

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

**ГУЛИСТОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ФИЗИКА – МАТЕМАТИКА ФАКУЛЬТЕТИ**

“УМУМИЙ ФИЗИКА” КАФЕДРАСИ

Муродов Шавқиддин Сайфидиновичнинг

5440100 – Физика таълим йўналиши бўйича бакалавр даражасини олиш учун

“Металл плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилигини оширишни ўрганиш”

мавзусидаги

битирув малакавий иши

Раҳбар: Физика – математика фанлари

номзоди, доцент, Р.У. Элмуродов.

Гулистон – 2011

Мундарижа

Кириш	3
I Боб. Металларнинг, метал плёнка ва қопламаларнинг коррозия хусусиятларининг ўзгариши	
1.1 Металлар коррозияси ҳақида тушинчалар	6
1.2 Металлар коррозиясининг олдини олиш усуллари	11
1.3 Экспериментал қурилмаларда вакуум олиш ва сақлаш техникасининг элементлари	14
II Боб. Экспериментал қурилма ва тажриба ўтказиш методикасининг тавсифи	
2.1 Экспериментал қурилманинг тузилиши ва ишлаш принципи	21
2.2 Плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилигини ўзгаришини синаш қурилмаси ва экспериментал тадқиқод методикаси	26
2.3 Ўлчаш хатоликлари	31
III Боб. Металл плёнка ва қопламаларнинг коррозия хусусиятларининг ўзгариши	33
Хулоса	42
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати	44

Кириш

Мавзунинг долзарблиги: Қаттиқ жисмлар, хусусан металллар ва металл қотишмалари атроф-муҳит билан доимо таъсирлашиб туриши натижасида емирилишга (занглашга, коррозияга) дучор бўлиб туради. Бу емирилиш жараёни асосида химиявий таъсир, яъни металл сиртларининг ҳаво таркибидаги газ (кислород, водород ва бошқалар) молекулалари ҳамда бошқа моддалар билан бевосита таъсирлашишдан юзага келувчи оксидланиш-қайтарилиш реакцияларига киришиши сабаб бўлади. Металлларнинг ёки металлдан ясалган асбоб-ускуналарнинг, машина механизмларининг, алоқа ва телекоммуникация ускуналари қисмларининг, самолёт, ракета ва бошқа техникаларнинг атроф-муҳит таъсирида оксидланиш-қайтарилиш реакцияларига киришиши, уларнинг емирилишига, (занглашига, коррозияга учрашига) олиб келади ва ишдан чиқаради. Коррозия электрон асбоб-ускуналарига, радиотехника ва электротехника қурилмаларида, компьютер (ҳисоблаш) ва лазер техникаларига ҳам жуда катта зарар келтиради. Бундан ташқари, фан ва техниканинг фундаментал тадқиқотларида, медицина соҳасида қўлланиладиган сезгир, аниқ ишлаш даражаси юқори бўлган асбоблар ёки қурилмалар қисмлари жуда нозик ва нодир бўлиб, улар ҳам атроф-муҳит билан таъсирлашади ва коррозияга учрайди. Натижада, бу асбоб-ускуналарнинг сезгирлиги пасаяди, аниқ ишлаш қобилияти йўқолади ва улар ёрдамида ўлчанган катталиклар хато натижалар билан чиқади. Ҳозирги пайтда бир йилда жаҳон бўйича юз минг тонналаб металл ва металл қотишмалари коррозия натижасида ишдан чиқаяпти. Уларни эритиб, қайта фойдаланиш жуда катта ҳаражатларни келтириб чиқармоқда. Шунинг учун, металлларнинг коррозиясига қарши кураш, унинг олдини олиш ёки коррозия процессини иложи борича секинлаштириш долзарб масала бўлиб қолмоқда.

Ишнинг мақсади ва вазифаси: Металллар коррозиясини олдини олишнинг жуда кўп ва кенг қамровли химиявий, физикавий-химиявий усуллари мавжуд бўлиб, турли соҳаларда уларнинг турли усуллари қўлланиб келинаяпти. Бироқ, фан-техниканинг ривожланиши бу усуллардан ҳам самарали ва эффективли, арзон ва сифати юқори, юксак технологияга асосланган усуллар яратиш заруриятини талаб қилмоқда. Шу сабабли, кейинги йилларда металллар коррозиясига қарши курашнинг бир қанча янги усуллари ишлаб чиқилди. Хусусан, электроника ва микроэлектроника соҳасида қаттиқ жисмлар (металллар) сиртига коррозияга қарши ишлов беришнинг бир неча усули тадбиқ қилинди. Бу усулларга қаттиқ жисмга зарядланган зарраларни (электрон, ион) имплантация қилиш; қаттиқ жисм сиртига химояловчи металл плёнка ва қопламалар ўстириш, сўнгра турли хил ионлар билан,

хусусан газ ионлари билан ишлов бериш; бир пайтда қаттиқ жисм сиртига металл плёнка ва қопламалар ўстириш билан бирга, турли газ ионлари билан ишлов бериш (динамик ионли аралаштириш) кабилар киради. Қаттиқ жисмлар (металлар) сиртига коррозияга қарши ишлов беришнинг бу усуллари экологик жихатдан тоза, арзон, қулай ва техник жихатдан ҳам энергияни кам сарфлайдиган методлардир. Бундан ташқари, ишлов беришда қўлланиладиган зарядланган зарралар ва ионларни ҳосил қилиш, ҳамда улардан фойдаланиш катта қийинчиликлар туғдирмайди. [1]

Ушбу битирув малакавий ишда, вакуумда паст энергияли инерт газлар билан бир пайтда бомбардировка қилиш йўли ёрдамида металл плёнка ва қопламалар олиш (динамик ионли аралаштириш усули) ва уларнинг коррозияга чидамлилигини ўзгаришини ўрганиш мақсад қилиб қўйилган.

Шу билан бирга, бу ишда вакуум ҳосил қилиш техникасининг ишлаш принциплари яъни вакуум ҳосил қилиш, уни сақлаш ва ўлчаш методлари, плёнка ва қопламалар олиш учун ишлатиладиган замонавий металл буғлаткичларнинг ишлаш механизмларини ўрганиш, адабиётлардан шу мавзуга оид бўлган назарияларни ўрганиш ҳам мақсад қилиб қўйилган.

Ишдаги илмий янгиликлар: Бу битирув малакавий ишда вакуумда паст энергияли ионлар ёрдамида бир пайтда бомбардировка қилиш йўли билан металл плёнка ва қопламалар олиш, ҳамда уларнинг коррозияга чидамлилиги ўзгаришини ўрганиш бўйича ўтказилган экспериментлар натижалари ўрганилган.

Шу асосида, паст энергияли газ ионларини ҳосил қилиш, металл плёнка ва қопламалар олиш учун қурилган экспериментал қурилма, ҳамда коррозияга чидамлиликини синаш учун ишлатилган қурилмаларнинг тузилиши ва ишлаш методлари баён этилган. Эксперимент натижалари, ўлчаш хатоликлари адабиётларда эълон қилинган бошқа маълумотларга қиёслаш асосида баён қилинган.

Ишнинг амалий аҳамияти: Битирув малакавий ишида келтирилган паст энергияли газ ионлари билан аралаштириш (динамик ионли аралаштириш) усули ёрдамида қаттиқ жисмлар сиртига ишлов бериш технологияси жуда муҳим хусусиятларидан бири бўлган коррозияга чидамлиликини оширишда ёки коррозион жараёнларини секинлаштиришда катта аҳамиятга эга. Ҳозирги замон фан ва техникасининг ривожланиши ҳамма соҳаларда фойдаланиш (эксплуатация) учун адгезион (ёпишқоқлиги) мустаҳкам, ишқаланишга чидамли, коррозияга (занглашга) кам учрайдиган, ёруғликнинг ютиш коэффицентини кичик ва ёруғликни қайтариш коэффиценти катта бўлган, микроқаттиқлиги юқори, энергияни кам сарфлайдиган, арзон, енгил, ихчам ва қулай бўлган асбоб-ускуналар

яратишда қўлланиладиган материалларни топиш ва яратиш талаб қилинмоқда. Шунинг учун, ушбу вазифаларни амалга оширишда бу битирув ишда келтирилган методнинг ўз аҳамияти бор.

Битирув малакавий ишнинг тузилиши: Ушбу битирув малакавий иш кириш, учта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган бўлиб, 52 бет ёзма ҳажмда, 13 та расм ва графикларни ўз ичига олган.

Ишнинг биринчи бобида коррозия ҳодисаси ҳақида тушинчалар ва унинг олдини олиш ҳамда секинлаштириш усуллари ҳақидаги назарий маълумотлар билан бирга бошқа авторларнинг экспериментал тадқиқотларининг натижа ва хулосалари келтирилган.

Ишнинг иккинчи бобида эксперимент ўтказиш методикаси ва экспериментал қурилманинг тузилиши ҳамда ишлаш принциплари баён этилган. Шу билан бирга коррозия синавлар ўтказиш қурилмасининг тузилиши, ишлаш принципи ва тадқиқотлар методикаси, шунингдек, ўлчаш хатоликлари ҳам келтирилган.

Ишнинг учинчи бобида паст энергияли газ ионлар билан бомбардировка қилиш ёрдамида, бир пайтда ўстирилган металл плёнка ва қопламаларнинг коррозия хусусиятларининг ўзгариши ҳақида олинган эксперимент натижалари баён этилган.

I Боб. Металларнинг, металл плёнка ва қопламаларнинг коррозия хусусиятларининг ўзгариши.

1.1. Металлар коррозияси ҳақида тушинчалар.

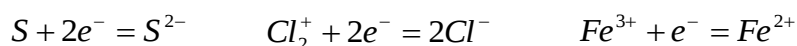
Металларни атроф-муҳитнинг химиявий таъсири натижасида емирилиши (занглаши) коррозия ҳодисаси деб юритилади. Металлар коррозияси улар қандай муҳитда туришига қараб, атмосфера коррозияси, контакт (бир-бирига тегиб туриш) коррозияси, газлар таъсиридаги коррозия, суюқликлар таъсиридаги (электрохимиявий) коррозия, иссиқлик таъсиридаги коррозия каби турларга бўлинади. Металлар коррозиясининг юз беришига сабаб, уларнинг атроф-муҳитдаги моддалар билан оксидланиш-қайтариш реакциясига киришишидир. Металларнинг оксидланиш реакциялари металллар билан таъсирлашувчи моддаларнинг атомига, молекуласига ёки ионига ўз электронларини бериш жараёнидан иборат бўлади:

Масалан



Металларнинг қайтарилиш реакциялари металллар билан таъсирлашуви моддаларнинг атомидан, молекуласидан ёки ионидан электронларни бириктириб олиш (ажратиб олиш) жараёнидан иборат бўлади:

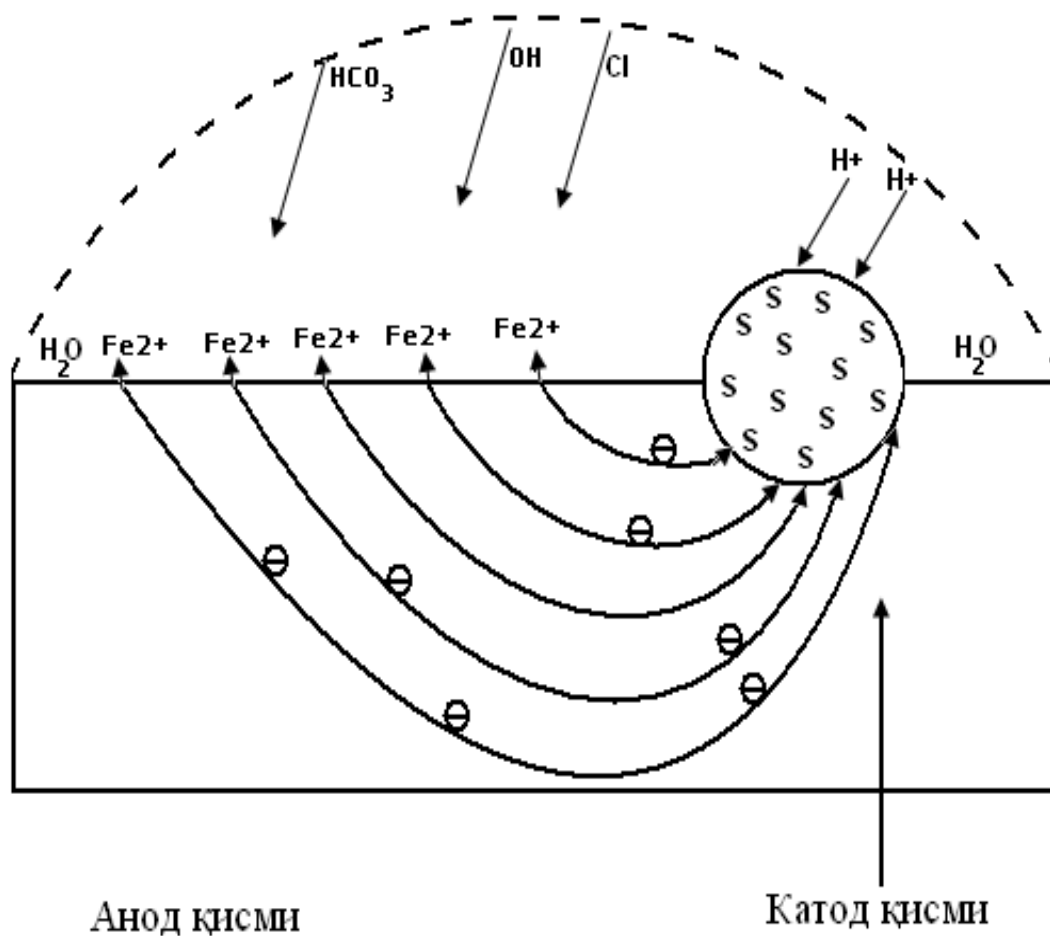
Масалан



Оксидланиш-қайтарилиш реакцияси натижасида металллар сиртининг алоҳида бир қисми (локал) ёки бутун сирти ионлашган ҳолатга ўтади. Бу процесс натижасида металллар бошқа моддалар (элементлар) таъсирида эрийди ва металлларнинг занглаши (коррозияси) юзага келади.

Металларнинг коррозияланиш процессини уларни суюқликларга (электролитларга) туширилганда рўй берадиган коррозия билан тушинтириш қулай бўлади. Бунда коррозия унча катта бўлмаган алоҳида қисмлардаги (локал) ёки жойлардаги гальваник элемент жуфтлиги (анод ва катод) мисолида қаралади. Металл элементлар (анод ёки катод) сиртида, турлича потенциалга (потенциаллар фарқи) эга бўлган қисмлар (локал) юзага келади. Потенциаллар фарқи бирор бир физикавий ёки химиявий процесс натижасида ҳосил бўлади. Масалан, металлга механик ишлов бериш натижасида ҳам потенциаллар фарқи юзага келиши мумкин. Металл структурасининг (тузилишининг) ўзгариши ёки

бузилиши, дефект ҳосил бўлиши, дислокация ёки бошқа сабабларга кўра ҳам, потенциал ўзгариши мумкин. Химиявий факторлар, масалан металлларнинг бирор жойида составини ўзгариши, карбидларни ҳосил қилиш, металлга бошқа бир металл заррасининг қўшилиши, металлларнинг ўзаро механик контакти ёки оксидланиш ҳам потенциални ўзгаришига сабаб бўлиб, коррозиянинг юз бериш процессини ривожлантиради. Коррозиянинг гальваник жуфтликда юз бериш сабабларининг схемаси 1.1-расмда келтирилган [2]. Бунда темир сиртига киритилган графитнинг таъсири ифодаланган. Темир ионлари электролит (суюқлик) эритмасига ўтади. Электролит эритмаси сифатида одатдаги “техник” сув ишлатилган бўлиб, унинг таркибида H^+ , OH^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^+ , Cl^- ионлари ҳамда вақт мавжуд бўлади. Жараён давомида электронлар темирда қолиб, уни манфий зарядланиб туришига сабаб бўлади. Бунда ҳосил бўлган потенциал натрий ёки кальций ионларининг разрядланиши учун етарли бўлмайди, лекин водород иони, агар эритманинг рН миқдори кам бўлса, темирда разрядланиши мумкин. Бу ҳолда темир сиртида икки қаватли электр заряди қатлами юзага келади ва водород иони тортишиш кучини енгиб ўта олмайди. Электронлар оқиши (анод қисмдан) графитга ўтади (катод қисмга), натижада графитда ҳам манфий заряд пайдо бўлади. Графит сиртида водород ионларининг разрядланиши учун тўсиқ мавжуд эмас ва шу сабабли унда водород ажрайди. Водород ионларининг разрядланиши (электронларнинг боғланиши) ионизацияни осонлаштиради. Графит ҳисобига коррозиянинг асосий процесси тезлашади.

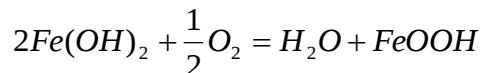
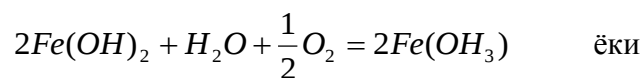


1.1-рasm. Темірнің электрхимиявий коррозия схемаси [2]

Агар коррозия кислородли атмосферада юз бераётган бўлса, электронлар кислородга бирикади:



OH^- ионлари темир ионлари билан бирикиб, $Fe(OH)_2$ ҳосил қилади, оксидланиш натижасида $Fe(OH)_3$ га айланади:

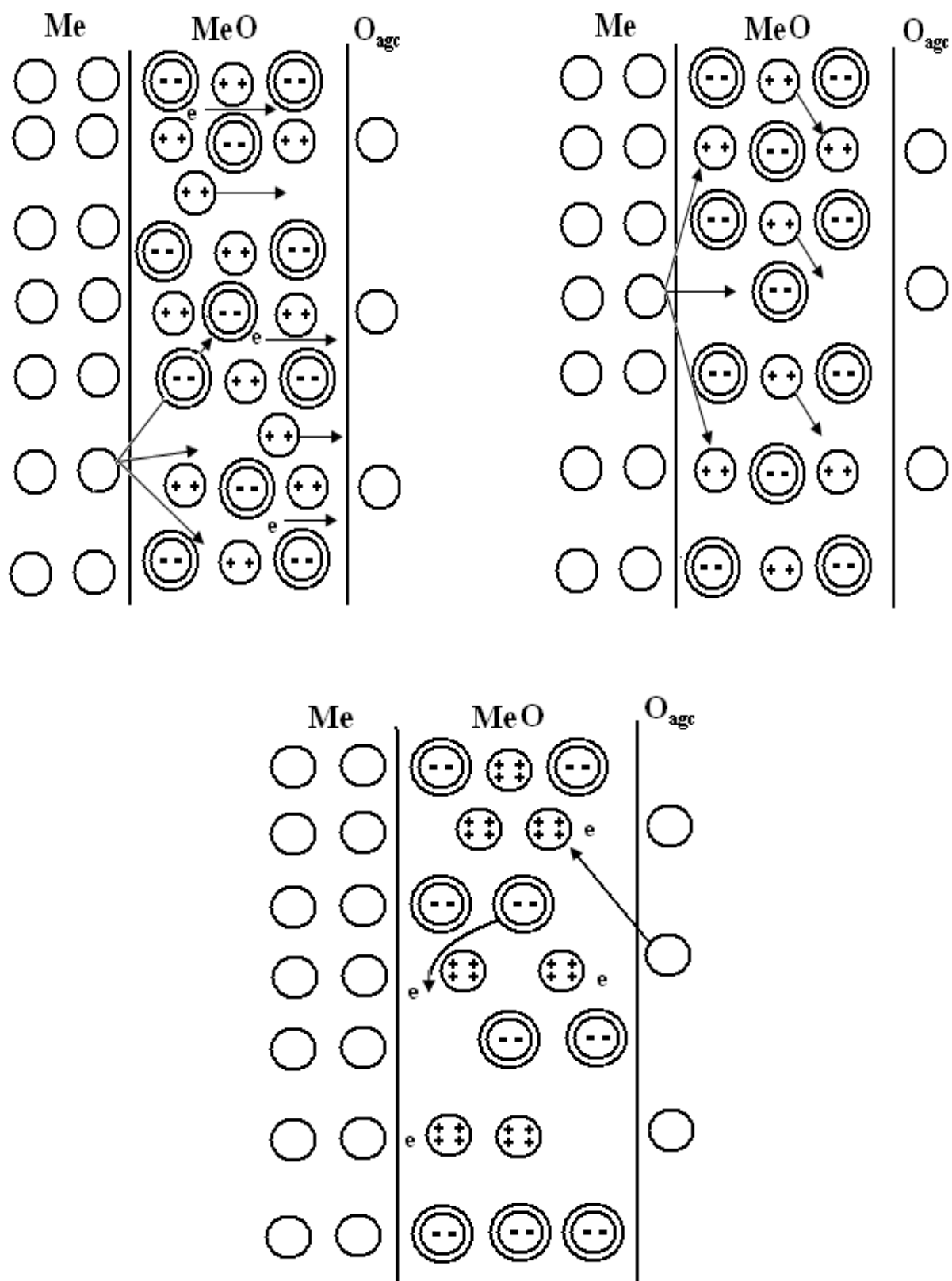


Ҳосил бўлган маҳсулот қўнғир тусли занг кўринишида бўлади.

Агар металл ҳимояловчи қоплама билан қопланган бўлса-ю, лекин металл коррозияси давом этаверса, демак, кислород атомининг металл сиртига диффузияси рўй бераётган бўлади. Бунда диффузия қуйдаги икки механизмлардан бири орқали амалга ошади:

1. Ионлар ҳаракати кристалл панжаранинг тугунлари орасида рўй берганда;
2. Ионлар ҳаракати кристалл панжаранинг бўш тугунларида рўй берганда;

Бу механизмларнинг амалга ошиш схемаси 1.2-расмда келтирилган.[3] Коррозияни ривожлантирувчи факторлардан бири муҳитнинг температураси ҳисобланади. Температура ортиши билан муҳитнинг диффузия процесси кучаяди, натижада металлларнинг оксидланиши ҳам тезлашади, яъни коррозия юз бериш процесси кучаяди.



1.2- расм. Диффузия натижасида металлнинг оксидланиш схемаси.[3]

1.2. Металлар коррозиясининг олдини олиш усуллари.

Металлар коррозияси унинг сиртида бошланиб, сўнгра бутун ҳажм бўйича тарқалади. Шунинг учун, металлар сирти ва сирт юзасига яқин бўлган соҳаларда рўй берадиган оксидланиш- қайтарилиш реакцияси процессларини тўхтатиш ёки секинлаштириш асосий мақсад ҳисобланади.[4]

Металлар ёки улардан ҳосил қилинган қаттиқ қотишмаларнинг кристалл тузилиши, уларнинг сирти ҳолатига, ҳамда ташқи атроф-муҳитнинг агрессивлигига қараб, коррозия ва коррозион емирилишлар (занглашлар) характери турлича бўлади. Шунинг учун, металлар коррозиясининг олдини олиш ёки ҳеч бўлмаганда бу процессни секинлаштириш усуллари ва методлари ҳам, коррозия ҳарактерига қараб, турлича бўлади. Бу усулларга химиявий йўл билан металлар сиртида ҳимоя қопламалари ҳосил қилиш, металлар сиртига буғлатиш йўли билан металлардан ҳимоя қопламалари ўстириш, металлар сиртига газ ёки металл ионлари билан бомбардировка қилиш, газ ёки металл ионларини металларга имплантация қилиш, динамик ионли аралаштириш ва бошқа усуллар кирази.

Металларни коррозиядан сақлашнинг физикавий усулларида бўлган газ ионлари билан ишлов бериш, металл сиртига буғлатиш йўли билан металл плёнка ва қопламалар ўстириш жараёнида бир пайтда газ ионлари ёрдамида бомбардировка қилиш ва ионларни имплантация қилиш усуллари энг янги усуллардан ҳисобланади.[5]

Бу усулларда, бомбардировка қилаётган газ ионларининг энергиясини, ионлар ток зичлигини, ионлар дозасини, плёнка ва қопламалар ўстиришда ишлатиладиган металлар материаллини буғлатиш тезлигини ва бошқа шу каби параметрларни кенг диапазонда ўзгартириш имконияти мавжудлиги, экспериментал тадқиқодлар олиб бориш соҳасини жуда кенгайтиради. Бунга бир қанча мисолларни келтириш мумкин. Масалан, титан ва никел материалларини оксидланишига, гелий ва аргон газ ионлари билан ишлов беришнинг таъсири тадқиқот қилинган.[5]

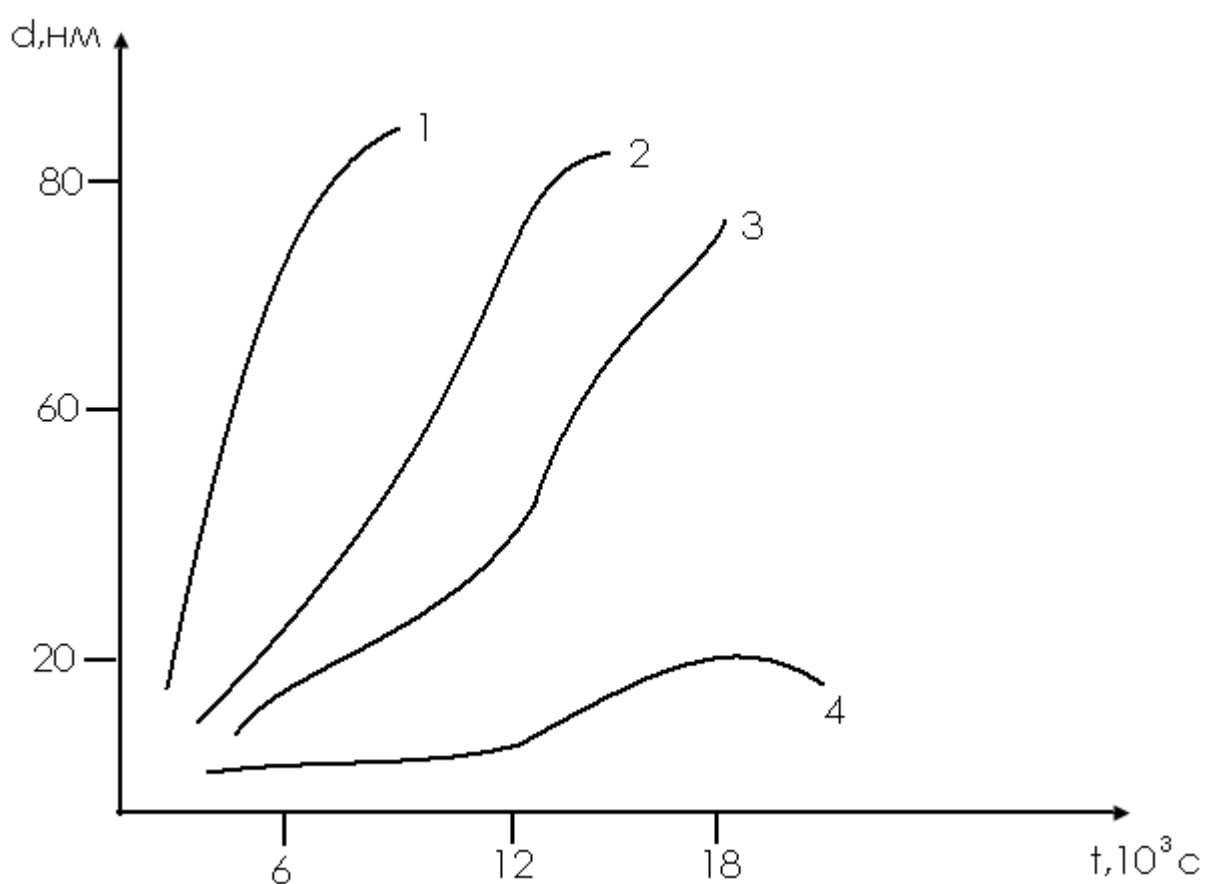
Дозаси $\Phi=1 \cdot 10^{16}$ ион/см² бўлган гелий газининг ионлари билан бомбардировка қилинган никелда оксидланиш 5 марта секинлашган. Энергияси $E=20$ кэВ, дозаси $\Phi=10^{17}$ ион/см² бўлган гелий ионлари билан нурлантирилган алюминий, зангламас пўлат ва церийларнинг атмосфера коррозияси секинлашуви кузатилган. Худди шунингдек, гелий, неон, алюминий ва хром ионлари билан бомбардировка қилинган миснинг атмосферадаги коррозияси камайган[6].

Ионлар билан ишлов бериш натижасида металлнинг атмосферавий ва электрохимиявий коррозияга чидамлилиги ошиши, юқори температурада оксидланиш тезлигини пасайиши, ҳамда металл сиртининг комплекс механик хоссаларининг ўзгариши [5-7] кузатилган. Ti, Cu, Cr, Fe, Zr, каби металл тагликларга Ni^+ , Au^+ , Ag^+ , Nb^+ металл ионлари имплантация қилинганда [6], тагликларнинг коррозияга чидамлилиги ошиши баён қилинган. Авторлар, ионларни металлларга имплантация қилиш процессида радиацион дефектлар юзага келиши, бу эса ўз навбатида металл сиртини мустахкамланишига яъни металл сиртида аралашиб қотиши натижасида, тагликнинг қалинлиги бўйича ички қисмига, коррозияни стимуллаштирувчиларни диффузиясига қаршилик кўрсатувчи, сиртий барьерлар (тўсиклар) сабаб бўлади деб фараз қиладилар. Иккинчи бир фараз – бу имплантация мусбат ионлар билан амалга оширилганда, коррозия мустахкамликнинг ошишида асосий ролни радиацион дефектлар ўйнамайди, балки таглик сиртининг пассивлиги камайиши сабаб бўлади деб тушинтирилади.

Коррозияга чидамлиликини оширишда, металл сиртига плёнка ва қопламалар ўстириш ва уларни ионлар билан бомбардировка қилиш (ионли аралаштириш) амалий жихатдан жуда муҳим таклиф бўлиб чиқди [7]. Бунда ионли аралаштириш йўли билан, № 52100-маркали пўлатнинг сиртида Fe-Cr темир ва хром қотишма олинган бўлиб, уларда электрохимиявий ва Оже-спектроскопик тадқиқотлар ўтказилган. Буғлатиш ёрдамида, пўлат сиртида 300 ва 500 $\text{\AA}$ қалинликда олинган хром плёнкалари, He^+ (ксенеон) ва Kr^+ (криптон) ионлари, ҳамда хромнинг Cr^+ ўз ионлари билан $3 \cdot 10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-2}$ дозада бомбардировка қилинган. Бу плёнкаларни алоҳида қисмлари (локал) коррозияга чидамлилиги электрохимиявий усул ёрдамида ўрганилганда, уларнинг локал типдаги коррозияга чидамлилиги ҳамма ҳолларда, соф пўлатни ўзи бўлган ҳоллардагига қараганда анча юқори бўлган. Оже-спектроскопик тадқиқотлар натижасида, хром ионларининг пўлатга кириб қолганлиги ва аралашма ҳосил қилганлиги аниқланган.[8]

Ионли аралаштириш ёрдамида, бир қанча металлларнинг юқори температураси оксидланишларга қарши чидамлилигини ошириш мумкин. Масалан, темир ва никел материалларидан ясалган тагликларга қўрғошин (қалинлиги 60 нм) ва борнинг (қалинлиги 140 нм) плёнкалари ўстирилиб, дозаси $5 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, энергияси $E = 100 \text{ кэВ}$ бўлган He^+ (ксенеон) ва N^+ (неон) ионлари билан бомбардировка қилинган. Юқори температурада оксидланиш гравиметрик усул билан ҳавода ўтказилган. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, ионли аралаштириш натижасида бундай қотишмаларнинг юқори температурада оксидланишга чидамлилиги кескин ошган [9].

Турли хил суюқлик ва эритмаларда металлнинг коррозияга чидамлилигини ўзгариши ҳам ўрганилган. Масалан, мис материалыни вакуумда қиздириш йўли билан буғлатиб, NaCl ва пўлатдан ясалган тагликларда қалинлиги 80-150 нм бўлган плёнкалари ўстирилган ва Ag^+ (аргон) N^+ (азот) ҳамда H^+ (водород) газ ионлари билан бомбардировка қилинган. Коррозияга чидамлилик резистив ва потенциалли – динамик усуллар ёрдамида ўрганилган. Тажрибаларда актив муҳит сифатида, сувнинг H_2SO_4 ва KOH эритмаларидан фойдаланилган. 1.3-расмда коррозиядан емирилиш вақтининг мис плёнкалари қалинлигига боғлиқлиги кўрсатилган.[9]



1.3-расм. Коррозиядан емирилиш вақтининг мис плёнкалар қалинлигига боғлиқлиги.[9]

1. Мис плёнкаларга водород ионлари имплантация қилинганда, $E=50\text{кэВ}$, $\Phi = 5 \cdot 10^{19}$ ион·м⁻² ;
2. Соф плёнка бўлганда;
3. Азот ионлари имплантация қилинганда, $E = 100\text{кэВ}$, $\Phi=10^{19}$ ион·м⁻²;

4. Аргон ионлари имплантация қилинганда, $E = 100\text{кэВ}$, $\Phi = 3 \cdot 10^{19}\text{ион} \cdot \text{м}^{-2}$;

Расмдан кўринадики, аргон ва азот газларининг ионларини имплантация қилиш натижасида мис плёнкаларнинг коррозиядан емирилиш тезлиги

камаяди, бироқ водород ионларининг имплантацияси бу плёнкаларнинг коррозиядан емирилиш тезлигини оширади. Мис плёнкаларнинг аргон ва азот газлари ионлари таъсирида (аралашиш натижасида) коррозияга чидамлилигининг ошишига сабаб, плёнкаларнинг сиртига яқин қатламларда ионлар аралашиши структуравий ўзгаришларга олиб келади ва натижада плёнкалар сиртида оксидланишга чидамли бўлган қатламлар ҳосил бўлишидир.[8].

Умуман, коррозия (занглаш, емирилиш) процессини олдини олиш ёки бу процессни секинлаштириш жуда кўп факторларга боғлиқ бўлиб, улар устида тадқиқодлар олиб боришни талаб қилади.

1.3. Экспериментал қурилмаларда вакуум олиш ва сақлаш техникасининг элементлари

Атмосфера ҳавоси таркибида жуда кўп газ ва бошқа моддаларнинг молекулалари мавжуд бўлиб, улар диффузияланиш натижасида қаттиқ ва суюқ моддаларга ютилиб кетиши ёки бошқа газлар билан аралашиб, уларга ҳар хил таъсирлар кўрсатади. Бу таъсирлар, кўпгина ҳолларда ишлаб чиқариладиган асбоб – ускуналарни тайёрлаш ва амалда қўллаш жараёнларида ёмон ишлашига, тез бузилишига, нотўғри ишлашига, физикавий процессларни ўрганишда ва тушинтиришда халақит бериши ва бошқа сифатларига салбий таъсир кўрсатади. Бу таъсирларни йўқотиш ёки жуда ҳам камайтириш учун атмосфера ҳавоси сўриб олинадиган (вакуум ҳосил қилинадиган) махсус қурилмалардан яъни идишлардан (камералардан) фойдаланиш зарур бўлади. Шу мақсадда, бирор идишнинг ҳажмида ҳавони сўриб олиб, паст босимлар (юқори вакуум) ҳосил қилишнинг ўзига хос усулларида ва шунга мувофиқ, махсус қурилма ва аппаратуралардан фойдаланишга асосланилади. Ҳозирги вақтга келиб жуда ҳам юқори вакуумда содир бўладиган физикавий ва техникавий процессларни ўрганиш ва уларни амалиётга тадбиқ қилиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шунинг учун, паст босимларни (юқори вакуумларни) ҳосил қилиш, ўлчаш ва сақлаб туриш технологиялари ҳам зарур бўлади. Ҳозирги пайтда вакуум олиш, ўлчаш ва сақлаш технологиялари жуда юқори савияга эришган бўлиб, фан-техника ривожланишига ўз ҳиссасини қўшмоқда.[10]

Ҳозирги замон вакуум олиш (ҳайдаш, сўриш ёки шимиб олиш) қурилмалари воситасида 10^{-13} мм. симоб устуни босимида яқин босимларга эришилган. Бундай босимда молекулаларнинг зичлиги (ҳажм бирлигидаги молекулалар сони) тахминан $n \approx 3 \cdot 10^{19} \cdot 10^{-13} / 760 \approx 4000 \text{ см}^{-3}$ га тенг бўлади.

Бундай паст босимни бутунлай шишадан қилинган ва девор сиртидаги ютилган газлар узок муддат қиздириш натижасида йўқотилган кичик жисмдагина ҳосил қилиш мумкин. Бироқ шишадан ҳам газларни кўпроқ ютишга мойил бўлган катта металл аппаратūra ҳажмларида ҳам 10^{-10} - 10^{-11} мм симоб устуни босимида мос келувчи юқори вакуум ҳосил қилиш мумкин.

Экспериментал қурилмаларда вакуум ҳосил қилиш босқичма-босқич амалга оширилади. Бу босқичлар турли хил сўрувчи ва шимиб олувчи (сорбцион, сорбент) насослар ва агрегатлар ёрдамида амалга оширилади. Вакуум ҳосил қилувчи насос ва агрегатларнинг учта асосий гуруҳи мавжуд бўлиб, улар қуйидагилардир:

1. Механик насослар ва агрегатлар;
2. Бўғ оқимли насослар ва агрегатлар;

3. Шимиб олувчи (сорбцион) насослар ва агрегатлар;

Механик насослар ва агрегатлар ёрдамида курилмаларнинг ички камераларида 760 мм. симоб устунидан (ёғ билан зичланган ва ички роторли насослар) 10^{-10} мм. симоб устунигача (турбо-молекуляр насослар) бўлган ораликдаги паст босимларни (вакуумни) олиш мумкин. Механик насослар ҳар қандай вакуум шароитида ишлайдиган курилмаларнинг ажралмас қисми бўлиб ҳисобланади.

Буг оқимли насослар ва агрегатлар ёрдамида 10^{-3} мм. симоб устунидан (бустерли насослар ва ёғ буғига ишловчи агрегатлар) 10^{-12} мм. симоб устунигача бўлган паст босимларни олиш мумкин.

Шимиб олувчи (сорбцион, сорбент) насослар ва агрегатлар ёрдамида 10^{-2} мм. симоб устунидан (циолит насослар ва агрегатлар) 10^{-13} мм. симоб устунигача (магниторазрядли насослар ва агрегатлар, буғлантирувчи ионли-геттерли ҳамда орбитронли насослар) бўлган паст босимли вакуумни олиш мумкин [11].

Насослар.

Бирор идиш ҳажмидаги газни сўриб чиқариш, яъни бу идишдаги газ молекулаларини ташқарига чиқариб ташлашга мўлжалланган ҳар қандай қурилма насос деб аталади. Вакуум насоси газни идишдан сўриб олиб, насос оғзидан ташқарига чиқариб ташлаши ва бунда тескари босим деб аталадиган ташқаридаги босимни енгиши керак. Газни бирданига, бир босқичда 10^{-5} - 10^{-6} мм. симоб устуни босими тартибида ҳайдаб чиқарадиган ва ҳайдалган газни атмосферага, яъни 760 мм. симоб устунига тенг тескари босимга чиқариб ташлайдиган насослар мавжуд эмас. Шунинг учун, етарлича паст тескари босимлар ҳосил қилиш учун бир неча босқичли сийраклаштирувчи насослар ишлатилади. Бундай насослар “форвакуум” насослар деб аталади. Бу хил насосларни кераклича юқори вакуум ҳосил қилишга мўлжалланган насослар – юқори вакуум насослар билан кетма-кет уланади.

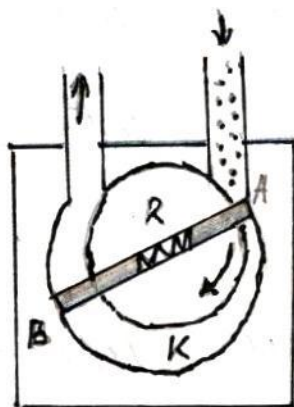
Форвакуум насослар.

Форвакуум насослар бевосита атмосфера босимига қарши ишлайди. Бу насосларнинг мавжуд бўлган турларидан энг кўп ишлатиладиганлари турли конструкциядаги ротацион мойли насослардир. Бундай насослардан бирининг тузилиши ва унинг ишлаш принципи схематик равишда 1.4-расмда кўрсатилган. Мой билан мойланадиган цилиндр R (ротор) кириш ва чиқиш патрубкालари бўлган цилиндрсимон ғилофда (К) айланади. Ғилоф ва роторнинг марказлари устма-уст тушмайди. Ротор шундай айланадики, у ҳамма вақт ғилофнинг ички сиртининг юқори қисмига зич тегади. Роторнинг диаметриал текислигида А ва В ясси пластинка-куракчалар жойлаштирилган бўлиб, улар ораларига

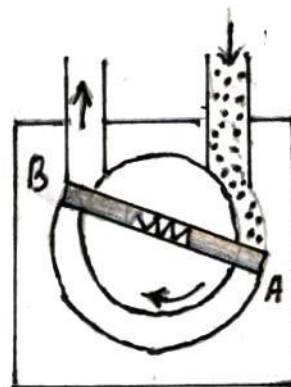
жойлаштирилган пуржина ёрдамида ғилофнинг ички сиртига зич сиқилади ва унинг ҳажмини икки ёки уч қисмга бўлади, нечта қисмга бўлиши роторнинг айланаётгандаги вазиятига боғлиқ бўлади. Ротор бир марта тўла айланганда, ҳаво цилиндр ичидаги ўрок кўринишидаги фазодан, расмда кўрсатилганидек, куракчалар ёрдамида икки марта чиқариб юборилади.

Юқори вакуум ҳосил қилувчи насослар.

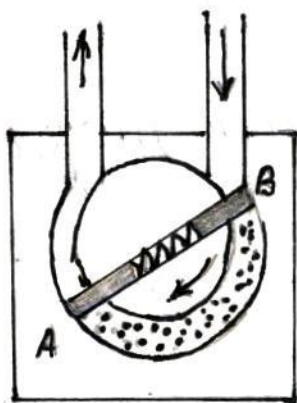
Механикавий форвакуум насослардан фарқли равишда, ҳозирги замон юқори вакуум ҳосил қиладиган насосларда ҳеч қандай ҳаракатланувчи



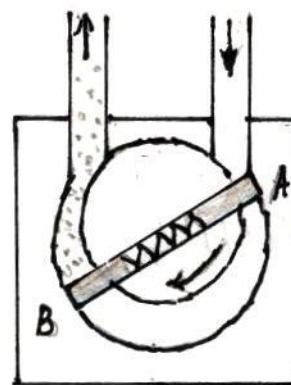
a)



б)



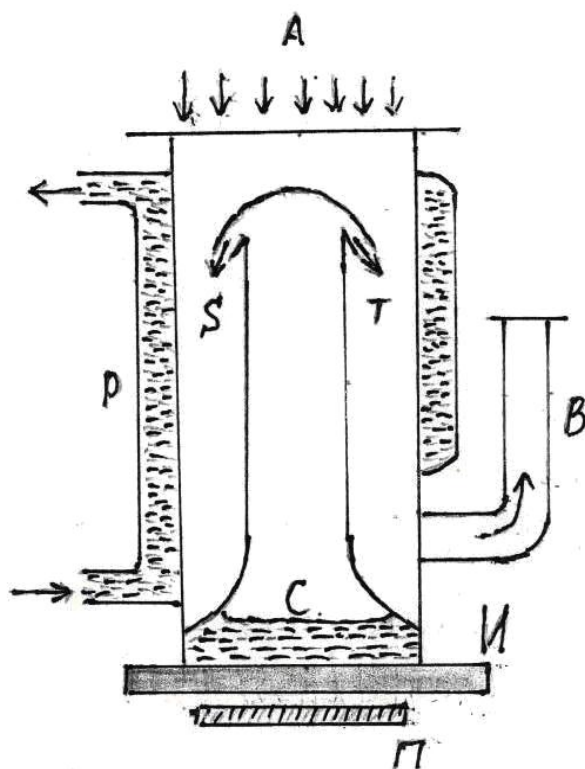
в)



2)

1.4 – расм. Форвакуум насосларнинг схематик тузилиши.

механикавий қисмлар бўлмайди. Юқори вакуум ҳосил қиладиган насосларнинг ишлаши сўрилаётган газ молекулаларининг бирор суюқлик, масалан симоб ёки мой буғларининг оқимиغا илашишига асосланган. Шунинг учун бундай насослар буғ-жараёнли (оқимли) насослар ёки диффузион насослар деб аталади, чунки уларнинг ишлаши сўрилаётган газ зарраларининг буғ оқимиغا диффузияси билан боғлиқдир. Ҳозирги вақтда энг кўп тарқалган буғ-мой диффузион насоснинг тузилиши ва ишлаш принципи 1.5-расмда кўрсатилган. Одатда металлдан қилинадиган U шаклдаги идишнинг тубида буғланувчи С суюқлик бўлади. Бу суюқлик П электр қизитгич ёрдамида буғлантирилади. Сўриладиган ҳажм насоснинг юқори А қисмига бирлаштирилади, унинг В чиқиш патрубкаи форвакуум насоснинг кириш трубкасига уланади. Форвакуум насос ёрдамида диффузион насосда ва сўрилаётган идиш ҳажмида керакли босим (10^{-2} - 10^{-3} мм.симоб устуни) вужудга келтирилгандан кейин, диффузион насоснинг қиздиргичи ишга туширилиб, насосдаги суюқлик (техникавий мой ёки симоб) қиздирилиб, интенсив буғлантирилади. Буғ суюқлик устида жойлаштирилган Т труба бўйлаб кўтарила бошлайди ва Т трубанинг S сопласидан катта тезликда отилиб чиқади, сўнггра идишнинг деворларида конденсацияланади (буғ ҳолатдан яна суюқ ҳолатга айланади) ва идишнинг тубига оқиб тушади. Идишнинг деворлари Р ғилоф билан ўралган бўлиб, бу ғилофдан сув оқиб туради ва бу сув насосни совитиб туради, ҳамда мой буғини конденсацияланишига хизмат қилади. Насоснинг қиздиргич ва совитгичи шундай қилиб, буғнинг узлуксиз циркуляциясини (мой-буғ ва буғ-мой айланишини) таъминлаб туради. Сўрилаётган газ молекулалари А соҳадан келиб, соплодан отилиб чиқаётган буғ оқимиغا илашади ва насоснинг пастки қисмига тушади, бу ерда молекулалар В патрубکاга тушиб, форвакуум насос билан атмосферага чиқариб ташланади. Буғ оқимнинг асосий вазифаси шуки, у ўзининг қисман импульсини (ҳаракат миқдорини) сўриб олинаётган газ молекулаларига бериб, уларни пастга, чиқиш трубкасига йўналтиради.



1.5-расм. Буғ-оқимли диффузион насосининг тузилиши ва ишлаш схемаси.

Диффузион насоснинг А қисми билан бирлашган идиш ҳажмидан газ молекулаларини ҳайдаш (сўриш) мумкин бўлган чегаравий босим асосан, соплодан юқоридаги совитувчи сувнинг температурасидаги насосни ишчи суюқлик буғларининг эластиклиги билан белгиланади. Шунинг учун, юқори вакуум ҳосил қилувчи диффузион насосларнинг ишчи суюқликлари сифатида шундай навли мойлар танланадики, хона температурасида бу мой буғларининг эластиклиги кам бўлади.[11].

II. Боб Экспериментал қурилма ва тажрибалар ўтказиш методикасининг тавсифи.

2.1. Экспериментал қурилманинг тузилиши ва ишлаш принципи.

Металл плёнка ва қопламалар ҳосил қилиш учун махсус тажриба қурилмасидан фойдаланилади. Бундай қурилма бир қанча талабларга жавоб берадиган бўлиши керак. Биринчидан, қурилманинг ичида жуда паст босим (юқори вакуум) шароити юзага келтирилиши ва тажрибалар ўтказиш вақтида бу вакуум сақланиб турилиши лозим. Иккинчидан, қурилманинг ишчи камаерасида қолдиқ газлар состави доимий назоратда бўлиши керак. Учинчидан, металллар ёки металл плёнка ва қопламаларни газ ионлари билан бомбардировка қилиш мосламаси-ионлар манбаи бўлиши лозим. Тўртинчидан, ҳосил қилинган вакуумни назорат қилувчи, газ ионлари ҳосил қилган токни, ишчи камерада қолдиқ газ составини қайд қилиб боровчи юқори сезгирликдаги ўлчаш асбоблари бўлиши керак.[12].

Шу талабларга жавоб берадиган тажриба ўтказиш қурилмаси қуйдаги асосий қисмлардан ташкил топган:

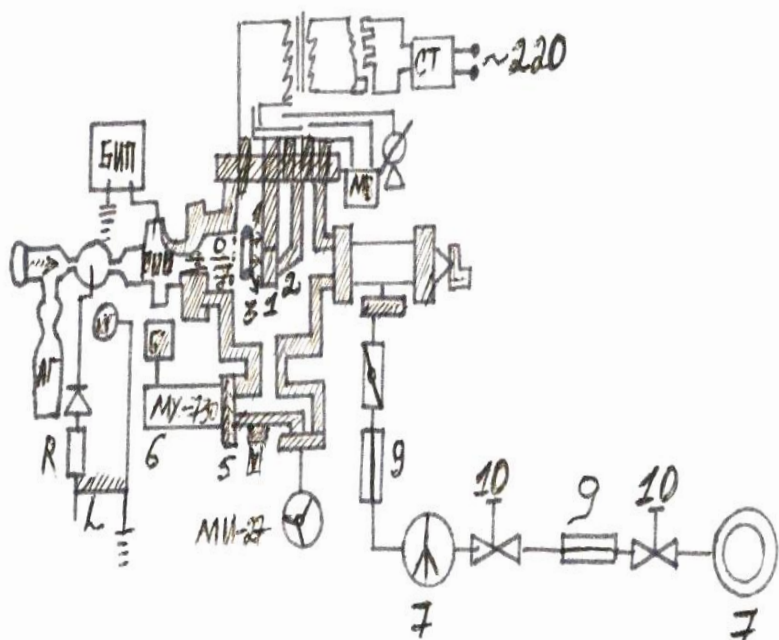
- 1) Тажрибалар ўтказиладиган ишчи камера;
- 2) Вакуум ҳосил қилиш системаси;
- 3) Ионлар манбаи;
- 4) Металлларнинг буғлатиш системаси;
- 5) Ишчи камерадаги қолдиқ газ составини назорат қилиб боровчи

масс-спектрометр.

Тажрибалар ўтказиш қурилмасининг тузилиши 2.1-расмда келтирилган. Қурилманинг тузилиши ва унинг ичида жойлашган қисмларнинг вазифалари қуйидагича:

а) Тажрибалар ўтказиш камераси:

Камера зангламас металлдан ясалган, ҳажм 4 литр бўлиб, унда бир неча фланс (қопқоқ) ўрнатилади. Бу қопқоқлар камера билан вакуум ҳосил қилиш системасини, газ ион манбаини, масс-спектрометр қайд қилгичини



2.1.-расм. Эксперимент ўтказиш камераси ва қурилманинг умумий кўриниши схемаси:

1. Таглик. 2. Термопара. 3. Буглаткич. 4. Ион манбаи
5. МИ-27 манометрик лампа. 6. МХ-7304 масс-спектрометр.
7. Вакуум насослари.

(анализаторни), МИ-27 манометрик лампаларни бирлаштириб туради. Қопқоқлардан бирида керамик мосламалар ёрдамида тагликни, термапараларни ва термик буғлатгични тутиб турувчи махсус мосламалар ўрнатилган. Экспериментал камера билан биргаликда умумий кўриниши 2.1-расмда келтирилган.

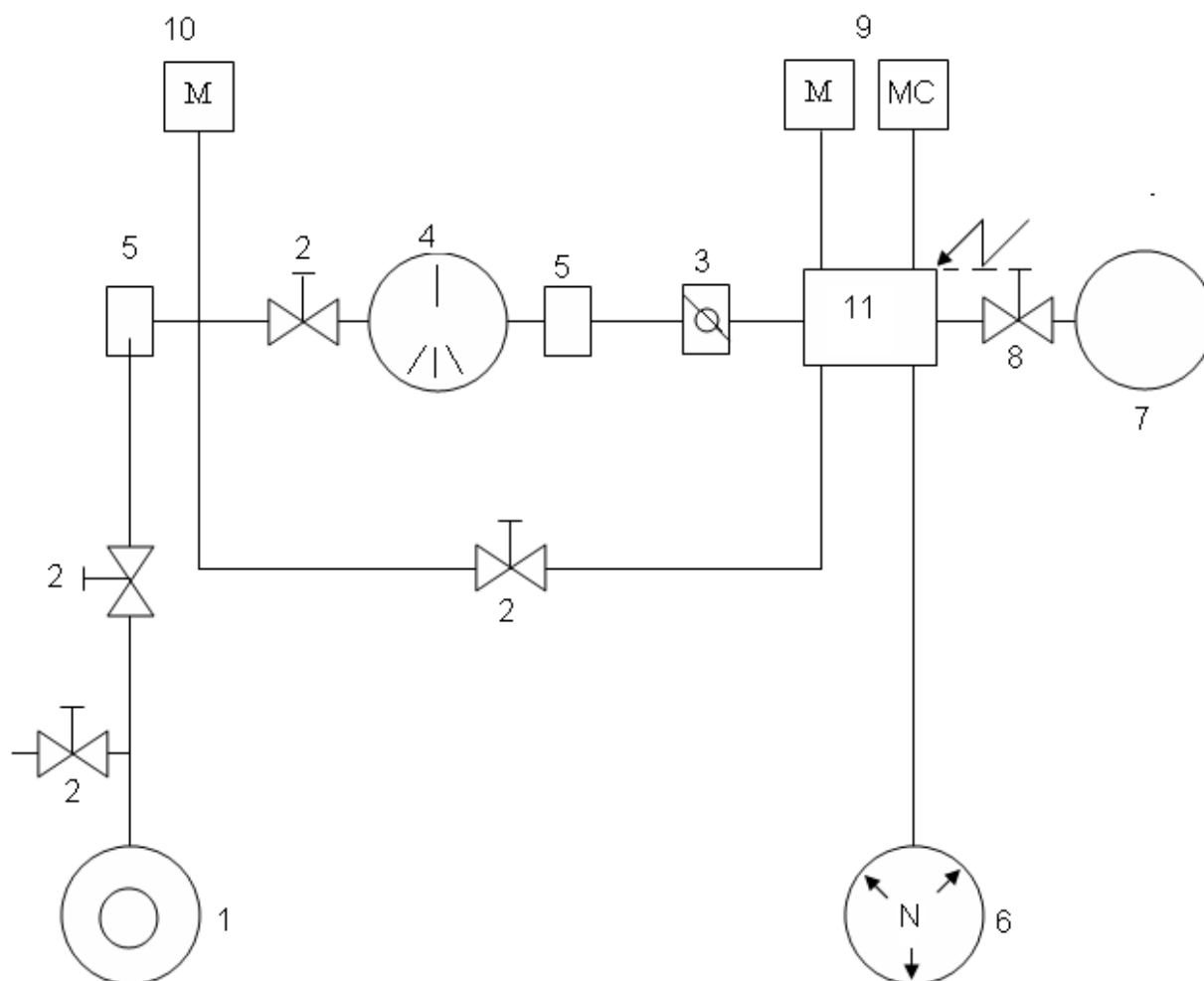
б) Қурилмада вакуум ҳосил қилиш системаси:

Вакуум системаси 2.2-расмда келтирилган. Вакуум системасини ВН-461 механик форвакуум насоси (1), ВА- 0,5- 4 юқори вакуум ҳосил қилувчи диффузион насос, НОРД-250 типдаги магниторазрядли насос (6), форвакуум (2) ва юқори вакуум вентеллари (3), тутиб қолувчи мосламалар (5), газли балон (7), газ ўтказувчи игнали мослама (8), ПМГ-2 термопарали лампа (9), МИ-27 монометрик лампа (10) ва камера ташкил қилади.

Экспериментал қурилмада вакуум олиш қуйдагича амалга оширилади. Форвакуум ишга туширилиб, вакуум системадаги вентиллар навбатма-навбат очиб борилади. Бутун системадаги ҳаво форвакуум насос ёрдамида сўрилиб, система ичидаги босим $P = 10^{-2}$ торр. эришилгандан кейин, юқори вакуум олиш учун ВА-0, 5-4 диффузион насос ишга туширилади. Диффузион насос билан бирга, тутиб қолувчи мосламалар титанли 4 “қопқоқ” ва суюқ азот билан совитиладиган азот “қопқоқ” ҳам ишга туширилади. Диффузион насос ёрдамида системадаги босим $P=10^{-5}$ торр. қийматгача камайтирилгач, магниторазрядли насос ишга туширилади. Бу насос ёрдамида системадаги босим тахминан $P=10^{-7}$ торр. қийматга эришилади.

в). Ионлар манбаи.

Ионлар ҳосил қилувчи қурилма ионлар манбаи кварцдан цилиндр шаклида ясалган бўлиб, унинг ичига юқори частотали тебранишлар ҳисобига ионлаштирилади ва йўналтирувчи электродлар ёрдамида ионларни экспериментал камерадаги металл тагликни ёки металл плёнка ва қопламаларни бомбардимон қилиш учун йўналтириш мумкин. Бу ионларни фокусировка қилиш ва тезлатиш учун электрон- оптиквий линзалар



2.2.-расм. Вакуум системасининг схемаси:

1. Форвакуум насос. 2. Форвакуум вентеллари. 3. Юқори вакуумли вентели. 4. Диффузион насос. 5. Тутиб қолувчи мосламалар. 6. НОРД-250 магниторазряд насоси. 7. Газ баллони. 8. Игнали мослама. 9. ПМТ-2 термапарали лампа. 10. МИ-27 манометрик лампа. 11. Эксперимент ўтказиш камераси.

системаси қўлланилади. Газларни ионлаштириш учун юқори частотали тебранишлар генератордан фойдаланилади. Генератор ИУ-50 лампада икки тактли системасида йиғилган бўлиб, тебраниш частотаси 380-400 МГц, қуввати 75Вт, анод кучланиш 500В катталиқда

дросель орқали ўтади. Ионлар энергиясининг сочилиш кенглигини камайтириш учун, ионлар манбаига архимед спирали формасида индуктивлик ғалтаги кийдирилади.

Манбанинг разряд камерасига ионларни чиқариш учун, 2 мм диаметрга эга бўлган каналли тортувчи электрод ўрнатилган, плазма оқувчи электрод ёрдамида плазма тортувчи электродга нисбатан мусбат потенциал берилади.

г). Металларнинг буғлатиш системаси.

Металлардан плёнка ва қопламалар олиш учун, уларни жуда юқори температурада қиздириб, буғлатилади. Металларнинг буғлатгич сифатида 350 мкм диаметрли вольфрам симидан фойдаланилган. Плёнка ва қопламалар олиниши керак бўлган металл цилиндрик шаклда тайёрланиб, буғлатгичга кийдирилади. Буғлатгич ярим халқа шаклда бўлиб, тагликдан 5см масофада туради. Бу эса ўз навбатида олинаётган плёнка ва қопламаларнинг юза бўйича бир хил қалинликда ўсишини таъминлайди. Буғлатгичнинг шакли бир вақтнинг ўзида газ ионлари билан бомбардимон қилиш имкониятини беради. Буғлатиш тезлиги, буғлатгичнинг температурасини ўзгартириш билан бошқариб турилади.

Буғлатгични қиздириш ундан электр токи ўтказиш орқали амалга оширилади. Буғлатгични электр токи билан таъминлаш пасайтирувчи трансформатор, ЛАТР ва стабилизаторлар системаси орқали амалга оширилади.

Плёнка ва қопламаларнинг қалинлиги, қалинликни ўлчовчи кварцли КИТ-1 асбоб ёрдамида назорат қилинади. Бу асбоб аниқлиги 10^{-6} Г бўлган ВЛМ-1 Г аналитик тарози ёрдамида оғирликлар методи билан градуировка қилинади.

д) Масс- спектрометр.

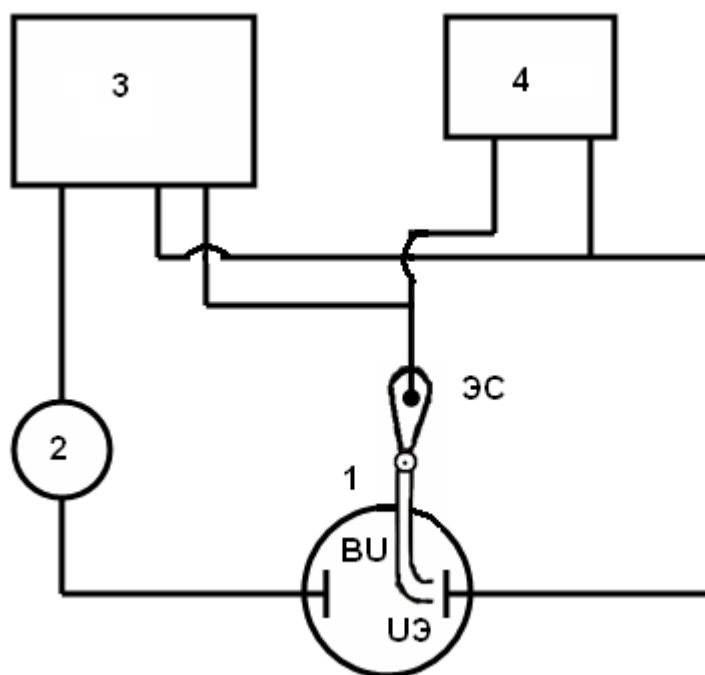
Экспериментал камерадаги қолдиқ газлар составини аниқлаш учун, қурилмага МХ-7304 масс-спектрометрнинг датчиги ўрнатилган бўлиб, унинг чиқиши потенциометрга уланган. Бу ЛКС4-003 типдаги потенциометр бўлиб, қолдиқ газларнинг спектрини ёзиш имконини беради.

Масс-спектрометр МХ-7304 масса диапазони -200, ажратиш қобиляти $\frac{M}{\Delta M} = 2M$, аргон газига сезгирлиги $1 \cdot 10^{-5}$ А/Па кўрсаткичларга эга бўлиб, ионлар зарядининг массасига e/m нисбатини кўндаланг гиперболик юқори частотали электр майдонида ажратишга асосланган ҳолда ишлайди. Бу масс-спектрометрдан экспериментал тадқиқотларнинг қандай йўналишига қараб, бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин.[13].

2.2. Плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилигининг ўзгаришини синаш қурилмаси ва экспериментал тадқиқот методикаси.

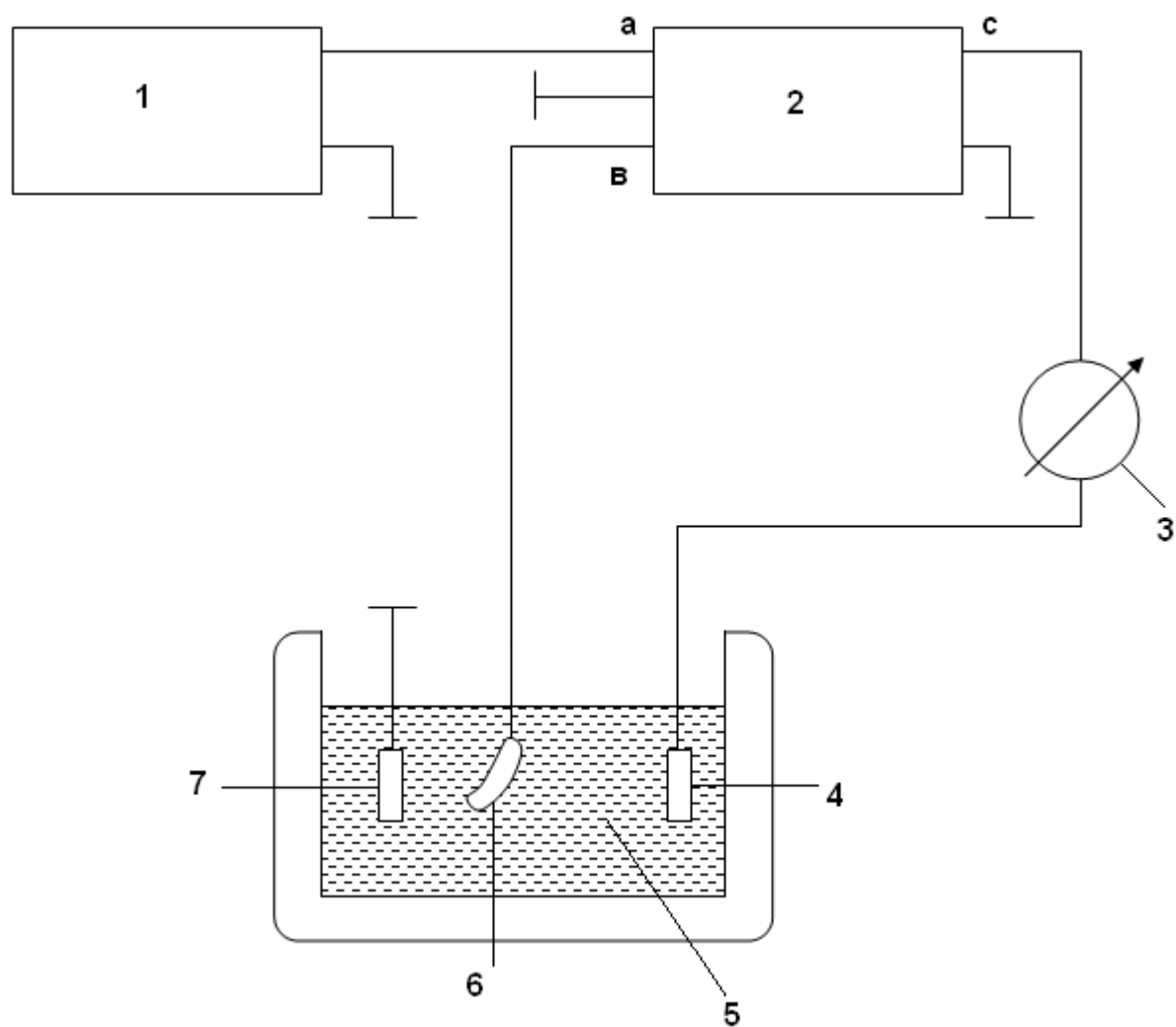
Ионлар билан бомбардировка қилиб олинган плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилигини ўзгариши, сувли эритмаларда, потенциостатик метод ёрдамида ўтказилди. Бу методда потенциалнинг ўзгармас қийматларида ток зичлигининг вақтга боғлиқлиги графигини олиш йўли билан коррозияга чидамлилигининг ўзгариши ўрганилади. П-5827 потенциостат ёрдамида узок вақт давомида, автоматик равишда, потенциалнинг берилган қиймати доимий қилиб ушлаб турилади. Потенциостатик кутбланишни ўлчаш қурилмасининг принцинал схемаси 2.3.-расмда келтирилган. Коррозияга чидамlilik синовларида потенциостат муҳим рол ўйнайди. Потенциостатнинг соддалаштирилган функционал схемаси 2.4.-расмда келтирилган. Бу потенциостатда иккита а ва б (2) киришга эга бўлган дифференциал кучайтиргичдан фойдаланилган. а киришга потенциал бергичдан (1) кучланиш берилади, в-киришга солиштириш электроди (6) ва текшириладиган электрод (7) орасига кучланиш берилади. Кучайтиргич (2) чиқиши ток ўлчагич (3) орқали ёрдамчи (4) электродга уланади. Текшириладиган электрод (7) кучайтиргичнинг умумий нолинчи симига уланади. Электродларнинг ҳаммаси сувли эритмалар билан тўлдирилган электрохимиявий катакка (5) жойлаштирилади.

Кутбловчи токни ўлчаш учун потенциостатга М-104 миллиамперметр уланади. Текшириладиган электрод ва солиштириш электроди орасидаги потенциаллар фарқини ўлчаш учун, кириш қаршилиги $> 10^7$ Ом бўлган катта қаршиликли вольтметр уланади. Ёрдамчи электрод сифатида платинали электрод олинади, солиштириш электроди эса тўйинтирилган KCl эритмаси билан тўлдирилган хлор-күмушли электрод қўлланилади. Бу электрод жуда юкори температураларда ҳам ишлай олади ва шунинг учун солиштириш сифатида турли эритмаларда ҳам ишлатилади. Ток катталигини вақтнинг функцияси кўринишида боғлиқлигини



2.3-расм. Потенциостатик қутбланишни ўлчаш
қурилмасининг принципаал схемаси.

1 – Электрохимиявий катак, 2 – токни регистрация қилувчи асбоб,
3 – потенциостат, 4 – катта қаршиликли вольтметр, $UЭ$ – текширилаётган электрод
(таглик), ВЭ – солиштириш электроди.



2.4 – расм. Потенциостатнинг соддалаштирилган функционал схемаси.

1-потенциал бергич, 2-кучайтиргич, 3-ток ўлчагич, 4-ёрдамчи электрод, 5-электрохимиявий катак, 6-солиштириш электроди, 7-текширилаётган электрод (таглик).

автоматик равишда ёзиб бориш учун логарифматордан фойдаланилади. Логарифматорнинг ишлаши шундан иборатки, токни ярим ўтказгичли диоддан тўғри йўналишда ўтказилганда, ундаги кучланишнинг тушуви ток логарифмга пропорционал бўлади. Бу кучланишлар тушуви кучайтиргич орқали ўзи ёзадиган потенциометрга

узатилади ва қайд қилинади. Текширилаётган электроддаги токни ёки потенциални регистрация қилиш учун КСП-4 электрон потенциометр ишлатилади.

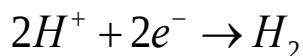
Текширилаётган таглик электрохимиявий катакка жойлаштирилгандан сўнг, унинг стационар потенциали аниқланади, яъни кутбланиш занжирида ток мавжуд бўлмаганда текширилаётган таглик ва солиштириш электроди орасидаги потенциаллар фарқи ўлчанади. Тагликнинг стационар потенциали уни сувли эритмага туширилгандан сўнг, тахминан 6 соат ўтгач ўрнатилади. Стационар потенциал ўрнатилгач, 0,2 В/соат тезликда стационар потенциалга нисбатан мусбат потенциал томонга узликсиз потенциални ўзгартириш билан потенциодинамик график чизиқлари, яъни анод-кутбланиш чизиқлари олинади.[14].

Металлар коррозияси икки турга: қуруқ муҳитда ва нам (хўл) муҳитда бўлиб берадиган коррозияга бўлинади. Қуруқ коррозия газ молекулалари билан металлар реакцияга киришиши натижасида бўлиб беради. Нам муҳитдаги коррозия металлар билан суюқликлар орасида электрохимиявий реакциялар натижасида бўлиб беради. Қуруқ коррозия юқори температурали оксидланиш ва металл сиртини водородлашуви орқали амалга ошади. Нам муҳитда коррозияланиш бир пайтда иккита реакция орқали амалга ошади:

1. Анод реакциялари (оксидланиш)-бу ҳолда металл ўзининг валент электронларини муҳитнинг молекулаларига беради:



2. Катод реакциялари (тикланиш)- бу ҳолда валент электронларни қабул қилиш ҳисобига водороднинг тикланиши юз беради:



Бу икки процесс ҳам вақт бўйича ёки сирт бўйича дифференциалланган бўлади. Металларнинг коррозияга учрашига сабаб, уларнинг термодинамик ностабилигидан бўлиб, электрохимиявий механизм нуқтаи-назардан, ҳар бир суюқликларда электроднинг стационар потенциалига боғлиқ бўлади. Металларнинг стационар потенциали унинг пассивлик даражасини кўрсатади, яъни металл актив ёки пассив ҳолатда бўлишини билдиради. Шунинг учун, металл сирти ҳолатини пассивлаштириш ҳам коррозия процессини секинлаштиради.[13,14].

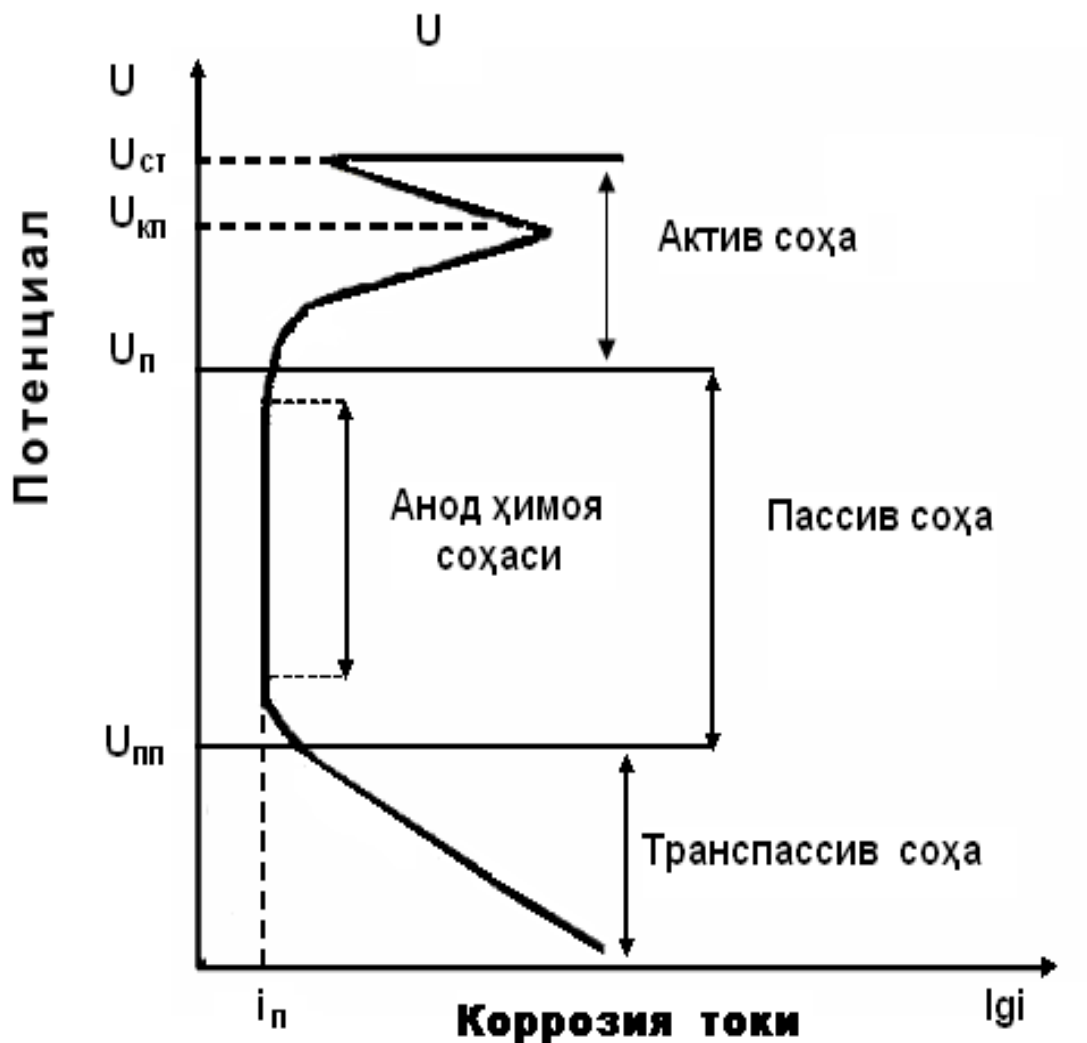
Суюқликларда (электролитларда) металларнинг электрохимиявий эриши кўп ҳолларда металл электрод сиртида иккита электр қатлами ҳосил бўлишига олиб келади.

Биринчи қатлам, металл сирти бир ишорали зарядга эга бўлса, иккинчи қатлам-эриган қатлам, иккинчи бир ишорали зарядга эга бўлади. Бу қатламлар орасидаги U -потенциал электрохимиявий реакция тезлигини аниқловчи асосий параметр бўлади.

Электролитларга туширилган электродлар орасидаги потенциаллар фарқининг текширилаётган электрод потенциалининг ўзгаришига боғлиқлиги, электрохимиявий реакциялар тезлигининг ўзгаришини ёки текширилаётган электроддаги коррозия токини характерлайди. Бу боғлиқликни $i = f(\varphi)$ деб ёзиш мумкин. Бу ерда φ -солиштириш ва текширилаётган электродлари орасидаги потенциаллар фарқи.

Коррозион процессларни ўрганишда қўлланадиган потенциостатик метод ишчи электрод потенциалининг ўзгаришига боғлиқ равишда коррозия тоқларини ўлчашга асосланади.

2.5.-расмда потенциостатик метод билан олинган металлларнинг эришини ифодаловчи анод-қутбланиш графиги келтирилган. Графикда $U_{ст.}$ –стационар потенциал электродда ток мавжуд эмаслигини характерлайди.



2.5- расм. Анод – кутбланиш графиги.

Анодга кутбланишнинг қўйилиши, анод токини бир текис ўсишга олиб келади, яъни металлнинг эришини характерлайди, бунда $U_{кп}$ – потенциал токининг максимал қийматига мос келади. $U_{кп}$ соҳадан ўтиб бўлингач, ток зичлигининг қиймати $i_{п}$ - катталиккача пасайиши кузатилади, бу ҳол металл сиртини пассив ҳолатига мос келади.

Потенциалнинг кейинги ошиб борган қийматларида ҳам пассивлик токи қиймати ўзгармасдан қолади. Пассивлик соҳаси тугаши билан, потенциалнинг $U_{\text{пн}}$ қийматидан бошлаб, ток қиймати яна ортиб боради, яъни металлнинг эриши юз бера бошлайди.

2.3. Ўлчаш хатоликлари.

Экспериментал тадқиқотларда катталикларни ўлчашда ҳар доим маълум бир хатоликларга йўл қўйилади. Ўлчаш ёки аниқлаш хатолиги қанча кичик бўлса, билиш ва ҳисобга олиш муҳим аҳамиятга эга бўлади.

Ўлчаш хатоликлари иккига бўлинади: систематик ва тасодифий хатоликлар [15].

Агар ўлчашларда систематик хатоликлар асосий бўлса, яъни систематик хатоликлар катталиги тасодифий хатоликлар катталигидан ортиқ бўлса, ўлчашларни бир марта ўтказса ҳам бўлади. Аксинча бўлса, ўлчашларни бир неча марта такрорлаш керак бўлади.

Бу ишда тасодифий хатоликларни бартараф қилиш мақсадида ҳар бир тажриба бир неча марта ўтказилади.

Плёнка ва қопламаларни бир пайтда ионлари билан бомбардировка қилиб ўстиришда фойдаланиладиган экспериментал қурилмада ишлатилган асбоб-ускуналар ҳам маълум бир хатоликларга йўл қўяди. Масалан, экспериментал қурилмадаги ишчи камерада босимни ўлчашда йўл қўйилган систематик хатолик 15% ни ташкил қилади. Бомбардировка қилувчи газ ионларининг токини ўлчашда ~ 15% систематик хатоликка йўл қўйилган. Плёнка ва қопламаларнинг қалинлигини аниқлашда йўл қўйилган систематик хатоликлар $5 \div 8\%$ ташкил қилган. Коррозион синовларда П-5827 потенциометрнинг потенциални сақлаб туришдаги хатолиги $\pm 3\text{мВ}$ қийматдан ошмаган.

III Боб. Металл плёнка ва қопламаларнинг коррозия хусусиятларининг ўзгариши.

Металлларнинг хусусиятларини мақсадли ўзгартириш ва бу ўзгаришлардан тегишли йўналишларда унумли фойдаланиш муҳим аҳамият касб этади. Металлларнинг хусусиятини ўзгартириш учун, уларга турли таъсирлар кўрсатиш керак бўлади. Бундай таъсирлардан бири металл сиртига бошқа металл материалдан плёнка ёки қопламалар ўстириш билан бирга бир пайтда турли газ ионлари ёрдамида бомбардировка қилишдир.[12,13]

Бу ишда, шундай усулда олинган плёнка-таглик системасининг коррозияга чидамлилиги ўзгариши ўрганилган. Коррозияга чидамлилиқни ўрганишда потенциодинамик ва потенциостатик методлардан фойдаланилади. Текширишларни кремний (Si) ва пўлатнинг 3х13 ҳамда 12х18н10Т конструкцион маркаларида бир пайтда аргон газининг ионлари билан бомбардировка қилиб ўстирилган нодир ер металларида бўлган диспрозий (Ду) материалдан ҳосил қилинган плёнка ва қопламаларидан фойдаланилади. Нодир ер металларида диспрозий (Ду) материалнинг олинишига сабаб шуки, бу металл синовлар ўтказиш учун оптимал характеристикаларга эга:

- 1) нодир ер металлари ичида максимал ионланиш потенциалига (Ферми сатҳига нисбатан $I_{\text{ион}}=12,5\text{эВ}$) эга , бу эса ўз навбатида оксидловчи муҳит билан бўладиган химиявий реакциядаги активликни пасайтиради;
- 2) диспрозий етарлича катта чиқиш ($=3,09\text{эВ}$) иш қийматига эга.
- 3) диспрозий бошқа нодир ер металларида нисбатан юқори эриш ($T_{\text{ер}}=1680\text{ К}$) температурасига эга. Бу характеристикалар диспрозийни коррозияга чидамлилигини синаш яхши натижалар бериши мумкинлигини кўрсатади.

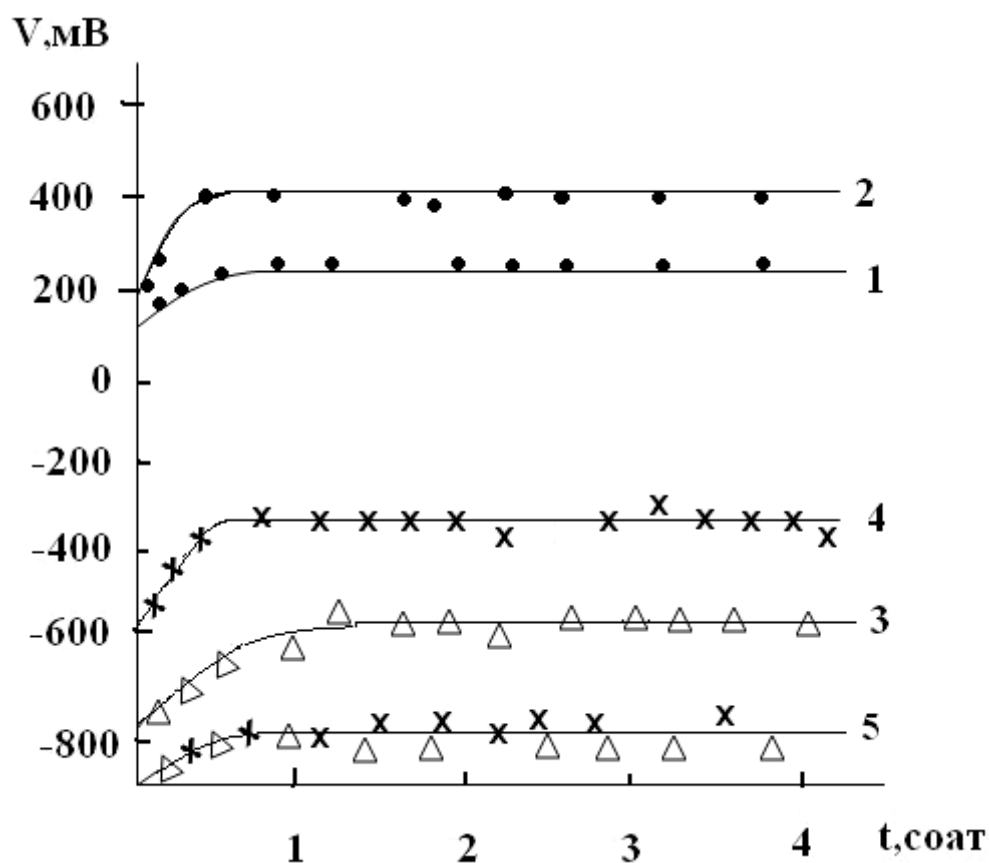
Тажрибаларнинг биринчи қисмида таглик сифатида кремний олинади. Кремний активлиги жиҳатидан лантаноидлар группасига кирувчи металллар билан бир қаторда туради ва у сувнинг эритмаларида эриш стационар электрод потенциали диспрозий қўшадиган ҳиссадан ортиқ бўлмайди. Коррозияга чидамлилиқ аргон газ ионлари билан бомбардировка қилиб олинган плёнкалар ва бомбардировка қилмасдан олинган плёнкаларни солиштириш асосида ўтказилди. Тажрибаларнинг иккинчи қисмида, таглик сифатида ҳамма соҳаларда кўп қўлланиладиган пўлатнинг конструкцион маркаларида 3х13 ва 12х18Н10Т материаллари олинди. Бу ҳолда ҳам, бомбардировка қилинган ва бомбардировка қилинмаган плёнкаларни коррозияга чидамлилиги солиштирилди . Тажрибалар хона температураси шароитида амалга оширилди. Диспрозий – кремний плёнка – таглик системасида коррозия натижасида потенциалнинг вақтга боғлиқ равишда

Ўзгариши сувнинг эритмаларида ўтказилди. Диспрозий-пўлат плёнка-таглик системасида коррозияга чидамлилиқ 3% NaCl + H₂SO₄ эритмаларида синалди.

Коррозия синовларига тайёрланган плёнка ва қопламалар буғлатгич қуввати 18—39 Вт см⁻², бомбардировка қилувчи аргон газ ионларнинг энергияси E=50 - 600 эВ, ионлар дозаси Φ=(6 - 11)10¹⁵см⁻² бўлган ҳолларда олинган.

Диспрозий – кремний плёнка – таглик системасининг сувда потенциаллини вақтга боғлиқ равишда ўзгариши 3.1-расмда келтирилган.

Коррозион синовларга тайёрланган диспрозий плёнка ва қопламаларнинг кремний тагликларида олиш характеристикалари 3.1- жадвалда келтирилган.



3.1.-расм. Хона температурасида сувда диспрозий - кремний намуналарининг потенциодинамик усулда олинган потенциалининг вақтга боғлиқ равишда ўзгариш графиги.

- 1.-ионлар билан бомбардировка қилинмаган намуна;
- 2.-ионлар билан бомбардировка қилинган намуна;
- 3.-бомбардировка қилинмаган намуна;
- 4.-бомбардировка қилинган намуна;
- 5.-бомбардировка қилинмаган намуна;
- 6.- бомбардировка қилинган намуна;

3.1 - жадвал

№	Буғлаткич қуввати Вт см ⁻²	Ионлар билан ўтказилган дастлабки тозалаш дозаси $\times 10^{15}$ см ⁻²	Бир пайтда бомбардировка қилиш ионлар дозаси см ⁻²	Ионлар энергияси эВ	Плёнкалар олиш вақти
1.	18	-	-	-	30
2.	18	5,2	$8 \cdot 10^{15}$	50	30
3.	29	-	-	-	30
4.	29	5,2	$1,1 \cdot 10^{16}$	50	30
5.	29	-	-	-	30
6.	29	6,1	$6,8 \cdot 10^{15}$	100	30

Жадвалдан кўринадикки, кремний тагликларда диспрозий плёнка ва қопламаларни олишда битта параметр, плёнка материалининг буғлатиш тезлиги ўзгартирилган. Бунда коррозияга чидамлилики ионлар оқими билан ва буғлантирилаётган плёнка материали – атомларнинг оқимлари нисбатига боғлиқлиги солиштирилган.

Бу шароитларда коррозияга чидамлиликининг характеристикаси бўлиб, электрохимиявий потенциал катталиги ҳисобланади. Электрохимиявий потенциалнинг мусбат қиймати қанча катта бўлса, қаралаётган материалнинг (металлнинг) коррозияга чидамлилиги шунча юқори бўлишини кўрсатади. Тажрибалардан олинган натижалар шуни кўрсатадики, аргон гази ионлари ёрдамида бир пайтда бомбардировка қилиб ўстирилган плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилиги ҳамма ҳолларда ошиб борган (3.1-расм). Бу ўзгаришни расмдаги графикдан кўриш мумкин, яъни ҳамма

холларда электрохимиявий потенциал қиймати, аргон газ ионлари билан бомбардировка қилинган намуналарда манфий қийматдан мусбат потенциал қийматига қараб вақт ўтиши билан ортган. Ўсиш жараёнида газ ионлари билан бомбардировка қилинмаган учта плёнка – таглик намунасидан энг кичик тезликда буғлатиб олинган № 1 номерли намуна оксидланишга энг чидамли бўлиб чиқди. Бу намунанинг стационар потенциали 300 мВ қийматга тенг бўлди. Буғлатиш тезлиги ошиши билан олинган қопламаларнинг оксидланишга чидамлилиги камайган. Бомбардировка қилинмасдан олинган ҳолда, коррозияга чидамлилиги бир хил бўлган плёнка – таглик намуналарни бомбардировка қилиб олингандан сўнг, коррозияга чидамлилиги ҳар хил бўлиб қолган. Намуналар ичида коррозияга чидамлилиги энг катта ошган

№ 4 номерли намуна бўлиб, унинг стационар потенциали $\Delta\phi = 530$ мВ қийматга ошган. Стационар потенциалнинг бундай ошиши, яъни бу намунанинг коррозияга чидамлилигининг ошиши, бомбардировка қилаётган газ ионларининг дозаси максимал ошиши билан мос тушади (3.1-жадвал).

№ 6 номерли намунада ионлар дозаси ва ток зичлиги кам бўлиши бомбардировка қилаётган ионлар энергиясининг оширилиши билан компенсация қилинади. Бомбардировка қилаётган ионлар энергияси ошиши билан, плёнка – таглик системасида ўзининг бошланғич ҳолатидан силжиган атомлар миқдори ортади, бу эса ўз навбатида коррозияга пассив бўлган қатлам кенглигини (барьер) ортишига олиб келади. Шунинг учун, графикда № 5 ва

№ 6 номерли намуналарнинг стационар потенциаллар фарқи № 1 ва № 2 номерли намуналарнинг стационар потенциаллар фарқидан катта бўлади. 3.1-расмдаги графиклардан кўринадики, аргон газ ионлари билан бомбардировка қилиб олинган диспрозий плёнка ва қопламаларининг коррозияга чидамлилиги, ионлар билан бомбардировка қилмасдан олинган плёнка ва қопламаларга нисбатан салмоқли даражада ортади.

Қаттиқ жисмлар (металлар) сиртида юз берадиган электронлар алмашинуви процессининг тезлиги стационар потенциалнинг функцияси бўлиб ҳисобланади. Бу эса, ўз навбатида, электрохимиявий реакция тезлиги билан стационар потенциал орасидаги ҳар қандай реал боғлиқликни ўрганиш имконини беради, яъни металлларнинг коррозияга пассив соҳаларини аниқлаш имконини беради.[16].

Шу мақсадда, аргон газ ионлари ёрдамида бомбардировка қилиб пўлатнинг 3x13 ва 12x18H10T маркаларида ўстирилган плёнка ва қопламаларнинг стационар потенциалининг ўзгариши потенциостатик метод ёрдамида ўрганилди. Тажриба икки

типтаги намуналарда ўтказилди, яъни биринчи ҳолда, плёнка ўстирилмаган ва бомбардировка қилинмаган соф ҳолдаги (контрол) намуналар олинди. Иккинчи ҳолда, тагликка бир пайтда аргон гази ионлари билан бомбардировка қилиб ўстирилган диспрозий плёнка ва қопламалари олинди. Намуналар сиртига берилган ишлов параметрлари 3.2 – жадвалда келтирилган.

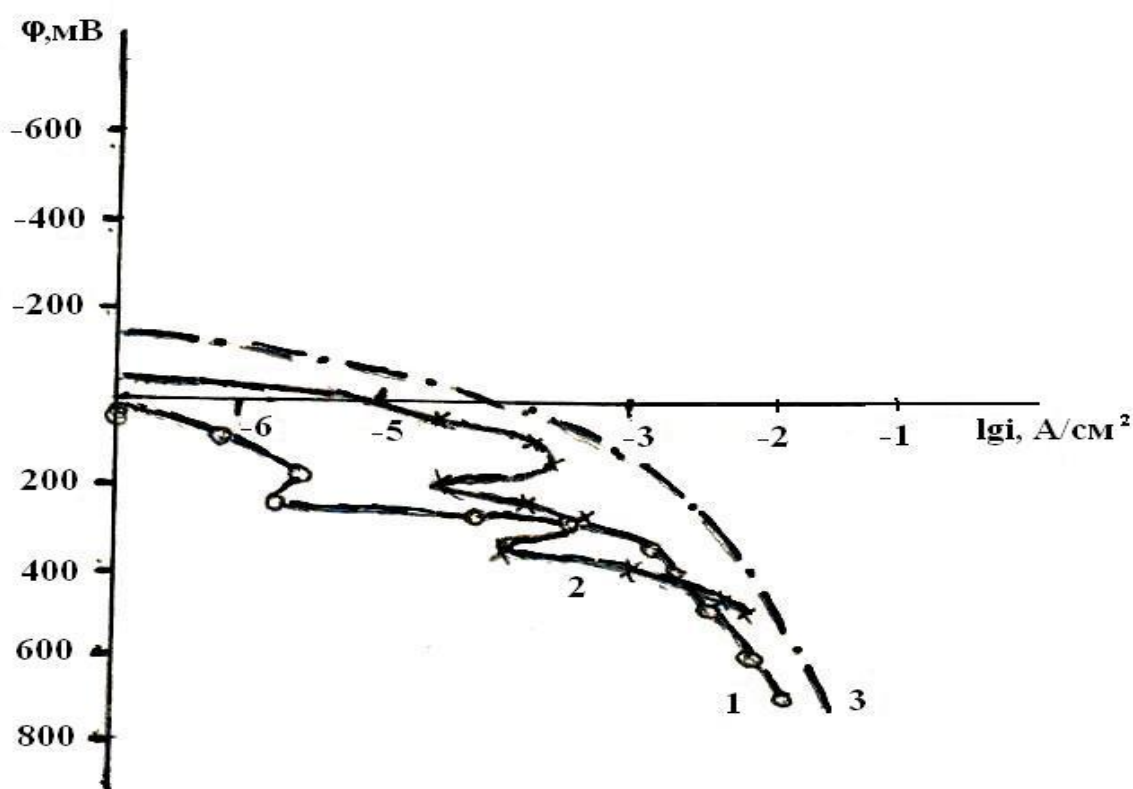
3.2.- жадвал.

№	Таглик маркалари	Буғлатгич Қуввати, Вт см ⁻²	Ионларнинг боғлангич бомбардировка дозаси, $\times 10^{15}$ см ⁻²	Плёнка ўсиши билан бир пайтда бомбардировка қилиш дозаси $\times 10^{16}$ см ⁻²	Ионлар энергияси, эВ.
1.	3x13	36	3,0	1,1	600
2.	3x13	36	4,6	2,1	100
3.	3x13 Контрол	намуна			
4.	12x18H10T	27	0,75	0,7	100
5.	12x18H10T	36	8,2	0,83	600
6.	12x18H10T	Контрол	намуна		

3.2.- расмда пўлатнинг 12x18H10T маркасидан ясалган тагликларда ўтказилган тажрибаларнинг анод – кутбланиш чизиқлари келтирилган. Расмдан кўринадики, плёнка ўстирилмаган ва ионлар билан бомбардировка қилинмаган контрол намунада коррозия потенциалнинг (-140 мВ)манфий қийматида бошланади. Бу қиймат коррозияга чидамлилигининг энг кичик қиймати бўлиб, ушбу намуна коррозияга чидамсиз бўлади. Ишлов берилган, яъни плёнка ўстирилган ва аргон гази ионлари билан бомбардировка қилган намуналарнинг коррозияга чидамлилиги контрол намунага қараганда юқори бўлади.

Ионлар билан бомбардировка қилиб ўстирилган плёнкаларнинг анод – кутбланиш чизиклари контрол намуналарга қараганда потенциалнинг мусбат соҳасида ёки шу соҳага яқин бўлган соҳалардан бошланиб, мусбат соҳада тугайди. Қотиштириб яхшиланган пўлатнинг 12x18Н10Т маркасининг сиртини ҳимоя қилиш эффекти катта бўлади. Контрол намунада коррозия потенциали (-140 мВ) қийматда бошланган бўлса, ионлар билан бомбардировка қилиб олинган қопламаларда потенциал (40 мВ) қийматдан бошланади, яъни коррозия анча кеч бошланади. Бу ерда ҳам потенциодинамик усулдаги каби, кремний тагликларда ҳам, пўлат тагликларда ҳам, диспрозий плёнкасини ўстиришда аргон газ ионлари билан бомбардировка қилинганда ион компонентларининг яъни аргон газ

ионларининг сони буғлатилган диспрозий атомлари сонига нисбатининг таъсири кузатилади. Расмдаги № 1 намунада бу нисбат анча катта, чунки буғлаткич қуввати (27 Вт см^{-2}) кичик бўлиб, ионлар энергияси 100 эВ қийматни ташкил этади. Шунинг учун, бу намунанинг коррозия хусусияти яхши бўлиб, коррозиянинг бошланиши 40 мВ қийматни ташкил қилади. № 2 номерли намунада ионлар компонентлари нисбати ($E=600 \text{ эВ}$, буғлаткич қуввати 36 Вт см^{-2}) № 1 номерли намунага қараганда кичик, шу сабабли бу намунада коррозия олдинроқ бошланади. Бу процессни қуйидагича тушинтириш мумкин: ион компонентлари нисбатининг ошиши билан, плёнка ва тагликда ҳосил бўладиган дефектлар миграцияси (дефектлар кўчиши) ҳисобига ион – стимуллашган жараён рўй беради, яъни плёнка ва таглик атомларининг бир – бирига аралашishi (плёнка ва таглик материалларининг бир – бирига кириб аралашishi) амалга ошади. Натижада плёнка ва таглик материалларининг коррозияга чидамлилиги ортади.



3.2-расм. Пўлатнинг 12x18H10T маркасида олинган диспрозий плёнкасининг потенциостатик (анод-кутбланиш) графиги.

1- бир пайтда бомбардировка қилиб олинган диспрозий қопламаси,

$$E=100 \text{ эВ}, \quad \Phi=6,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}.$$

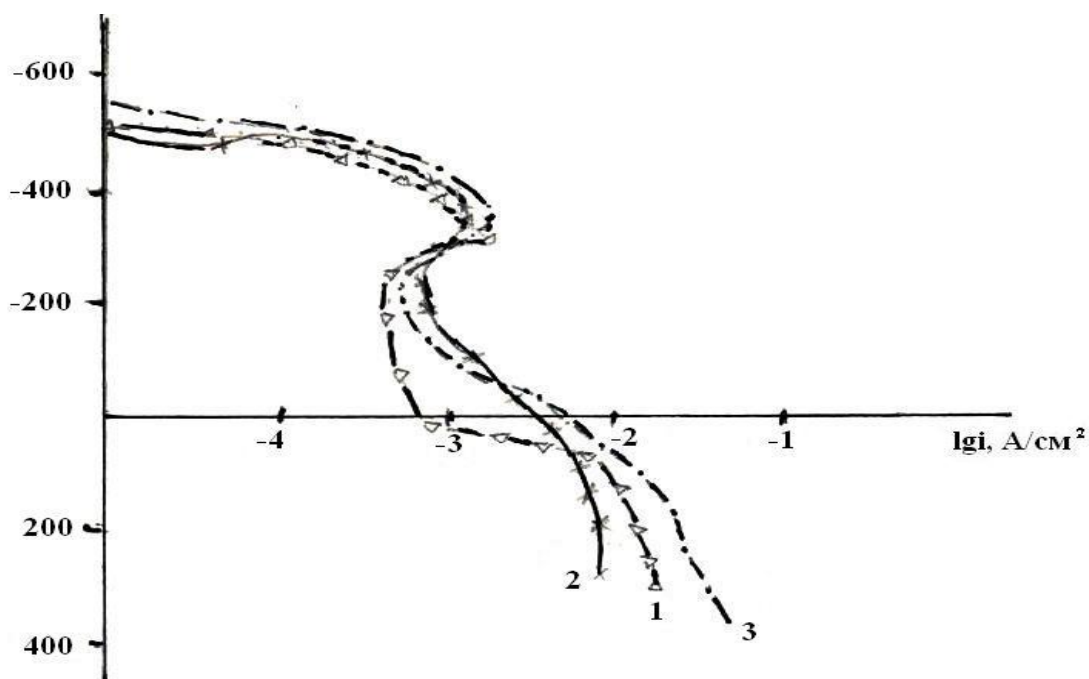
2- бир пайтда бомбардировка қилиб олинган диспрозий қопламаси,

$$E=600 \text{ эВ}, \quad \Phi=8,3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}.$$

3- контрол намуна.

Ионлар энергияси сиртнинг пассивлигига таъсир қилади: масалан, ($E=100$ эВ) № 1 номерли намунада коррозия потенциали ва токи чизиқлари тез пасаяди.

3.3.- расмда пўлатнинг 3x13 маркасидан ясалган тагликларда ўтказилган тажрибаларнинг анод – кутбланиш чизиқлари келтирилган. Расмдан кўринадики, плёнка ўстириш ва бомбардировка қилиб ишлов бериш эффекти коррозияга чидамлиликини ўзгаришига деярли таъсир кўрсатмайди (графикдаги чизиқлар бир – бирига жуда яқин жойлашган). Бошқача қилиб айтганда, пўлатнинг 3x13 маркаси сиртига химояловчи плёнка ўстириш ва уни пўлатнинг 12x18H10T маркаси каби, аргон гази ионлари билан бомбардировка қилиб ишлов бериш яхши эффект бермайди. Бунга сабаблардан бири, пўлатнинг 3x13 маркаси кам қотириб, яхшиланмаган (паст легирланган) турига киради ва у сульфат кислотали эритмаларда актив эрийди [17]. Пўлатнинг кам қотириб, яхшиланмаган маркалари сиртини ионлар билан ишлов бериш ёки қопламалар ўстириш йўли билан коррозияга чидамлилигини ўзгармаслиги бошқа тажрибаларда ҳам кузатилган [18,19]. Шунинг учун, бирор бир мақсадда химояловчи қопламаларни қўллашда пўлатнинг таркиби ва составини ҳамда маркасини эътиборга олиш лозим бўлади. Ўтказилган тажрибалардан шу нарса маълум бўлдики, нодир ер металларида олинган қопламалар ёки уни бошқа металл таркибига киритиш натижасида коррозияга чидамли (металл сиртини пассивлаштирувчи) химоя қопламини ҳосил қилиш мумкин. Нодир ер металлари юқори химиявий активликка эга бўлиб, ионлар билан бомбардировка қилинганда металл таглик сирти билан таъсирлашиши оқибатида металл материали билан қаттиқ қотишма ҳосил қилади. Бундай қотишма бир жинсли тўйинган боғланишларга эга бўлади, ҳамда металл сиртида водород ва кислород аралашishi процессини кескин камайтиради. Бу эса, ўз навбатида коррозия, оксидланиш ва мўртлик ҳосил бўлиши процессларини пасайтиради.



3.3-расм. Пулатнинг 3x13 маркасида олинган диспрозий қопламасининг
потенциостатик (анод - кутбланиш) графиги.

- 1 – бир пайтда бомбардировка қилиб олинган диспрозий
қопламаси, $E = 600$ эВ, $\Phi = 1,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.
- 2 - бир пайтда бомбардировка қилиб олинган диспрозий
қопламаси, $E = 100$ эВ, $\Phi = 2,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.
- 3 – контрол намуна.

Бундан ташқари, ионлар билан бир пайтда пастда бомбардировка қилиб ўстирилган нодир
ер материалларининг плёнка ва қопламалари металл таглик материалларининг донорлик
қобилиятини ҳам пасайтиради. Бунга сабаб, металл таглик атомлари ионлар билан

килинган бомбардировка натижасида, плёнка ва қопламалар материалнинг атомлари билан аралашиб координацион бирикмаларни ҳосил қилади. Бу эса ўз навбатида кристалл панжара билан бирикмалар орасида микромайдонни юзага келтиради. Бу майдон электронлар иштирокида кристалл панжарада координацион боғланишларни ҳосил қилади, яъни ҳимояланаётган металл сирти акцепторга айланади.[18,19,20]

Шундай қилиб, олинган натижаларга асосланиб қуйдаги хулосаларни чиқариш мумкин: кичик тезликда ўстирилган плёнка ва қопламаларнинг коррозияон характеристикалари катта тезликларда ўстирилган плёнка ва қопламаларга қараганда яхши бўлади. Бир пайтда аргон газ ионлари ёрдамида бомбардировка қилиб ўстирилган плёнка ва қопламалар, металл тагликларнинг коррозияон хусусиятларини яхшиланишига сабаб бўлади. Қўлланилган ионлар энергияси (500 - 600) эВ ва дозаси $(6 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{16}) \text{ см}^{-2}$ қийматларда ионлар компонентлари, яъни аргон ионлар сонини буглатилаётган диспрозий атомлари сонига нисбати ошиши билан плёнка – таглик системасининг коррозияга чидамлилиги ҳам ортади.

Хулоса

Ушбу битирув малакавий ишда, паст энергияли ($E = 50 - 60$ эВ) аргон газ ионлари билан бир пайтда металл тагликларда (кремний, пўлат) нодир ер металлари (диспрозий, иттербий ва бошқалар) материалларидан ток ўтказиб, қиздириш йўли билан буғлатиб олинган, қалинлиги ($h = 100 \text{ \AA} - 4 \text{ мкм}$) бўлган плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилиги ўзгариши тажрибалар ёрдамида ўрганилган. Тажрибалар ўтказиш учун, махсус қурилган экспериментал қурилма ва унинг қисмлари: ишчи камера, ионлар манбаи, буғлатиш системаси, вакуум ҳосил қилиш системаси ва масс – спектрометрнинг тузилиши ҳамда ишлаш принципи ўзлаштирилди. Плёнка ва қопламаларни олиш ва уларнинг параметрларини ўзгартириб, турли мақсадларда намуналар тайёрлаш методикалари ўрганилди. Экспериментал қурилмада металл плёнка ва қопламалар олиш учун зарур бўлган оптимал режимларни ўрнатиш вариантлари ўзлаштирилди. Тажрибалар ёрдамида ҳосил қилинган плёнка ва қопламаларни потенциодинамик ва потенциостатик методлар ёрдамида сувда ва сувнинг кислотали эритмаларида коррозияга чидамлилигининг ўзгариши синаб кўрилди. Олинган натижаларга кўра, плёнка ва қопламалар олишда буғлатиш тезлиги кичик бўлган плёнка ва қопламаларнинг коррозияга чидамлилиги ортиши аниқланди. Қўлланилган ионлар энергияси ($50 - 600$) эВ ва дозаси ($6 \cdot 10^{15} - 2 \cdot 10^{16}$) см⁻² қийматларда ионлар компонентлари, яъни аргон ионлар сонининг буғлантирилаётган металл материалнинг атомлари сонига нисбати ортиши билан плёнка – таглик системасининг коррозияга чидамлилиги ҳам ортиши кузатилди.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.

1. Раджабов Т. Д., Искандарова З.И., Лифанова Л.Ф., Камаридин А.И. Модификация свойств поверхности материалов и покрытий ионным облучением. Ташкент, Фан, 1993 г; 204 стр.
2. Шреттер В., Лаутенлегер В.Х., Бирбак Х. Химия., Москва, 1989 йил, 647 бет.
3. Миркомиллов Т.М., Мухитдинов Х.Х. “Умумий химия”, Тошкент, 1987 йил, 240 бет.
4. Николаев Л.А. “Неорганик химия”, Москва, 1982 йил, 640 бет.
5. Гусева М.И. Ионная имплантация в металлах. “Поверхность. Физика, Химия, Механика”. 1982 г. № 4., с. 27 – 50.
6. Шпилевский Э.М., Тью Вал Тьем, Языческо С.А. Изменение структуры и коррозионной стойкости меди имплантацией ионов аргона, азота и водорода. Томск, 1988 г., Ч.3. С. 107 – 108.
7. Девис Дж. А. Модифицирование и легирование поверхности лазерными ионным и электронными пучками. Москва, 1997 г., 424 стр.
8. Бриггс Д., Сих М.П. Анализ поверхности методами Оже – и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Москва, Мир, 1997 г., 598 стр.
9. Сидоренко С. И. Некоторые аспекты физика материаловедческих исследований тонких пленок. Киев, Наукова Думка, 1996 г., 47 стр.
10. Дэшман С. Некоторые основы вакуумной техники. Москва, Мир, 1992 г., 280 стр.
11. Данилин Б.С., Минаичев В.Е. Вакуумная техника. Москва, Энергия, 1989 г., 158 стр.
12. Мейссел Л., Гленга Р. Технология тонких пленок. Москва, Радио, 1987 г., 664 стр.
13. Холленд Л. Физика тонких пленок. Москва, Мир, Т.№ 9, 1987 г., 385 стр.
14. Штекхельмахер В. Пленочная микроэлектроника. Москва, Мир, 1989 г., 397 стр.
15. Зайдел А.Н. Ошибки измерений физических величин. Москва, Наука, 1974 г., 108 стр.
16. Копецкий Ч.В., Чупятова Л.П., Виденская Т.Е., Ларионова Ю.Е. Ионное перемешивание в двухслойной системе Fe – W. Черноголовка, 1987 г., 199 стр.
17. Рохлин Л.Л., Падежнова Е.М., Гузей П.С. Исследование растворимости самария в твердом растворе на основе магния. Москва, Известия АН РФ, 1986 г., 204 – 207 стр.

18. Францевич И.Н., Пилянкевич А.Н., Лавренко В.А., Вольфсон А.И. Анодные оксидные покрытия на металлах и анодная защита. Киев, Наукова Думка, 1985 г., 278 стр.
19. Волков Г.М., Зуев В.М., Сидоров П.П. Ионная имплантация инструментальных сталей. Томск, Ч.З., 1988 г., 166 стр.
20. Августович Л.Я., Грищенко Б.П., Диамант В.М. Физико – механические исследования сталей, имплантированных ионами металлов и соединений. Томск, Ч.З., 1988 г., 133 стр.