳит агрессивлигини камайтириш усуллари

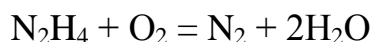
Коррозион муҳит таркибини сезларли даражада ўзгартириш қуйидаги усулларнинг бири ёрдамида амалга оширилиши мумкин:

- эритма деаэрацияси орқали ундан кислородни чиқариш, уни азот билан тўйинтириш ёки унга кислород ютувчи моддаларни киритиш;
- сўндирувчи оҳак ёки ўйувчи натрий ёрдамида эритмани нейтраллаш орқали ундаги кислоталарни йўқотиш;
- буғ қозонларини таъминловчи сув таркибидаги тузларни ион алмашувчи смолалар билан ишлов бериш орқали йўқотиш;
- вакуумлаш;

Агар берилган муҳитда металл пассивлашадиган бўлса, у ҳолда кислород ёки бошқа оксидловчиларнинг бўлиши коррозия жараёнини секинлаштириши мумкин. Қолган барча ҳолларда оксидловчилар металл коррозиясини чақирадилар. Аэрацияланган сувли эритмаларда темир кислородли кутбсизланиш (деполяризация) билан коррозияланади:



Эриган кислород концентрациясини камайтириш учун эритмага гидразин ёки натрий сулфиди қўшилади. Гидразин билан эриган кислород ўртасида қуйидаги реакция боради:

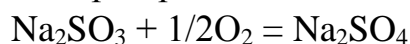


Ортиқча гидразин аммиак ва азотга парчаланеди:



Сувда аммиакнинг бўлиши ишқорлиликни оширади ва шу сабабли ижобий натижага олиб келади.

Натрий сулфидини қўллаш гидразинга нисбатан камроқ эффект беради, чунки бу ҳолда сувдаги туз миқдори ортади:



Сувли эритмаларга сўндирилган оҳак билан ишлов бериш саноатда кенг қўлланилади. Шу усулда эритмаларнинг рН миқдори ростланади, шунингдек уларнинг таркибидаги тузлар миқдори ҳам камайтирилади. Эритмалар ишқорланганда эритилаётган тузларга нисбатан паст эрувчанликка эга бўлган металл гидроксидлари ҳосил бўлади. Гидроксидларнинг бир қисми чўкмага тушади ва эритмадаги металл ионлари миқдори камаяди.

Буғ қозонларида қосқон (накипь) ҳосил бўлишининг олдини олишда сувни чуқур тозалаш учун ион алмашинувчи ишлов берилади. Бунда кўпинча ион алмаштирувчи аппаратлар сериясидан фойдаланилади. Дастлаб катион

алмаштирувчи смолалардан фойдаланиб, сувни металл катионларидан тозаланади. Ундан кейинги босқичларда анион алмашинувчи тозалаш ўтказилиб, кучли ва кучсиз кислоталарнинг анионларидан тозаланади.

### 10.2.2. Ингибиторли химоя

*Коррозия ингибиторлари (КИ) деб, коррозия системасида етарлича концентрацияда бўлиб, исталган коррозион агентнинг концентрациясини ўзгартирмаган ҳолда коррозия тезлигини камайтирувчи кимёвий бирикмаларга айтилади.* Коррозияга берилган ушбу таъриф ISO 8044-1986 халқаро стандарти талабларига мосдир. Коррозия ингибиторлари кимёвий бирикмаларнинг композицияларидан ҳам ташкил топган бўлиши мумкин. Ингибиторларнинг коррозион муҳитдаги миқдори имкони борица кам бўлиши лозим.

Ингибиторларнинг самарадорлиги химоялаш даражаси  $Z$  (% ларда) ва тормозлаш коэффициенти  $\gamma$  (ингибиторли эффект) билан аниқланади:

$$Z = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \cdot 100 = \frac{i_1 - i_2}{i_1} \cdot 100 \quad (18.1)$$

бу ерда  $K_1$  ва  $K_2$  [г/(м<sup>2</sup>·соат)] – мос равишда металлнинг ингибиторсиз ва ингибиторли муҳитлардаги эриш тезликлари;  $i_1$  ва  $i_2$  – мос равишда металлнинг ингибиторсиз ва ингибиторли муҳитларда эришидаги ток зичликлари; Металл тўла химояланганда  $Z$  коэффициент 100 % га тенг бўлади.

Тормозлаш коэффициенти ингибитор таъсирида коррозия тезлиги неча марта камайганлигини кўрсатади

$$\gamma = \frac{K_1}{K_2} = \frac{i_1}{i_2} \quad (18.2)$$

$Z$  ва  $\gamma$  ўзаро қуйидагича боғланган:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \cdot 100 \quad \text{ёки} \quad \gamma = \frac{1}{1 - Z/100}$$

Ингибиторларни қуйидагича синфлаш мумкин:

- таъсир қилиш механизми бўйича – катодли, анодли ва аралаш;
- кимёвий табиатига кўра – ноорганик, органик ва учувчан;
- таъсир доирасига кўра – кислотали, ишқорли ва нейтрал муҳитларда;

Ингибиторларнинг таъсири – ингибитор адсорбцияси туфайли металл сиртининг ҳолатини ўзгартириш ёки металл катионлари билан қийин эрийдиган бирикмалар ҳосил қилишга асосланган. Ингибиторлар ёрдамида ҳосил қилинадиган химоя қатламининг қалинлиги бошқа усулларда ёпиштириладиган қопламалардан доимо анча юпқадир.

Ингибиторлар икки йўл билан таъсир қилиши мумкин:

- фаол қатлам юзасини камайтириш;
- коррозия жараёнининг активация энергиясини ўзгартириш.

Ингибиторнинг адсорбцияланиши натижасида кўш электр қават структурасининг, шунингдек адсорбцион потенциал  $\psi_2$  сакрашининг

ўзгариши юз беради. Юзанинг бир қисмини ( $\Theta$ ) плёнка билан экранлаш орқали ингибитор уни  $(1-\Theta)$  юзада кечадиган коррозия жараёнидан бартараф этади.

Катодли ва анодли ингибиторлар мос равишда тегишли электрод реакцияларини секинлатади, аралаш ингибиторлар эса ҳар иккала реакция тезликларини камайтиради. Металлдаги адсорбция ва ҳимоя қатламларининг ҳосил бўлиши ингибитор заррачаларининг заряди ва сирт билан кимёвий боғлар ҳосил қилиш қобилияти орқали изоҳланади.

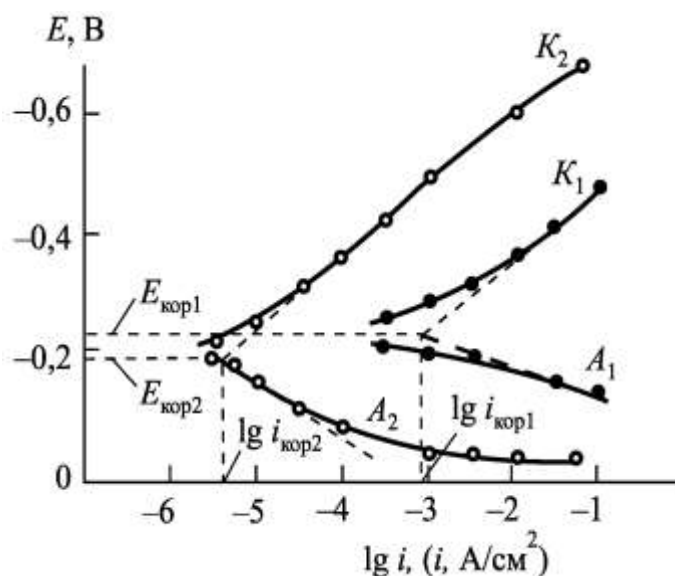
Катодли ингибиторлар катод реакцияларини ёки металлнинг актив эришини секинлатади. Коррозиянинг локал кўринишларини олдини олиш учун анодли ингибиторлар самарали ҳисобланади. Кўп ҳолларда металлни яхши ҳимоялаш учун турли қўшимчали композициядаги ингибиторлардан фойдаланилади. Бунда қуйидаги ҳолатлар кузатилади:

- аралашмадаги ҳар бир ташкил этувчининг ингибирлаш эффекти қўшилади, яъни *аддитив таъсир*;
- *антагонизм*, яъни аралашмада маълум бир компонентнинг бўлиши бошқасининг ингибирлаш таъсирини сусайтиради;
- *синергизм*, бунда композиция компонентлари бир-бирининг таъсирини кучайтиради.

Ингибиторларнинг коррозия жараёнида иштирок этган ва қатнашмаган ҳолларидаги коррозия тезликларини солиштириш орқали уларнинг таъсирини баҳолаш ёки самарадорлигини аниқлаш мумкин.

Кутбланиш (анод ва катод) эгриликларини чизиш – ингибиторларнинг таъсир мезанизмини ўрганиш усулларида бири ҳисобланади. 10.6-расмда кислотали муҳитдаги коррозия жараёни учун шундай эгриликлар келтирилган.

Коррозия жараёнининг бирор босқичини ингибитор орқали тормозлаш кутбланишнинг кучайишига олиб келади. Ингибиторнинг таъсир эффекти қанча кучли бўлса, тегишли кутбланиш эгрилигининг қиялиги шунча тик бўлади. 10.3-расмда ингибиторли ва ингибиторсиз кислотали эритмадаги катод (К) ва анод (А) кутбланиш эгриликлари яримлогарифмик координаталарда келтирилган.



**10.6-расм. Ингибитор таъсирининг эффективлигини тушунтирувчи кутбланиш эгриликлари.**  $A_1$  ва  $A_2$  – анод кутбланиш эгриликлари;  $K_1$  ва  $K_2$  – катод кутбланиш эгриликлари;  $K_1$  ва  $A_1$  – ингибитор бўлмаган ҳамда  $K_2$  ва  $A_2$  – ингибиторли жараёнлар.



Кутбланиш эгриликларининг чизикли (Тафел) қисмларини экстраполяциялаш  $E_{кор1}$  ва  $E_{кор2}$  коррозия потенциалларини ҳамда  $i_{кор1}$  ва  $i_{кор2}$  коррозия тезликларини аниқлаш имконини беради. Бу катталикларни таққослаш шуни кўрсатадики, ингибиторли эритмада  $E_{кор}$  янада мусбатроқ томонга силжийди, коррозия тезлиги эса камаяди. Коррозия тезликларининг қийматлари  $i_{кор1}$  ва  $i_{кор2}$  ни билган ҳолда ингибиторларнинг эффективлигини баҳолаш, шунингдек ҳимоялаш даражаси  $Z$  ва тормозлаш коэффициенти  $\gamma$  нинг қийматларини аниқлаш мумкин.

### 10.2.3. Ноорганик ингибиторлар.

Агрессив муҳитларда металллар коррозиясининг тезлигини секинлатувчи моддалар кўплаб топилади. Уларнинг ингибирлаш таъсири уларда катионлар ( $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Sb^{3+}$ ) ёки анионлар ( $CrO_4^{2-}$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$ ,  $NO_2^-$ ,  $SiO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ) нинг бўлиши билан изоҳланади.

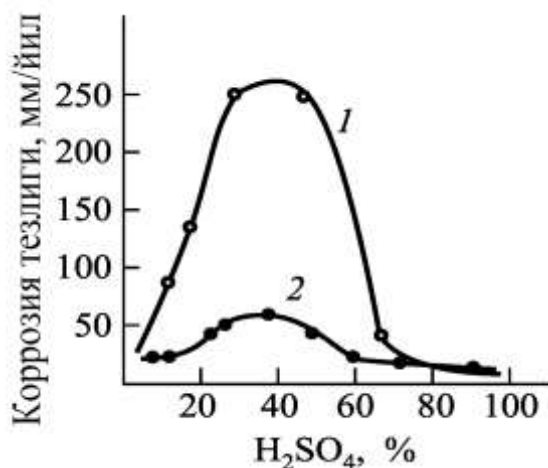
Ноорганик катодли ингибиторлар катод жараёнлари кучланишини ҳаддан ташқари ошириш ва катод қисмлари юзасини қисқартириш орқали коррозия тезлигини камайтиради. Микрокатодларда изоляцияловчи ҳимоя қатлами кўринишида эримайдиган бирикмалар ҳосил қилувчи моддалар *экранловчи катод ингибиторлари* дейилади. Сувли муҳитда темир учун бундай моддалар  $ZnSO_4$ ,  $ZnCl_2$ , ёки кўп ҳолларда  $Ca(HCO_3)_2$  ҳисобланади.

Калций бикарбонати  $Ca(HCO_3)_2$  – сув таъминоти тизимида пўлатни ҳимоялаш учун энг арзон катодли экранловчи ингибитор ҳисобланади. Калций бикарбонати ишқорли муҳитда металл сиртида ўтириб, уни электролитдан изоляцияловчи эримайдиган  $CaCO_3$  бирима ҳосил қилади.

Коррозия водородли деполяризация орқали кечаётган ҳолларда катод жараёни кучланишини ҳаддан зиёт оширувчи катод ингибиторлари қўлланилади. Ингибиторлар сифатида таркибида баъзи оғир металл катионлари ( $AsCl_3$ ,  $Bi(SO_4)_3$ ) бўлган тузлар ишлатилади. Бу металлларнинг пўлат сиртида контактли ўтириши туфайли ҳаддан зиёт водороднинг кучланиши ортади. 10.7-расмда сулфат кислотаси муҳитидаги углеродли пўлатнинг коррозияланиш тезлигига оз миқдорда кўшилган  $As_2O_2$  (0,045 % мишякка нисбатан ҳисобланганда) нинг таъсири кўрсатилган.

*Анодли ноорганик ингибиторлар* металл сиртида металлнинг эритмага ўтишини тормозловчи плёнка ( $\sim 0,01$  мкм) ҳосил қилади. Кўпинча *пассиваторлар* деб номланадиган плёнка ҳосил қилувчи ва оксидловчи кимёвий бирикмалар – коррозияни анодли секинлаштирувчилар гуруҳига киради.

*Катод-анодли ноорганик ингибиторлар*, масалан КJ, KBr лар металл сиртида хемосорбцион қатлам ҳосил қилиш ҳисобига кислотали эритмаларда анодли ва катодли жараёнларни бир хил даражада тормозлаш хусусиятига эга.



10.7-расм. Пўлат коррозияланиш тезлигининг H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрациясига боғлиқлиги. 1– H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 2 – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+ As<sup>3+</sup> (0,045 %).

Плѐнка ҳосил қилувчи ингибиторлар металл сиртида фазавий ёки адсорбцион плѐнкалар ҳосил қилиши туфайли уни коррозиядан химоялайди. Уларга NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и фосфатларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Хўжалик ва коммунал тизимларда ишлатиладиган темир ва пўлатни химоялашда қўлланиладиган фосфатлар айниқса кенг тарқалгандир. Фосфатлар иштирокида темир сиртида химоя плѐнкалари ҳосил бўлади. Унинг таркиби темир фосфати билан зичлашган темир гидроксидидан иборат. Химоя эффеќтини кучайтириш маќсадида фосфатлар кўпинча полифосфатлар билан композицияда қўлланилади.

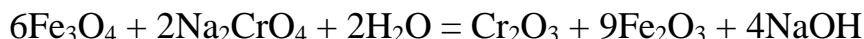
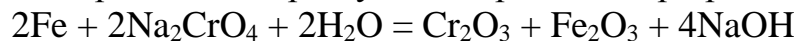
Пассиваторлар металл сиртида оксидлар ҳосил қилиш орќали металл эришининг анод реакциясини тормозлайди:



Бундай реакция фаќат пассивланишга мойил металллардагина кечиши мумкин.

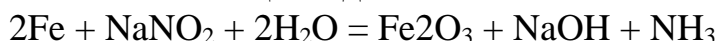
Пассиваторлар жуда яхши ва шу билан бирга хавфли ингибиторлар ҳисобланади. Cl<sup>-</sup> ионлари иштирок этаётган ҳолда концентрацияни нотўғри танлаш ёки муҳит кислоталилиги мос бўлмаган ҳолларда улар металл коррозиясини тезлатиши, баъзан жуда хавфли нуќтали коррозияни келтириб чиқариши мумкин.

Натрий ва калийнинг *хроматлари ва бихроматлари* саноат миќёсидаги сувли тизимларда темир, рухланган пўлат, мис, латун ва алюминийни коррозиядан химоялаш ингибиторлари сифатида ишлатилади. Темир мисолида хроматларнинг таъсири куйидаги реакциялар орќали ифодаланиши мумкин:



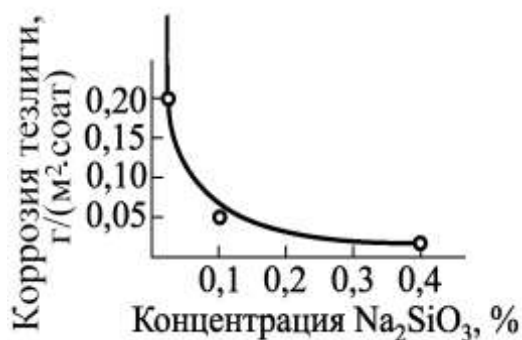
Ҳосил бўлган оксид плѐнкаси 25 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ва 75 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> дан иборат бўлади.

*Нитритлар* pH > 5 бўлган муҳитлар учун кўпгина металллар (рух ва мисдан ташқари) коррозиясининг ингибиторлари сифатида қўлланилади. Улар занглаш мавжуд бўладиган ҳоллар учун арзон ва самарали ҳисобланади. Нитритларнинг химоявий таъсири металл сиртида куйидаги реакция орќали ҳосил бўладиган плѐнка билан изоҳланади:



*Силикатлар* аралаш таъсирли ингибиторларга мансуб бўлиб, анод ва катод реакциялари тезлигини камайтиради (10.8-расм). Уларнинг умумий

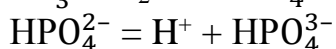
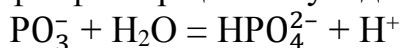
формуласи –  $x\text{SiO}_2 \cdot \text{Me}_2\text{O}$ . Силикатларнинг таъсири сувда эриган карбонат ангидрид ( $\text{CO}_2$ ) газини нейтраллаш ва металл сиртида плёнка ҳосил қилишга



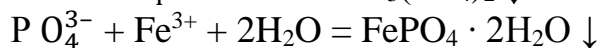
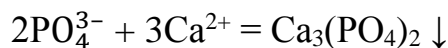
10.8-расм. Нейтрал сувли эритмаларда пўлат коррозияланиш тезлигининг  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  концентрациясига боғлиқлиги

асосланган. Плёнка доимий таркибга эга эмас. Структураси бўйича у темир бирикмалари ва қаттиқлик тузлари адсорбцияланадиган кремний кислотаси гелини эслатади. Плёнканинг қалинлиги одатда  $\approx 0,002$  мм ни ташкил қилади.

*Полифосфатлар* –  $(\text{MePO}_3)_n$  умумий формулага эга бўлган *метафосфатлар* туркумига кирувчи сувда эрийдиган бирикмалар ҳисобланади. Полифосфатларнинг таъсири металл сиртида ўтказмайдиган ҳимоявий плёнка ҳосил қилишга асосланган. Сувли эритмаларда полифосфатларнинг секинлашган гидролизи амалга ошиб, натижада ортофосфатлар ҳосил бўлади:



$\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{Fe}^{3+}$  ионлар иштирокида металл сиртида ўтказмайдиган ҳимоя плёнкаси ҳосил бўлади:



Саноатда *натрий гексаметафосфати* энг кўп тарқалган ингибиторлардан ҳисобланади. Фосфатлар ва полифосфатлар коррозияни секинлаштирувчилар сифатида сувда ва совутувчи эритмаларда кенг қўлланилади. Фосфатлар ва хроматларни биргаликда қўлланганда ҳимоя эффекти янада кучли бўлади.

#### 10.2.4. Органик ингибиторлар

Кўпгина органик бирималар ҳам коррозияни секинлатиш қобилиятига эга. Органик бирималар – аралаш таъсирли ингибиторлар ҳисобланади, яъни улар бир вақтнинг ўзида ҳам анод, ҳам катод реакцияларини сакинлаштиришга қодир. Махсус аралашмаларнинг ингибирлаш таъсири назариясини ривожлантиришда А.Н. Фрумкин ва унинг шогиртлари салмоқли ҳисса қўшдилар. Электрохимий кинетиканинг замонавий тушунчалари қатор ҳолатларда электролитларга махсус кўшимчалар киритилганда реакцияларнинг у ёки бу йўналишда боришини олдиндан кўра билиш имкониятларини беради. Ингибиторлар сифатида галоидли ионлар, органик

катионлар ва молекуляр кўринишдаги бирикмалардан фойдаланилганда кузатиладиган жараёнларнинг асосий қонуниятларни тушунтириш имкониятлари туғилди. Экспериментал тадқиқот натижалари шуни кўрсатадики, кўпгина кимёвий бирикмалар металл сиртига Ленгмюр ва Тёмкин изотермалари бўйича адсорбцияланади.

Ингибиторлар самарадорлигининг органик бирикмалар кимёвий структурасига боғлиқлигини аниқлаш ҳозирги даврда ўта муҳим илмий-техникавий масала бўлиб ҳисобланади. Ягона марказий реакция ядрога бўлган алоҳида синфларга оид бирикмаларнинг реакция қобилиятларини ўрганишда шу синфга тегишли бошқа бирикмалар тўғрисидаги маълумотларга асосан конкрет бирикманинг хоссаларини олдиндан айтиб бера олиш мумкин.

Агар стандарт сифатида умумий кўриниши X-Y-H шаклда ёзиладиган бирикма олинса, унга нисбатан R радикал билан фарқ қиладиган X-Y-R бирикмани ўрганиб чиқиш керак бўлади. Агар бу моддалар сирт блакировкасини вужудга келтирмасдан, фақат коррозия реакциясининг активация энергиясини ўзгартирадиган бўлса, у ҳолда куйидаги тенглама ўринли бўлади:

$$\lg \gamma_R = \gamma_H + \rho \sigma \quad (18.3)$$

бу ерда  $\gamma_R$  ва  $\gamma_H$  лар мос равишда ҳар бир бирикманинг коррозия реакция тезлигини тормозловчи коэффициентлари;  $\rho$  – стандарт бирикма учун бирга тенг бўлган реакция параметри;  $\sigma$  – константа.

Агар ингибитор таъсирининг ҳар иккала механизми – сирт блакировкаси ва активация энергиясининг пасайиши амалга ошса, у ҳолда куйидаги тенгламани қўллаш ўринли бўлади:

$$\text{Lg}(\gamma_R/\gamma_H) = \rho \sigma - \text{lg}(\Theta_R/\Theta_H) \quad (18.4)$$

бу ерда  $\Theta$  – ҳар бир ингибитор томонида сиртни тўлдирилиш даражаси. Бу муаммонинг турлича аспекти бир қатор монография ва обзорларда кўриб чиқилган.

Органик ингибиторлар металлнинг фақат сиртида адсорбцияланади. Коррозия маҳсулотларида улар адсорбцияланмайди. Шунинг учун бу ингибиторлар металлларга кислотали ишлов бериш пайтида уларни занг, зак ва қасқондан тозалаш учун қўлланилади. Кўп ҳолларда таркибида азот, олтингугурт ва кислород бўлган алифатик ва ароматик бирикмалар органик ингибиторлар вазифасини бажаради.

*Аминлар* – кислотали ва сувли муҳитларда темир коррозиясининг ингибиторлари ҳисобланади.

*Тиоллар (меркаптанлар)*, шунингдек *органик сульфидлар ва дисульфидлар* аминларга нисбатан анча кучли ингибирлаш таъсирига эга. Бу синф вакилларининг асосийлари – тиомочевина, бензотриазол, алифатик меркаптанлар, дибензилсулфоксид.

*Органик кислоталар ва уларнинг тузлари* ингибиторлар сифатида темирни кислоталарда, мойларда ва электролитларда ҳимоялашда, шунингдек водородлаштириш жараёни ингибиторлари сифатида қўлланилади. Органик кислоталарда амино- ва гидроксил гуруҳларининг бўлиши уларнинг

химоя хусусиятларини яхшилайдди. Бу гуруҳ ичида айниқса натрий бензоат алоҳида ажралиб туради.

*Спиртлар, айниқса кўп асослилари* – коррозиянинг эффектив ингибиторлари ҳисобланади. Сувли совутиш тизимлари учун – этиленгликол  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , дарё ва денгиз сувларида – натрий глюконати  $\text{NaOOC}(\text{CHO}-\text{H})_4\text{CH}_2\text{OH}$  самарали ингибиторлардан ҳисобланади. Саноатда ингибиторларнинг қўлланилиши беқиёсдир.

Ишқорли муҳитларда ингибиторлар амфотер металлларга ишлов беришда, буғлантирадиган қурилмаларни химоялашда, ювувчилар таркибида, ўз-ўзидан разрядланишнинг олдини олиш учун ишқорли ток манбаларида фойдаланилади.

Охириги йилларда темирбетон материалларида қўлланиладиган пўлат арматураларни коррозиядан химоялаш учун янги аралаш ингибиторлар яратилди. Бу бирикмалар – лигносульфонатлар, таннинлар ва аминоспиртлар темир катионлари билан қийин эрийдиган комплекслар ҳосил қилади. Булар орасида айниқса таннинлар – бетонга ижобий таъсир қилиши ва коррозияланувчи пўлатни юқори даражада химоялай олиши билан муҳим аҳамият касб этади.

*Миграцияланувчи ингибиторлар* – янги синфдаги бирикмалар ҳисобланади. Улар бетон қатлами орқали диффузияланиш қобилиятига эга бўлиб, пўлат арматура сиртида адсорбцияланиши туфайли удаги коррозия жараёнини секинлаштиради. Биринчи марта МСІ 2000 ва МСІ 2200 маркали миграцияланувчи ингибиторлар Американинг Cortec Corporation фирмаси томонидан амалда қўлланилган. Ҳозирги вақтда ИФХАН-16 маркали бундай ингибиторлар Россия Федерациясида ҳам ишлаб чиқарилмоқда.

*Нейтрал муҳитлар учун ингибиторлар* – асосан совутиш ва сув таъминоти тизимларида қўлланилади. Бу гуруҳдаги ингибиторлар орасида полифосфатлар, поликарбосилли аминокислоталар, *комплексонлар* деб аталувчи ЭДТА, НТА ва б. маркали ингибиторлар, шунингдек уларнинг фосфорли аналоглари – ОЭДФ, НТФ, ФБТК каби ингибиторлар алоҳида ўрин эгаллайди. Комплексонлар – металлларни фақат қаттиқ сувларда  $\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{Mg}^{2+}$  катионлари билан бирикмалар ҳосил қилган ҳолда химоялайди.

Юмшоқ сувларда юқори карбосилатларнинг тузлари асосида яратилган ИФХАН-31 ва ИФХАН-34 ингибиторлари юқори самарали ҳисобланади. Бундай ингибиторлар турли конструкцион материаллардан (Fe, Si, Al, Zn ва уларнинг қотишмалари) яратилган совутиш тизимларининг қурилмаларини коррозиядан ишончли химоя қиладилар.

*Учувчан ингибиторлар* – металл полуфабрикатлар ва тайёр қурилмаларни сақлаш ҳамда уларни манзилигача етказиш даврида атмосфера коррозияси-дан ҳимоялашда замонавий воситалар ҳисобланади. Учувчан ингибиторлар-нинг таъсир этиш принципи – ҳаво қатлами орқали металл сиртига диффузияланувчи буғларни ҳосил қилиш ва шу йўл билан уларни химоялашга асосланган.

Учувчан ингибиторлар кўпинча ҳарбий техника ва энергетик қурилмаларни ҳимоялашда ишлатилиб келинган. Турли соҳаларда кенг қўлланилиб келинган НДА, КЦА, Г-2, ИФХАН-1, ВНХ-Л-20, ИФХАН-100, ВНХЛ-49 ингибиторлар сафига охириги йилларда бир қатор ИФХАН-8А, -112, -118 ва ВНХ-ЛФ-408 каби янги ингибиторлар қўшилди. Учувчан ингибиторлар қадоқлаш воситалари олиб ташлангандан кейин ҳам металл буюмларни узок (уч ойдан кўпроқ) вақт давомида ҳам ҳимоялай олиш қобилиятига, яъни кейинчалик таъсир қилиш эффектига эга.

*Пассивлаштирувчи эритмалар* – оксидланган ва фосфатланган пўлатларни ҳимоялаш учун ҳозирги пайтда амалда кенг қўлланилмоқда. ИФХАН-39А ва ИФХАН-33-ЛГ каби бундай эритмалар металл сиртининг ғовакликларига сингдирилиб, қуритилгач унга антикоррозион хусусият ҳосил қилади.

Охириги йилларда ингибирланган мум таркиблари ҳимоялашда салмоқли ўрин эгаллайди. Юпқа плёнкалар ва мойларнинг фойдали сифатларини ўзида мужассамлаштирган ҳолда улар металл сиртида юпқа пластик қатлам ҳосил қиладилар. Уларда ингибиторларнинг мавжудлиги гидрофоблик билан биргаликда кучли коррозион бардошлилик ҳосил қилади. Ингибирланган плёнка ҳосил қилувчи нефтли таркиблар ҳозирги вақтда коррозияга қарши ҳимоялаш амалиётида етакчи рол ўйнайди. Мовиль, Мовитин, ИФХАН-29А, НГ-216, Оремин, ИФХАН-30А и -30Т каби бундай таркиблар айниқса кенг ном қозонгандир.

Нефтнинг коррозион активлиги жуда кенг интервалда намоён бўлади. Бу – унинг таркибида турлича коррозион фаол аралашмаларнинг ва водород олтингургуртининг мавжудлиги билан изоҳланади. Шунингдек, нефт таркибида барқарор эмулсия кўринишидаги ва эмулсияланмаган сув ҳам мавжуд. Сувдаги тузларнинг концентрацияси 10% гача етиши мумкин. Нефтни қазиб олиш, узатиш, сақлаш ва қайта ишлаш каби босқичларнинг барчасида қурилма ва жиҳозларнинг коррозион хавфлилиги асқланиб қолади. Шунинг учун бир турдаги ингибиторлар нефтни қазиб олиш босқичидан уни қайта ишлаш босқичигача қўлланилиши мумкин.

Нефт таркибига қўшиладиган ингибиторлар металл сиртига қутбли гуруҳлар билан шундай адсорбцияланадики, бунда углеводород занжири сиртни гидрофобланишга чақирган ҳолда ҳосил бўладиган плёнканинг ташқи томонида қолади. Унга мойлар ва бошқа углеводородларнинг боғланиши натижасида металл сиртида кўш қаватли плёнка ҳосил бўлиб, коррозиянинг кечишига тўсқинлик қилади. Молекуласида кислород ва ўндан ортиқ углерод атоми бўлган углеводород занжиридан иборат бирикмалар ҳам яхши ҳимоявий хоссаларга эга. Нефт қазиб олишда тарқоқ ингибирлаш технологияси кенг қўлланилади. Айнан коррозион хавfli участкаларга ингибиторни узатиш (етказиш) нуқталарини яқинлаштириш ушбу технологиянинг моҳиятини ташкил қилади. Бундай ингибиторларга Олазол-Т2П (Россия), Корексит-6350 (Налко-Эксен), ИСА-148 (Серво) кабиларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

Газ қувурларининг ички коррозияси газ саноати олдида турган энг долзарб муаммолардан биридир. Деярли барча конлар газларининг таркибида катта миқдорда (20 % ҳажмгача)  $\text{CO}_2$ , баъзи ҳолларда эса водород сулфиди (25 % ҳажмгача) бўлади. Қувр ўтказгичлар ички сиртини ингибиторли ҳимоялаш коррозиядан ҳимоя қилишнинг энг самарали усулларида бири бўлиб ҳисобланади.

ИФХАНГАЗ-1 кўпиришга қарши коррозия ингибитори газ саноатида кенг қўлланилади. Ингибиторнинг водород сулфиди билан таъсирлашиши оқибатида металл сиртида электрохимиявий реакцияларнинг боришини қийинлаштирадиган мустақкам бирикма ҳосил бўлади.

СЕКАНГАЗ (Секангаз 9, 9Б ва 10) серияли коррозия ингибиторлари ВНИИГАЗ, ИФХАН ва СЕКА француз фирмаси билан ҳамкорликда ишлаб чиқилган бўлиб, уларнинг асосини ёғли аминларнинг ҳосилалари ташкил қилади. Бу моддалар металл сиртида адсорбцияланган кутбли молекулалардан ташкил топган. Мойли қатламни сақлаб турувчи ёғли липофил занжири сув билан металлнинг контактлашувига тўсқинлик қилади.

Россия федерациясида Германиянинг БАСФ ва ХЕХСТ фирмалари билан ҳамкорликда Сепакор 5478 ва Додиген 4482-1 ингибиторлари яратилган. Сепакор 5478 ингибитори қатламга узлуксиз ҳайдаш учун тавсия этилган. Унинг сарфи 1 млн  $\text{м}^3$  газга 14 литрни ташкил қилади. Қудукқа бу ингибиторнинг метанолдаги 16% ли эритмаси ҳайдалганда жуда яхши самара беради. Синов натижалари шуни кўрсатадики, коррозиянинг умумий тезлиги 0,005 мм/йил, мўртликдан ҳимоя қилиш даражаси 98% ни ташкил қилади. Шунга ўхшаш натижалар Додиген 4482-1 ингибитори учун ҳам олинган. Унинг термик барқарорлиги  $200^\circ\text{C}$  бўлиб, у қудукқа ва ер усти қувур ўтказгичларига ҳам узлуксиз, ҳам даврий равишда ҳайдаладиган технологиялар учун тавсия этилган.

## **Х бобга тегишли услубий тавсиялар**

*Х бобда келтирилган маълумотларни ўрганиш натижасида талаба қуйидагиларни билиши шарт:*

- жиҳозлар ва қурилмаларни коррозиядан ҳимоялаш усуллари;
- катод ҳимояси;
- протекторли ҳимоя;
- анод ҳимояси;
- кислородли ҳимоя;
- ингибиторли ҳимоя.
- конкрет усулнинг қўлланилиш технологияси ва унинг самарадорлигини баҳолаш.

*Х бобда келтирилган маълумотларни ўзлаштириш натижасида талаба:*

- муҳитнинг таркибини ўзгартириш ҳақида ҳулоса қила олиши;
- коррозия муҳит агрессивлигини пасайтириш усуллари қўллаш

- олиши;
- технологик параметрларни таҳлил қилиш асосида қурилмаларни коррозиядан ҳимоялашнинг оптимал усулини танлай билиши ва асослай олиши лозим.

### **Назорат саволлари**

1. Электрохимёвий коррозия жараёнларининг асосида ётувчи асосий тамойиллар.
2. Анод ҳимоясининг моҳиятини тушунтиринг.
3. Электрод потенциали нима?
4. Катод ҳимоясининг механизми ва моҳиятини тушунтиринг.
5. Ҳимоя потенциали нима?
6. Протекторли ҳимоя қандай амалга оширилади?
7. Протекторли ҳимоя учун қандай металллар танланади?
8. Қандай шароитларда кислород ҳимоясидан фойдаланилади?
9. Кислород ҳимоясининг моҳиятини тушунтиринг
10. Коррозион муҳитнинг агрессивлигини қандай қилиб пасайтириш мумкин?
11. Ингибиторлар нима? Қандай ингибиторларни биласиз?
12. Ингибиторларнинг таъсир механизмини тушунтиринг.
13. Қандай ноорганик ингибиторларни биласиз?
14. Ноорганик ингибиторларнинг таъсир механизмини тушунтиринг.
15. Органик ингибиторлар, уларнинг турлари.
16. Нефтнинг коррозион активлиги.

### **Мустақил таълим мавзулари**

1. Электрохимёвий коррозиянинг қўлланилиш соҳалари.
2. Электрохимёвий коррозия жараёнида металлнинг эриш тезлигини камайтириш усуллари.
3. Катод ҳимояси станциялари, вазифаси ва турлари.
4. Протектор ҳимояси учун қўлланиладиган металллар.
5. Анод кутбланиш эгриликлари орқали қандай маълумотлар олиш мумкин?
6. Анод ҳимояси учун қўйиладиган талаблар.
7. Ингибиторларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?
8. Ингибиторларнинг синфлари.
9. Органик ингибиторларнинг қўлланилиш соҳалари.
10. Ноорганик ингибиторларнинг ишлатилиш соҳалари.



### Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: Учеб. пособие. – М.: Металлургия, 1976. 472 с.
2. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов: Учебник. – М.: Металлургия, 1968. 407 с.
3. Медведева М.Л. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа: Учеб. Пособие для вузов нефтегазового профиля. – М.: ФГУП Изд-во “Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. 2005. – 312 с.
4. Шлугер М.А., Ажогин Ф.Ф., Ефимов Е.А. Курс коррозии и защиты металлов: Учеб. пособие. – М.: Металлургия, 1981. 215 с.
5. Климов И.Я. Коррозия химической аппаратуры. Коррозионностойкие материалы: Учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1967. 462 с.
6. Колотыркин Я.М. Металл и коррозия. – М.: Металлургия, 1985. 88 с.
7. Кеше Г. Коррозия металлов. – М.: Металлургия, 1984. 400 с.
8. Киш Л. Кинетика электрохимического растворения металлов. – М.: Мир, 1990. 972 с.
9. Мамулова Н.С, Сухотин А.М., Сухотина Л.П., Флорианович Г.М., Яковлев А.Д. Все о коррозии: Справочник.– С-Пб.: Химиздат, 2000. 517 с.
10. Улиг Г.Г., Ревя Р. У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику. – М.: Химия, 1988. 455 с.
11. Флорианович Г.М. Теоретические основы коррозии металлов в растворах электролитов в активном состоянии. – М.: МХТИ, 1987. 48 с.
12. Лабораторный практикум по коррозии и защите металлов / Под ред. Т.Е. Цупак – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2001. 172 с.
13. Скорчеллетти В.В. Теоретические основы коррозии металлов. – М.: Химия, 1973. 263 с.
14. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник / Под ред. А.А.Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. Т.1. 688 с; Т.2. 784 с.
15. Коррозия конструкционных материалов: Справочник / Под ред. В.В. Батракова. – М.: Металлургия, 1990. Т. 1. 344 с; Т.2. 320 с.
16. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: Справочник. 5-е изд. – М.: Металлургия, 1990. 320 с.
17. Коррозия: Справочник / Под ред. Л.Л. Шрайера. – М.: Металлургия, 1981. 320 с.
18. Структура и коррозия металлов и сплавов. Атлас: Справочник / Под ред. Е.А. Ульянина. – М.: Металлургия, 1989. 400 с.

19. Клипов И.Я., Удыма П.Г., Молоканов А.В., Горяинова А.В. Химическое оборудование в коррозионностойком исполнении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1970. 589 с.
20. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шигиов В.К. Инженерная экология. – М.: Высшая школа, 1996. Т 1. 636 с; Т 2. 655 с.
21. Эванс Ю.Р. Коррозия и окисление металлов. – М.: Машгиз, 1962. 380 с.
22. Скорчеллетти В.В. Теоретические основы коррозии металлов. – М.: Химия, 1973. 263 с.
23. Соколовская Е.М., Гузей Л.С. Металлохимия. – М.: Изд. Московского университета, 1986. 264 с.
24. Дамаск А., Динс Дж. Точечные дефекты в металлах. / Под ред. Б. Я. Любова. – М.: Мир, 1966. 282 с.
25. Жуков А.П., Малахов А.И. Основы металловедения и теории коррозии. – М.: Высшая школа, 1991. 169 с.
26. Дамаскин Б.Б., Петрий О. А. Введение в электрохимическую кинетику. – М.: Высшая школа, 1983. Гл. IV. § 68-70. С. 347-382.
27. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1984. Гл. 8, С. 182-192; Гл. 18, С. 386-394; Гл. 23, Гл. 24.
28. Томатов К.Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионно стойкие материалы. – М.: Metallurgy, 1986. 359 с.
29. Томатов И.Д., Чернова Г.Л. Пассивность и защита металлов от коррозии. – М.: Наука, 1965. 208 с.
30. Сафонов В. А. Инженерно-химическая наука для передовых технологий: Труды пятой сессии. / Под ред. В.А. Махлина. - М.: 1999. Т. 1. С. 207.
31. Фрумкин А.Н. Избранные труды. Электродные процессы. – М.: Наука, 1977. 335 с.
32. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. – М.: Химия, 2001. С. 624.
33. Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. – М., 1989. 103 с.
34. Морская коррозия: Справочник / Пер. с англ. под ред. М.М. Шумахера. – М., 1983.
35. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. – М.: Metallurgy, 1970. 448 с.
36. Попов Ю.А. Теория взаимодействия металлов и сплавов с коррозионноактивной средой. – М.: Наука, 1995. 200 с.
37. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. – Л.: Химия, 1972. 240 с.
38. Защита подземных металлических сооружений от коррозии. – М.: Стройиздат, 1990. 303 с.

39. Стрижевский И.В., Сурис М.А. Защита подземных теплопроводов от коррозии. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 344 с.
40. Митина А.П., Горичев И.Г., Хорошилов А.В., Коничев В.С. Теоретические основы карбонатной коррозии стали. М.: ВНИИЭгазпром, 1992. 55 с.
41. Клипов И.Я. Коррозия химической аппаратуры. Коррозионностойкие материалы: Уч. пособие. – М.: Машиностроение, 1967. 462 с.
42. Томашов К Д., Чернова Г.П. Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные материалы. – М.: Металлургия, 1986. 359 с.
43. Акшенцева Л.П. Металлография коррозионностойких сталей и сплавов. – М.: Металлургия, 1991. 287 с.
44. Ульянин Е.А. Коррозионностойкие стали и сплавы: Справочник. – М.: Металлургия, 1980. 208 с.
45. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Металлургия, 1990. 688 с.
46. Плудек В.Р. Защита от коррозии на стадии проектирования / Пер. с пол. – М.: Мир, 1980.
47. Сайфуллин РС. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов. – М.: Химия, 1990. 240 с.
48. Способы защиты оборудования от коррозии / Под ред. Б.М. Строкан, А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 280 с.
49. Реформатская И. И. // Международная школа повышения квалификации
50. «Инженерно-химическая наука для передовых технологий» / Под ред. В.А. Махлина. – М.: 1999. Т. 1. С. 185.
51. Свистунова Т.В. // Международная школа повышения квалификации «Инженерно-химическая наука для передовых технологий» / Под ред. В.А. Махлина. – М.: 1999. Т. 2. С. 176.
52. Кузуб В.С. Анодная защита металлов от коррозии. – М.: Химия, 1983. 182 с.
53. Прикладная электрохимия / Под ред. А.П. Томилова. – М.: Химия, 1984. 520 с.
54. Акользин А.П., Жуков А.И. Кислородная коррозия оборудования химических производств. – М.: Химия, 1985. 240 с.
55. Вайнер Я.В., Дасоян М.А. Технология электрохимических покрытий. – Л., 1972. 316 с.
56. Цупак Т.Е., Новиков В. Т., Начинов Г.Н., Ваграмян Т.А. Лабораторный практикум по технологии электрохимических покрытий. – М.: Химия, 1980. 160 с.
57. Фокин М.Н., Емельянов Ю.В. Защитные покрытия в химической промышленности. – М.: Химия, 1982. 256 с.

58. Елисаветский А.М. и др. Лакокрасочные покрытия. Технология и оборудование: Справочник. – М.: Химия, 1992. 412 с.
59. Лакокрасочные покрытия / Под ред. Е.Н. Владычиной. – М.: Химия, 1972. 304 с.
60. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии: Справочник / Под ред. И.В. Стрижевского. – М.: Металлургия, 1984. 495 с.
61. Иоссель Ю.Я., Кленов Г.Э. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов: Справочник. – М.: Металлургия, 1984. 271 с.
62. Иванов В. Т., Глазов Н.П., Макаров В.А. Математическое моделирование электрохимической защиты // В сб. Итоги науки и техники. Сер. Коррозия и защита от коррозии. - М.: ВИНТИ, 1987. Т. 13. С. 117.
63. Красноярский В.В. Электрохимический метод защиты металлов от коррозии. – М.: Машгиз, 1961. 125 с.
64. Антропов Л.К, Макушин Е.М., Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. – Киев: Техніка, 1981. 183 с.
65. Алексеев С.Н., Ратинов В.Б., Розенталь Н.К., Кашурников Н.М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. – М.: Строй-издат, 1985. 272 с.
66. Решетников С.М. Ингибиторы коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. 144 с.
67. Иванов Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. 175 с.
68. Розенфельд И.Л., Персианцев В.П. Ингибиторы атмосферной коррозии. – М.: Наука, 1985. 278 с.

## Иловалар

Коррозия ва коррозиядан ҳимоя қилиш бўйича Давлат стандартлари жадвали

<b>75.180. Нефт ва газ саноати учун қурилмалар.</b>	
<b>75.180.20. Технологик қурилмалар.</b>	
O'z DSt 2772:2013 O'z DSt 1138:2007 нинг ўрнига	Нефт, нефт-кимё ва газ саноати. Кожухқувурли иссиқлик алмашинувчилари. Техник талаблар.
O'z DSt ISO 13879:2010	Нефт ва газ саноати. Мазмуни ва функционал спецификация тузиш.
O'z DSt ISO 13880:2010	Нефт ва газ саноати. Мазмуни ва техник спецификация тузиш.
O'z DSt ISO/TS 29001:2010 O'z DSt ISO/TS 29001: 2008 нинг ўрнига	Нефт, нефт-кимё ва газ саноати. Сифат менежментининг соҳавий тизимлари. Маҳсулот етказиб берувчи ва хизмат кўрсатадиган ташкилотларга қўйиладиган талаблар.
<b>77.040. Металларни синаш</b>	
<b>77.040.99. Металларни синаш усуллари</b>	
O'z DSt 9.312-98 ГОСТ 9.312-89 нинг ўрнига	Коррозия ва эскиришдан ҳимоялашнинг ягона тизими. Ҳимоя қопламалари. Иссиқбардошликни аниқлаш усуллари.
<b>77.060. Металлар коррозияси</b>	
O'z DSt 9.101-98 ГОСТ 9.101-78 нинг ўрнига	Коррозия ва эскиришдан ҳимоялашнинг ягона тизими. Асосий қоидалар.
O'z DSt 2917:2014 (GM 15288, IDT)	Металлар сиртидаги бўялган тизимнинг тескари томонидаги коррозион дефектлар
O'z DSt ISO 9227:2015	Сунъий муҳитларда коррозион синовлар – тузли тумандаги синовлар.
<b>77.120. Рангли металлар.</b>	
<b>77.120.99. Рангли металлар ва уларнинг қотишмалари.</b>	
O'z DSt 610:2009 O'z DSt 610:03 нинг ўрнига	Қуйма олтинлар. Техник шартлар.

О'z DSt 611:2009 О'z DSt 611:2003 нинг ўрнига	Қуйма кумушлар. Техник шартлар
О'z DSt 1174:2008	Ўлчовли қуйма олтинлар. Техник шартлар.
<b>77.140. Чўян ва пўлатдан тайёрланган маҳсулотлар.</b>	
<b>77.140.15. Бетон арматураси учун мўлжалланган пўлатлар.</b>	
О'z DSt 3025:2015 TSh 48.3-004 нинг ўрнига	Силлиқ ва даврий профилли арматура прокатлари. Техник шартлар
<b>77.140.65. Пўлат сим, симли канатлар ва звеноли занжирлар.</b>	
О'z DSt 1131:2013 ГОСТ 7480-73 нинг ўрнига	Полиграфик симлар. Техник шартлар
<b>77.140.80. Чўян ва пўлат қуймалар</b>	
О'z DSt 2839:2014 TSt 39.0-024:2009 нинг ўрнига	Нефт-газ ва кимё саноати қурилмаларининг деталлари учун қуймалар. Умумий техник шартлар
<b>77.150. Рангли металлдан тайёрланган маҳсулотлар.</b>	
<b>77.150.30. Мисдан тайёрланган маҳсулотлар</b>	
О'z DSt 2809:2013 : TSh 64-05755737-132:07, TSh 64-05830150-41:2010, TSh 64-15808601-66:2008, TSh 64-20506204- 004:2009, TSh 64-23424725-01:2012, TSh 64-23956631-02:2012 ларнинг ўрнига	Мис катанка. Техник шартлар

## Аббревиатура

АЭС – Атом электростанцияси  
ҚЭҚ – қўш (жуфт) электр қават  
СЭП – стандарт электрод потенциалли  
С.В.Э.П. (с.в.э.п)– стандарт водород электрод потенциалли  
КАК – кристаллараро коррозия  
ПК – питтинг коррозияси  
КЁ – коррозия ёрилиши  
НК – Натурал каучуклар  
СК – Синтетик каучуклар  
СКБ – Бутадиенли синтетик каучуклар  
СКС – стиролли синтетик каучуғи  
СКН – Бутадиен-нитрилли синтетик каучуғи

## МУНДАРИЖА

Сўз боши .....	4
----------------	---

### I ҚИСМ.

#### МЕТАЛЛАР КОРРОЗИЯСИ НИАЗАРИЯСИНING АСОСЛАРИ.

##### I боб. Фанга кириш.

1.1 “Коррозиядан химоя қилиш” фанининг мақсад ва вазифалари ..	6
1.2 Металлар коррозиясига қарши кураш муаммоларининг ижтимоий, иқтисодий ва экологик жиҳатлари .....	7
1.3 Асосий тушунча ва атамалар. ....	8
1.4 Коррозия жараёнларининг синфланиши .....	9
1.5 Коррозия кўрсаткичлари. ....	12

##### II боб. Металларнинг газ коррозияси

2.1 Газ коррозияси жараёнларининг умумий тавсифи. ....	14
2.2 Металлар структураси ва унинг коррозия жараёнларига таъсири	15
2.3 Металлар коррозияси жараёнлари термодинамикасининг асослари .....	21
2.4 Ноэлектродларда металлар коррозияси .....	22
Иккинчи бобга тегишли услубий тавсиялар .....	24

##### III боб. Металлар газ коррозиясининг физик-кимёвий қонуниятлари

3.1 Металл сиртида оксидланиш маҳсулотлари ҳосил бўлишининг термодинамик эҳтимоллиги. ....	25
3.2 Металлар газ коррозиясининг асосий босқичлари. ....	27
3.3 Металлар сиртида газларнинг адсорбцияланиши. ....	28
3.4 Металл сиртида кислороднинг адсорбцияланиши ва оксид қатламининг ҳосил бўлиши. ....	31
3.5 Металлар сиртида пардалар (плёнка)нинг ҳосил бўлиши .....	33
3.6 Металлар газ коррозиясининг кинетикаси .....	35
3.6.1 Плёнка ўсишининг чизикли қонуни. ....	36
3.6.2 Плёнка ўсишининг мураккаб қонунлари .....	38
3.7 Темир сиртидаги оксид плёнкалари. ....	40
3.8 Кимёвий коррозия механизми. ....	41
3.9 Газ коррозияси тезлигига ички ва ташқи факторларнинг таъсири. ....	44
3.9.1 Плёнка таркибининг таъсири. ....	44
3.9.2 Ҳароратнинг таъсири .....	45
3.9.3 Газ босими ва таркибининг таъсири. ....	47
3.10 Иссиқликка чидамли легирлаш назарияси .....	50
Учинчи бобга тегишли услубий тавсиялар .....	54

##### IV боб. Металларнинг электрокимёвий коррозияси.

4.1 Металл–электродлар фазалар бўлиниш чегарасида юз берадиган ҳодисалар. ....	55
--	----



4.2	Электрокимёвий коррозия термодинамикаси.....	57
4.3	Пурбе диаграммалари .....	59
4.4	Электрод реакциялари кинетикасининг қонуниятлари.....	64
4.4.1	Диффузион кинетика. Концентрацион қутбланиш.....	66
4.4.2	Секинлашган разряд босқичи – ионизация .....	67
4.5	Электрокимёвий коррозия жараёнининг умумий тавсифи.....	70
4.6.	Водород қутбсизланиши билан борадиган коррозия жараёнлари..	74
4.7.	Кислород қутбсизланиши билан борадиган коррозия жараёнлари.....	76
4.8.	Металлар эришининг анод реакцияси.....	77
4.9.	Актив ҳолатда металларнинг эриш қонуниятлари .....	78
4.10.	Эритма компонентлари иштирокида борадиган металларнинг анодли эриши.....	80
4.11.	Коррозия диаграммалари.....	82
4.12.	Коррозия тезлигининг эритма таркибига боғлиқлиги .....	84
4.13.	Ўзаро контактда бўлган икки металнинг эриши .....	85
4.14.	Кислотали эритмаларда темирнинг эриши.....	87
4.15	Қотишмалар анод эришининг механизми.....	89
4.16.	Металларнинг эришида кузатиладиган аномал ҳодисалар.....	94
4.17.	Пассивлик .....	96
	Тўртинчи бобга тегишли услубий тавсиялар .....	100

## II ҚИСМ

### **КОРРОЗИЯ КЎРИНИШЛАРИ. КОНСТРУКТИВ ФАКТОР- ЛАРНИНГ МАШИНА ВА ЖИҲОЗЛАРДАГИ КОРРОЗИОН ЕМИРИЛИШНИНГ РИВОЖЛАНИШИГА ТАЪСИРИ**

#### **V боб. Коррозиянинг локал кўринишлари. Материаллар- нинг коррозияга қарши чидамлилигини синаш усуллари.**

5.1	Коррозиянинг локал кўринишлари.....	103
5.1.1.	Питтинг коррозияси.....	104
5.1.2.	Ярали коррозия .....	109
5.1.3.	Тирқиш коррозияси ва конструктив факторларнинг бу турдаги коррозияга таъсири.....	110
5.1.4.	Кристаллараро коррозия.....	111
5.1.5.	Селектив эриш.....	114
5.1.6.	Контакт коррозияси.....	114
5.2.	Металларнинг коррозион-механик емирилиши .....	116
5.2.1.	Металларнинг коррозион ёрилиши.....	117
5.2.2.	Металларнинг коррозион чарчаши.....	119
5.2.3.	Фреттинг-коррозия.....	120
5.2.4.	Кавитацион эрозия.....	120
5.3.	Материалларни коррозиянинг турли кўринишларига қарши чидамликка синаш усуллари.....	121
5.3.1.	Материалларни синашнинг асосий усуллари .....	121
5.3.2.	Материалларни коррозиянинг локал кўринишларига қарши	

	чидамликка синаш. . . . .	123
5.3.3.	Материалларнинг коррозия-механик таъсирларга чидамлигини синаш. . . . .	125
5.3.4.	Коррозия мониторинг . . . . .	126
	Бешинчи бобга тегишли услубий тавсиялар . . . . .	126

**VI боб. Табiiй ва технологик муҳитларда металллар  
коррозияси**

6.1.	Табiiй муҳитларда металллар коррозияси. . . . .	128
6.1.1.	Металларнинг атмосфера коррозияси. . . . .	128
6.1.2.	Металларнинг тупроқ шароитидаги коррозияси. . . . .	131
6.1.3.	Металларнинг денгиз коррозияси. . . . .	135
6.2.	Машина ва жиҳозларнинг коррозия емирилишига конструктив факторларнинг таъсири. . . . .	137
6.3.	Технологик муҳитлардаги металллар газ коррозиясининг баъзи ҳоллари . . . . .	141
6.3.1.	Пўлатнинг углеродсизланиши. . . . .	141
6.3.2.	Водород коррозияси. . . . .	142
6.3.3.	Карбонил коррозияси. . . . .	145
6.3.4.	Олтингугурт коррозияси. . . . .	147
6.3.5.	Хлор ва хлорли водород муҳитидаги коррозия. . . . .	149
	Олтинчи бобга тегишли услубий тавсиялар. . . . .	151

**III қисм.**

**МЕТАЛЛАР ВА ҚОТИШМАЛАРНИНГ КОРРОЗИОН  
ТАВСИФЛАРИ. НОМЕТАЛЛ МАТЕРИАЛЛАР ВА  
ҲИМОЯ ҚОПЛАМАЛАРИ.**

**VII боб. Металлар ва қотишмаларнинг коррозия  
тавсифлари.**

7.1.	Темир асосидаги конструкцион материаллар. . . . .	153
7.1.1.	Пўлатлар ва чўянлар. . . . .	156
7.1.2.	Коррозия бардошлиликни ошириш мақсадида пўлатларни легирлаш. . . . .	158
7.1.3.	Темир асосидаги иссиқликка чидамли қотишмалар. . . . .	166
7.1.4.	Коррозияга чидамли замонавий қотишмалар ва пўлатлар . . . . .	171
7.2.	Рангли металллар асосидаги конструкцион материаллар. . . . .	175
7.2.1.	Алюминий (Al) ва унинг қотишмалари. . . . .	175
7.2.2.	Магний (Mg) ва унинг қотишмалари. . . . .	178
7.2.3.	Мис (Cu) ва мисли қотишмалар. . . . .	178
7.2.4.	Никел (Ni) ва унинг қотишмалари. . . . .	182
7.2.5.	Қалай (Sn) ва унинг қотишмалари. . . . .	185
7.2.6.	Қўрғошин (Pb). . . . .	185
7.2.7.	Рух (Zn) ва унинг асосидаги қотишмалар. . . . .	188
7.2.8.	Кадмий. . . . .	189
7.2.9.	Титан ва унинг қотишмалари. . . . .	190
7.2.10	Тантал. . . . .	191

Еттинчи бобга тегишли услубий тавсиялар . . . . .	192
<b>VIII боб. Нометалл материаллар ва химоя қопламалари.</b>	
8.1. Ноорганик конструкцион материаллар. . . . .	195
8.1.1. Табiiй силикат материаллари. . . . .	197
8.1.2. Сунъий силикат материаллари. . . . .	197
8.1.3. Керамик материаллар. . . . .	200
8.1.4. Боғловчи материаллар. . . . .	202
8.2. Органик бирикмалар асосидаги коррозиябардош нометалл материаллар. . . . .	204
8.2.1. Полимер материаллар. . . . .	204
8.2.2. Оддий полимеризацион пластик массалар.	206
8.2.3. Мураккаб поликонденсацион пластик массалар.	209
8.2.4. Каучуклар ва резиналар	213
8.2.5. Графит материаллар.	217
Саккизинчи бобга тегишли услубий тавсиялар	218

#### IV қисм

### КИМЁ САНОАТИ МАШИНА ВА АППАРАТЛАРИНИ КОРРОЗИЯДАН ҲИМОЯЛАШ УСУЛЛАРИ

#### IX боб. Юпқа сирт қопламалари орқали металларни коррозидан химоялаш

9.1. Фосфатли ва оксидли химоя плёнкалари. . . . .	220
9.1.1. Фосфатлаш. . . . .	222
9.1.2. Оксидлаш. . . . .	223
9.1.3. Пассивлаш. . . . .	224
9.1.4. Анодлаш. . . . .	224
9.2. Галваник қопламалар. . . . .	225
9.2.1. Рухлаш ва кадмийлаш. . . . .	227
9.2.2. Қалай ва қўрғошин қопламалари. . . . .	228
9.2.3. Никелли қопламалар. . . . .	229
9.2.4. Хромлаш. . . . .	230
9.3. Иссиқликка чидамли химоя қопламалари. Термодиффузион қоплаш усули. . . . .	232
9.3.1. Қоплашнинг термодиффузион усули. . . . .	232
9.3.2. Иссиқлик усули ёки эритилган металлга ботириш усули. . . . .	235
9.3.3. Пуркаш орқали металл ётқизиш. . . . .	236
9.3.4. Термомеханикавий плакирлаш методи. . . . .	238
9.4. Лок-бўёқ химоя қопламалари. . . . .	238
IX бобга тегишли услубий тавсиялар. . . . .	242

#### X боб. Металларни коррозиядан химоя қилишнинг электрохимёвий усуллари.

10.1. Электрохимёвий химоя механизми. . . . .	244
10.1.1. Катодли химоя. . . . .	245
10.1.2. Протекторли химоя. . . . .	248
10.1.3. Анодли химоя. . . . .	249

10.1.4.	Кислородли химоя. . . . .	252
10.2.	Коррозияга қарши химоялашда муҳининг таркибини ўзгартириш усуллари. . . . .	253
10.2.1.	Коррозион муҳит агрессивлигини камайтириш усуллари . . . . .	254
10.2.2.	Ингибиторли химоя. . . . .	255
10.2.3.	Ноорганик ингибиторлар. . . . .	257
10.2.4.	Органик ингибиторлар. . . . .	260
	Х бобга тегишли услубий тавсиялар. . . . .	263
	Фойдаланилган адабиётлар рўйхати. . . . .	265
	Иловалар. . . . .	269