

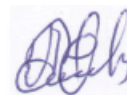
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»

Бо ҳуқуқи дастнавис

ВБД 66.018.8+669.17

ББК 30.3.37

X-18



ФИРУЗИ ҲАМРОҚУЛ

**РАФТОРИ АНОДӢ ВА ОКСИДШАВИИ
ХӢЛАИ $Zn_{0.5}Al$, КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ
ВА НЕОДИМ ҶАВҲАРОНИДАШУДА**

ДИССЕРТАТСИЯ

барои дарёфти дараҷаи илмӣ

доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯи ихтисоси

6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав

(6D071001.02 – саноати мошинсозӣ)

Рохбари илмӣ: доктори
илмҳои химия, профессор
Обидов З.Р.

Душанбе – 2025

МУНДАРИЧА

РЀЙХАТИ ИХТИСОРАҲО, АЛОМАТҲОИ ШАРТӢ	4
МУҚАДДИМА	5
ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ	8
БОБИ 1. РАФТОРИ АНОДӢ ВА ОКСИДШАВИИ ХӢЛАҲОИ ҶАВҲАРОНИДАШУДАИ $Zn-Al$ ВА РУЙПӢШҲОИ МУҲОФИЗАТӢ ДАР АСОСИ ОНҲО (Шарҳи адабиёт)	13
1.1. Сохторҳосилкунӣ ва хусусиятҳои фазаҳои оксидии хӢлаҳои ҷавҳаронидашудаи $Zn-Al$	13
1.2. Таъсири муҳитҳои коррозсионӣ ва хосиятҳои механикӣ ба рафтори анодии хӢлаҳои ҷавҳаронидашудаи $Zn-Al$	21
1.3. Раванди оксидшавии хӢлаҳои ҷавҳаронидашудаи $Zn-Al$ дар муҳитҳо ва ҳолатҳои гуногун	29
1.4. Таҳлили шарҳи адабиёт ва вазифагузориҳои таҳқиқот	37
БОБИ 2. МАВОДҲО ВА МЕТОДҲОИ ТАҲҚИҚОТҲОИ ИЛМӢ-ТАҶРИБАВӢ	43
2.1. Синтез ва таҳлилҳои таркибӣ ва сохтори хӢлаҳо	43
2.2. Методи таҳқиқоти коррозсионӣ-электрохимиявӣ, сахтӣ ва мустаҳкамии хӢлаҳо	48
2.3. Методи таҳқиқоти оксидшавии хӢлаҳо ва маҳсули онҳо	54
2.4. Аҳамияти методҳои таҳқиқот	57
БОБИ 3. РАФТОРИ АНОДӢ, САХТӢ ВА МУСТАҲКАМИИ ХӢЛАИ $Zn_{0.5}Al$, КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ ВА НЕОДИМ ҶАВҲАРОНИДАШУДА	58
3.1. Рафтори анодии хӢлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо сериӣ ҷавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$	58
3.2. Рафтори анодии хӢлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо празеодим ҷавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$	69
3.3. Рафтори анодии хӢлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо неодим ҷавҳаронидашуда,	

дар муҳитҳои коррозийонӣ-фаъоли HCl, NaCl ва NaOH	79
3.4. Сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи Zn _{0.5} Al, ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда	89
3.5. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқот	92
БОБИ 4. ОКСИДШАВИИ БАЛАНДҲАРОРАТИИ ХҶЛАИ	
Zn_{0.5}Al, КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ ВА НЕОДИМ	
ҶАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР ҲОЛАТИ САХТ	100
4.1. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи Zn _{0.5} Al, ки бо серий ҷавҳаронидашуда	100
4.2. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи Zn _{0.5} Al, ки бо празеодим ҷавҳаронидашуда	107
4.3. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи Zn _{0.5} Al, ки бо неодим ҷавҳаронидашуда	113
4.4. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқот	119
ҲУЛОСАҲО	127
Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот	128
РҶЙҲАТИ АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА	129
Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия	141
ЗАМИМАҲО	145

РЎЙХАТИ ИХТИСОРАҶО, АЛОМАТҲОИ ШАРТӢ

КОА	Комиссияи олии аттестатсионӣ
ДДОТ	Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни
ДСРТ	Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон
ДМТ	Донишгоҳи миллии Тоҷикистон
ДДХ	Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б. Гафуров
ДДТ	Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
ЧДММ	Ҷамъияти дорои масъулиятш маҳдуд
Zn0.5Al	Хӯлаи рух бо 0,5%-и вазнии алюминий
Ce	Серий
Pr	Празеодим
Nd	Неодим
ГОСТ	Стандарти давлатӣ
SEM, ERGOLUX	Микроскопҳои электрони тасвирбардор
ПИ	Потенсиостати импульсӣ
СШОЛ	Кӯраи муқовимати электрикии таҷрибавии озмоишгоҳӣ
ТШ-2	Асбоб барои санҷидани сахтӣ бо усули Бринел
ДРОН-2	Дастгоҳи рентгенӣ
АРВ-200	Тарозуи таҳлилӣ
-E _{кор.оз.}	Потенсиали коррозияи озод
-E _{кор.}	Потенсиали коррозия
-E _{п.х.}	Потенсиали питтингҳосилшавӣ
-E _{реп.}	Потенсиали репассиватсия
i _{кор.}	Зичии ҷараёни коррозия
K	Суръати коррозия
κ	Эквиваленти электрохимиявӣ
T	Ҳарорат
Q	Энергияи ғаёлкунандаи раванди оксидшавӣ

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзӯи таҳқиқот. Саноати муосири мошинсозӣ, техникаи кайҳонӣ, электроника ва техникаи ҳисоббарорӣ, радиотехника ва энергетикаи ҳастай талаб менамоянд, ки маводҳои пешрафтатар бо доираи васеи хосиятҳои махсуси истифодабарӣ сохта шаванд. Дар байни ин маводҳо, маводҳои ғайриорганикӣ, ки аз синфҳои гуногун иборатанд – металлӣ, оксидӣ, композитсионӣ ва бо табиотҳои гуногуни функционалӣ, нақши асосиро мебозанд. Хусусан дар даҳсолаҳои охир металшиносӣ бо суръати зиёд инкишоф ёфта истодааст [1-3].

Масъалаҳои муҳофизати конструкцияҳо, иншоот ва маснуот аз пӯлодҳои карбондор ва чӯянҳо аз коррозия дар маводшиносии муосир калидӣ мебошанд ва барои саноати металлургӣ, мошинсозӣ, асбобсозӣ, химиявӣ ва сохтмонӣ аҳамияти хеле муҳим доранд.

Барои инкишоф ва тақвиятдиҳии равандҳои технологӣ, татбиқи схемаҳои нави технологӣ дар асоси дастовардҳои охирини илмӣ ва техникӣ, сохтани конструкцияҳои нав барои мошинҳо ва дастгоҳҳои сермахсул, навҳои гуногуни маводҳои химиявии устувор, ба гармӣ тобовар ва ба гармӣ устувор лозим аст. Ин маводҳо бояд дорои мустаҳкамии баланди механикӣ буда, зимни истифодабарӣ дар ҳудуди васеи фишорҳо ва ҳароратҳо дар шароити таъсири муҳитҳои коррозсионии гуногуншакли агрессивӣ коршоям бошанд [4-6].

Дар техникаи муосир маводҳои баландҳароратӣ васеъ истифода мешаванд, ки бо муқовимати баланд ба оксидшавӣ, мустаҳкамӣ ҳангоми кашиш ва ғайраҳо фарқ мекунанд. Ин ва дигар талаботҳо ҳангоми таҳқиқотҳои металшиносӣ ва металлургии руйпӯшҳои ҳифзкунанда бояд ба назар гирифта шаванд. Дар ҳоле, ки ҳулаҳои ба гармӣ устувор ва ба гармӣ тобовари сохташуда муқовимати баланд ба оксидшавиро надоранд, вале дорои дигар хусусиятҳои муҳими технологӣ мебошанд [7-9].

Дарачаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Дар айнаи замон адабиёти тоҷикӣ ва хориҷӣ бо як қатор монографияҳо ва мақолаҳои арзишманд, ки ба гуруҳҳои алоҳидаи ҳулаҳои металли чавҳаронидашуда бахшида шудаанд, ғанӣ

гардидааст. Дар онҳо сохтори атомӣ ва электронии металлҳо ва фазаҳои хӯлаҳои металлӣ, феноменологӣ ва механизмҳои атомии табдилоти фазавӣ, инчунин назарияҳои диффузия ва нақши сохторҳои атомӣ, нуқсонҳои панчараҳо ва микросохторҳо дар падидаҳои диффузия баррасӣ шудаанд. Маводҳои аслии таҷрибавӣ ва назариявӣ оиди баҳамтаъсироти коррозияи хӯлаҳои конструксионӣ бо муҳитҳои коррозияи оварда шудаанд. Кинетикаи баҳамтаъсироти онҳо навишта шудааст. Принсипҳои асосии ҷавҳаронии хӯлаҳо бо мақсади камкунии суръати ҳалшавии онҳо дар муҳитҳои коррозияи-фаъол баён шудаанд. Ба қонуниятҳои пайдоиши сохторҳои кристаллӣ ва микросохторҳо таваҷҷуҳи хоса дода шудааст. Дар шумори фазаҳои баррасишуда пайваستاҳои металлӣ бо хосиятҳои аълои физикавӣ-химиявӣ, гармофизикӣ, механикӣ, коррозияи-электрохимиявӣ ва технологӣ зикр шудаанд. Қисми асосии таҳқиқот ба рафтори коррозияи маводҳои металлӣ дар муҳитҳои коррозияи-фаъоли гуногун бахшида шудааст. Барои ҳар як муҳити коррозияи тавсифи рафтори коррозияи маводҳо ва соҳаҳои истифодаи онҳо баён шудааст. Фарогирии васеи муҳити коррозияи, хӯлаҳои металлӣ, шароити истифодабарии онҳо ва соҳаҳои татбиқ дар ҳамгирой бо баёни қонуниятҳои асосии равандҳои коррозияи ба мутахассисон имкон медиҳад, ки хӯларо ҳамчун руйпӯши ҳифзкунанда ҳангоми сохтани техникаи нав дуруст интихоб намоянд [10-14].

Техникаи муосир ба сифат ва хосиятҳои хӯлаҳои металлӣ, инчунин ба эътимоднокии механизмҳои аз онҳо сохташаванда талаботи афзояндаро тақозо менамояд. Таркибҳои нави хӯлаҳо беист сохта мешаванд, речаҳои технологии нава коркард мешаванд ва речаҳои технологии мавҷуда такмил меёбанд, ки дарёфти хосиятҳои муқарраршударо таъмин мекунанд. Ин хӯлаҳо бояд муқовимати баланди оксидшавӣ дошта, маснуоти номбаршударо аз коррозия ҳифз намоянд. Айни замон, хӯлаҳои Zn ва Zn-Al-ро ҳамчун руйпӯшҳои муҳофизатии пӯлоди карбондор васеъ истифода мебаранд [15-22].

Маводҳои олии конструксионӣ ё ғавқулмаводҳо вучуд надоранд, бинобар ин, вазифаи асосии таҳқиқотчиён ин гузаронидани санҷишҳои озмоишгоҳӣ

барои дарёфти маводи дурнамо ва сипас таҳқиқи ба коррозия устувории онҳо дар шароити таҷрибавӣ барои муайянкунии тағйироти миқдории хосиятҳои номбарнамудаи ин маводҳо бо мурури замон мебошад. Маълумотҳое, ки дар натиҷаи гузаронидани санҷишҳои хеле заҳматталаб ва таҳқиқи қиматҳои миқдорӣ ба даст меоянд, имкон медиҳанд, ки аз маводи дурнамо беҳтаринаш интихоб карда шавад, ки хосиятҳояш қобилияти коршоямии ашё ва маснуотро дар шароитҳои гуногун таъмин намояд. Ингуна кор хатари техниро ҳангоми истифодаи маводи тавсияшуда барои мақсадҳои истифодабарӣ хеле кам мекунад, гарчанде ки онро пурра аз байн намебарад. Танҳо дар натиҷаи таҷрибаи истифодабарии саноатӣ метавон эътимоднокии маводи таҳияшударо пурра муайян намуд.

Дар таҳқиқоти мазкур диққат дода шудааст, ки ҳӯлаҳои нави анодии ба коррозия устувори руҳ бо алюминий ва металлҳои нодирзаминии зерғуруҳи серий ҳамчун руйпӯшҳои муҳофизатии маснуот ва конструкцияҳои аз пӯлоди карбондор сохташуда коркард карда шаванд. Барои ин зарур аст, ки таҳқиқоти мукаммали рафтори анодӣ ва оксидшавии ҳӯлаҳо дар муҳити коррозионӣ-фаёл гузаронида шаванд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳои илмӣ. Рисолаи диссертатсионӣ барои ҳалли ҳадафи стратегияи чорум оид ба рушди саноати химиявӣ, металлургӣ ва мошинсозӣ дар асоси ашёи хоми маҳаллӣ мусоидат мекунад. Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ ба ҳалли вазифаҳои ҷудогонаи "Стратегияи миллии рушди Тоҷикистон барои давраи то соли 2030" ва марҳилаи аввали он, ки дар "Барномаи рушди миёнамуҳлати Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021-2025" шомил шудаанд, равона гардидааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот – коркард ва омӯзиши тағйирот дар рафтори анодӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ ва оксидшавии хӯлаи металли $Zn_{0.5}Al$ ҳангоми ҷавҳаронии ҳаҷмӣ ва ҷудогонаи он бо иловаҳои Ce , Pr ва Nd .

Вазифаҳои таҳқиқот:

- синтези хӯлаи сечандаи металлӣ тавассути ҷавҳаронии ҳаҷмӣ ва ҷудогонаи таркиби $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои Ce , Pr ва Nd ;
- таҳлили таркибҳои элементӣ ва фазаӣ ва тағйирот дар микросохторҳои хӯлаҳои синтезшуда;
- таҳқиқи тағйирёбиҳо дар рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаҳои синтезшудаи таҳқиқмешуда дар муҳитҳои фаъоли коррозсионӣ;
- муайян намудани сахтӣ, мустаҳкамӣ ва соҳаи татбиқи хӯлаҳои металли $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr, Nd)$.

Объекти таҳқиқот: рух – Zn (Ц0-хт.), алюминий – Al (А7-ттехн.), серий – Ce (ЦеЭО-хт.), празеодим – Pr (ПрМ1-хт.), неодим – Nd (НМ1-хт.) ва лигатураҳои $AlCe_{10}$, $AlPr_{10}$ ва $AlNd_{10}$ (аз рӯйи %-и вазн).

Мавзӯи таҳқиқот: амалиёти синтез, таҳлили таркибҳо ва микросохторҳои намунаҳои хӯлаи сечанда; омӯзиши хосиятҳои гуногуни онҳо ва коркарди рӯйпушҳои зиддикоррозсионӣ аз хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо Ce , Pr ва Nd .

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:

- ҳангоми ҷавҳаронии ҳаҷмӣ ва ҷудогонаи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои миқдории Ce , Pr ва Nd ва таҳқиқи хӯлаҳои зикрнамуда дар муҳитҳои фаъоли коррозсионӣ беҳтаршавии устувории зиддикоррозсионии анодӣ маълум карда шудааст;
- ҳангоми коркард, муносибгардонӣ ва таҳқиқоти коррозсионии хӯлаи сечандаи таркибҳояш камҷавҳаронидашуда тағйироти бештари назарраси қиматҳои мусбии потенциалҳои коррозсионӣ-анодии онҳо дар муқоиса нисбат ба хӯлаи дукомпонента аниқ карда шудааст;
- ҳангоми муқоисаи графикаи тағйирёбии суръати коррозия ва тасвири микросохторҳои таркибҳои камҷавҳаронидашуда нишон дода шудааст, ки воридкунии $0.01 \div 0.1\%$ Ce , Pr ва Nd ба хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$ қобилияти

тағйирдиҳии шаклҳои гуногуни сохтори донавии онро зоҳир намуда, ба назаррас камкунии (1.5-3.5 маротиба) суръати коррозияи ғаёли он оварда мерасонад;

- ҳангоми ба ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ воридкунии иловаҳои алоҳидаи серий, празеодим ва неодим зиёдшавии сахтӣ ва мустаҳкамии ҳӯлаҳо аниқ карда шудааст;

- ҳангоми таҳқиқи равандҳои оксидшавии баҳамтаъсири сахтфазавии ҳӯлаи металли $Zn_{0.5}Al$ бо Ce , Pr ва Nd коҳиши назарраси суръати оксидшавии баландҳароратии он аниқ карда шудааст;

- ҳангоми оксидшавии сахтфазавии ҳӯлаҳо бо таркибҳои муносибшуда аз рӯйи вақт ва ҳарорат дар муҳити озмоишӣ, механизми афзоиши қабати оксидӣ дар асоси қонуни гиперболикии расман кинетикӣ асоснок карда шудааст.

Асосҳои назариявии таҳқиқоти диссертатсиониро корҳои таҳқиқотии асосӣ, ки дар системаҳои сохт, сохторҳосилкунӣ, ташаккулёбии қабати оксидӣ-муҳофизатӣ, таҷрибагузарониҳои микросохторӣ, анодӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ, расман-кинетикӣ ва дигар хусусиятҳои муҳими ҳӯлаи як-, ду- ва сечанда баррасӣ мешаванд, ташкил медиҳанд.

Аҳамияти амалии таҳқиқот:

- ҳӯлаҳои дучанда ва сечанда бо таркибҳои зерин ҳосил карда шуданд, %-и вазн: руҳ (99,5) – алюминий (0,5); руҳ (боқимонда) – алюминий (0,5) – серий (0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1); руҳ (боқимонда) – алюминий (0,5) – празеодим (0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1); руҳ (боқимонда) – алюминий (0,5) – неодим (0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1);

- ҳадди меъёрии самараноки ҷавҳаронии ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ дар алоҳидагӣ бо 0,01÷0,1% Ce , Pr ва Nd аниқ карда шудааст; таркиби ҳӯла муносибгардонӣ шуда, хосиятҳои гуногуни он таҳқиқ шуда ва 2 патенти ҚТ (ТJ1079, ТJ1081) гирифта шудааст;

- самаранокии иқтисодӣ ба маблағи 112 сомони 70 дирам (9.4\$ ИМА) аз ҳисоби рӯйпушкунӣ ҳамвори рӯйпушҳои ҳӯлавӣ дар $1m^2$ сатҳи рӯйпушкардашудаи муҳофизатии новачаҳои пӯлодии ноқилгузар, ки ин таҷриба дар давоми моҳҳои январ-март соли 2022 дар корхонаи ҚДММ "Ноқили ТАлКо", ш. Душанбе бомуваффақият санчида шуда буд, ба даст оварда шудааст.

Нуктаҳои асосӣ, ки ба ҳимоя пешниҳод карда мешаванд:

- натиҷаҳои ҷавҳаронии ҳаҷмӣ ва ҷудогона, микротаҳлили рентгенӣ ва сохтори хӯлаи металли $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои миқдории гуногуни Ce , Pr , Nd ;
- натиҷаҳои таҳқиқи тағйироти назаррас дар рафтори зиддикоррозионии оксидшавӣ ва устувории анодии хӯлаҳои ҳосилкардашуда дар муҳитҳои фаъоли коррозионии гуногун;
- натиҷаҳои таҳқиқи сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr, Nd)$;
- натиҷаҳои санҷиши таркибҳои камҷавҳаронидашудаи муносибкардашудаи хӯла ҳамчун рӯйпуш, ки барои муҳофизати зиддикоррозионии анодии маснуоти пӯлодии карбондор пешниҳод карда шудаанд.

Дарачаи эътимоднокии таҳқиқоти иҷрокардашуда. Методологияи омӯзиш ва асбобҳои истифодашуда ба талаботи илмӣ-таҳқиқотии муосир мутобиқат мекунад, ки дар амалия васеъ озмуда шудаанд. Натиҷаҳои дарёфтнамуда тавассути муқоисакунии маълумотҳои ин таҳқиқот бо таҳқиқотҳои, ки дигар олимон иҷро кардаанд, дар самти маводшиносӣ ва технологияи маводи нав муҳокима карда шудааст.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ ва наwgониҳои илмӣ ба бандҳои зерини шиносномаи феҳристи ихтисосҳои КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯйи самти ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав (6D071001.02 – саноати мошинсозӣ) мутобиқат мекунад:

банди – 1. Таҳқиқотҳои назариявӣ ва таҷрибаии баҳамалоқаманди бунёдии таркиб ва сохторҳои мавод бо ҳамгирии хосиятҳои физикавӣ-механикӣ ва истифодабарӣ бо мақсади таъмини устуворӣ ва дарозумрии мавод ва маснуот;

банди – 2. Муқаррар намудани қонуниятҳо дар равандҳои физикавӣ-химиявӣ ва физикавӣ-механикӣ;

банди – 3. Коркарди асосҳои илмӣ интиҳоби маводҳо барои хосиятҳои додашуда дар шароити мушаххаси истеҳсол ва истифодаи маснуот ва конструкцияҳо;

банди – 4. Коркарди равандҳои физикавӣ-химиявӣ ва физикавӣ-механикии ташаккулдиҳии маводҳои нав, ки дорои хосиятҳои беназири функционалӣ, физикавӣ-механикӣ, технологӣ ва истифодабарӣ, арзиши муносиб ва тозагии экологӣ мебошанд;

банди – 10. Коркарди усулҳои баландбардории тобоварии маводҳо ба коррозия дар шароитҳои гуногуни истифодабарӣ.

Саҳми шахсии довталаб ҳамаи марҳилаҳои иҷрокунии таҳқиқоти диссертатсиониро, оғоз аз интихоби мавзӯи диссертатсия, интихоби объектҳои таҳқиқот, таҳлили амиқи адабиёт, таъйини ҳадаф ва вазифаҳои таҳқиқот, коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ аз рӯйи мавзӯи диссертатсия ва анҷоми он то коркарди маҳсулоти нав бо сифатҳои олиро барои ниёзи соҳаҳои гуногуни саноат дар бар мегирад.

Тасвиби натиҷаҳои таҳқиқот дар диссертатсия. Натиҷаҳои дар диссертатсия воридкардашуда дар конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-назариявии «Омодасозии кадрҳои техникӣ дар шароитҳои саноатикунории мамлакат», Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ (ш.Душанбе, 2020); конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Суолоти мубрами илмҳои табиӣ ва технологияҳо», Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон (ш.Душанбе, 2020); III конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалии «Рушди илмҳои химия ва соҳаҳои истифодабарии онҳо», Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (ш.Душанбе, 2021); конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Нақши илмҳои табиӣ, дақиқ ва риёзӣ дар омодасозии омӯзгорон, муҳандисон ва кадрҳои илмӣ муосир», Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айнӣ (ш.Душанбе, 2021); конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Масъалаҳои муосири илмҳои табиӣ», Донишгоҳи (Славянии) Русияву Тоҷикистон (ш.Душанбе, 2021); конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалии «Муаммоҳо ва дурнамои рушди илми физика», Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б. Ғафуров (ш.Хуҷанд, 2025) ва конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Муаммоҳои муосири физикаи фундаменталӣ ва амалӣ». Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б. Ғафуров (ш.Хуҷанд, 2025) тасвиб шуданд.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Аз рӯйи натиҷаҳои таҳқиқоти диссертатсионӣ 11 мақолаҳо дар маҷаллаҳои, ки аз ҷониби ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудаанд ва 8 мақолаҳо дар маводҳои конференсҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ нашр шудааст. 2 патенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, хулосаҳо, рӯйхати адабиёт ва замимаҳо иборат аст. Рисола аз 148 саҳифа иборат буда, 28 ҷадвал, 38 расм ва 128 номгӯйи манбаи адабиётро дар бар мегирад.

БОБИ 1. РАФТОРИ АНОДӢ ВА ОКСИДШАВИИ ХӢЛАҲОИ ЧАВҲАРОНИДАШУДАИ Zn-Al ВА РУЙПӢШҲОИ МУҲОФИЗАТӢ ДАР АСОСИ ОНҲО (Шарҳи адабиёт)

1.1. Сохторҳосилкунӣ ва хусусиятҳои фазаҳои оксидии хӢлаҳои чавҳаронидашудаи Zn-Al

Ба диаграммаи ҳолати ин системаи Zn-Al шумораи зиёди таҳқиқотҳо бахшида шудаанд, ки бо методҳои таҷрибавии физикавӣ-химиявӣ анҷом дода шудаанд [23–28]. Ба роҳ мондани ин таҳқиқотҳо на танҳо бо қимати баланди техникӣ ва таркиби гуногуни хӢлаҳое, ки дар асоси системаи Zn-Al сохта шудаанд, балки инчунин бо шакли ғайриоддии қачхати солидус дар минтақаи хӢлаҳо бо миқдори руҳ 60–72% вобаста аст. Ин шакли ғайриоддии қачхат ба мавҷудияти реаксияи перитектикӣ дар ин система нисбат дода мешуд. Аммо таҳқиқоти солҳои охир мавҷуд набудани реаксияи перитектикиро дар ин система исбот карданд. Ин таҳқиқотҳо бо методҳои таҳлили микроскопӣ, сабти фарқиятноки қачхатҳои хунуккунӣ ва гармкунӣ, чен кардани муқовимати электрӣ ва доимии панҷараи кристаллии хӢлаи таҳқиқшаванда дар ҳароратҳои гуногун анҷом дода шудаанд [23–28].

Ҳангоми дохилшавии руҳ ба маҳлули саҳти алюминий фишурдашавии панҷараи кристаллии он мушоҳида мешавад. Бо дохилшавии 1% руҳ ба маҳлули саҳти алюминий доимии панҷараи он аз $6.05 \cdot 10^4$ то $6.80 \cdot 10^4$ кХ коҳиш меёбад. Бо мурури замон руҳ коҳиши назарраси доимии панҷараи алюминийро ба вуҷуд меорад, ки параметрҳои панҷараи намунаҳои таркиби гуногуни хӢлаҳоро тавсиф мекунанд [26, 28].

Ҳангоми сохтани диаграмма, муҳаққиқ инчунин натиҷаҳои кори дигар муҳаққиқонро оид ба санҷиши иловагии мавқеи хатти солидус бо усули таҳлили микроскопӣ ва ҳудудҳои мавҷудияти марҳилаҳои гуногунро (бо усулҳои таҳлили гармӣ, микроскопӣ ва рентгенӣ, инчунин бо усули чен кардани муқовимати электрикӣ) ба назар гирифтааст [28].

Аз диаграммаи ҳолат бармеояд, ки алюминий ва руҳ дар ҳолати саҳт қобилияти ҳалшавии ҳамдигарро доранд, ки барои хӢлаҳои ғанӣ аз алюминий

муҳим аст ва барои ҳулаҳои ғанӣ аз рух хеле маҳдуд аст. Мавҷудияти максималии рух дар маҳлули саҳти алюминий (марҳилаи β) ба ҳарорати эвтектикӣ (381°) мувофиқ буда, 82,8%-ро ташкил медиҳад. Бо паст шудани ҳарорат, ҳалшавии рух дар алюминий босуръат кам шуда, дар 200° 12,4%, дар 125° – 5,6%, ва дар 20° – на бештар аз 2% мебошад. Хусусияти чунин тағйиротро дар ҳалшавии рух дар алюминий бо ҳарорат ченкунии микросаҳтии ҳулаҳо, ки дар ҳароратҳои гуногун тадқиқ карда шудаанд, тасдиқ намуданд. Дар ин тадқиқотҳо ҳалшавии рух дар алюминий дар 200° 12% ва дар 20° 2% муайян карда шуд [28].

Аз диаграммаи мазкур бермеоҷд, ки ҳангоми кристаллшавӣ тағйироти нонаварианти ба амал меоянд: перитектикӣ (дар 443°C , нуқтаи перитектикӣ $\sim 70\% \text{ Zn}$) $\text{Ж} + \text{Al} \rightarrow \text{ZnAl}$ ва эвтектикӣ (дар 382°C , нуқтаи эвтектикӣ 94,9% Zn) $\text{Ж} \rightarrow \text{Al} + \text{ZnAl}$. Ҳарорати эвтектикии 455°C (ба ҷои 443°C) ва ҳарорати эвтектоидии 236°C (ба ҷои 275°C) ҳамчун қиматҳои боэътимодтарин қабул шудаанд; инчунин минтақаи мавҷудияти фазаи ZnAl каме маҳдудтар дода шудааст [28].

Минтақаи $\text{Al} + \text{ZnAl}$ хеле танг аст, ва ҳадди он дақиқ муайян нашудааст. Аз ҷониби рух (Zn) нишебии солидус ва ликвидус то ҳарорати эвтектика хеле тезанд. Фазаи ZnAl (70,6% Zn) дорои шабакаи кубии маркази рӯйдор бо параметре мебошад, ки дар 340°C аз 4,04 Å ҳангоми 70% Zn то 4,03 Å ҳангоми 76% Zn коҳиш меёбад ва, эҳтимолан, сохтори тартибёфта дорад. Дар 275°C фаза бо реаксияи эвтектоидӣ ба $\text{Al} + \text{Zn}$ таҷзия мешавад; нуқтаи эвтектоидӣ ба 78% Zn мувофиқ аст [28].

Сахтшавӣ аз ҳолати моеъ минтақаи ҳамчинсии фазаи ZnAl-ро васеъ мекунад ва ҳамзамон минтақаи маҳлули саҳти алюминийро коҳиш медиҳад. Маълумот дар бораи гармии омехта ва дигар функсияҳои термодинамикӣ дар қорҳои [23–27] ёфтан мумкин аст. Зариби тавсеаи ҳатӣ бо зиёд шудани миқдори рух зиёд мешавад. Ҳангоми гарм кардани ҳулаҳое, ки зиёда аз 30% Zn доранд, дар ҳарорати 275°C тавсеаи шадид ба амал меояд, ки ин бо табдили $\text{Zn} \rightarrow \text{Al} + \text{Zn}$ вобаста аст. Фишурдашавӣ ҳангоми кристаллшавӣ бо афзоиши миқдори рух зиёд мешавад ва барои ҳула бо 18% Zn 7,1% ташкил медиҳад [28].

Зичии хӯлаҳои моеъ ҳангоми гармкунии пайдарпай мутаносибан бо миқдори руҳ зиёд мешавад ва дар ҳузури 30% Zn 25-30% бештар аз зичии алюминий мебошад. Қобилияти ҷараёнокӣ ҳангоми рехтагарӣ аз сабаби мавҷудияти ифлосиҳо ва инчунин бо зиёд шудани фосилаи кристаллшавӣ тез коҳиш меёбад. Шиддати сатҳӣ дар марзи ҷудокунандаи моеъ-газ тадриҷан кам мешавад ва дар таркиби эвтектикӣ то 25% паст мешавад. Шиддати сатҳӣ дар марзи ҷудокунандаи моеъ – фазаи сахт тақрибан 0,06-0,08 Н/м мебошад. Гузариши ғаллии моеъ аз марзи доноро дар тадқиқоти [26] омӯзиш кардаанд.

Муқовимати махсуси алюминий ҳаттӣ афзоиш ёфта, ба $5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м мерасад, ки ба хӯлаи дорои 20% Zn мувофиқ аст. Рафтори он дар ҳароратҳои паст дар корҳои [24, 25] таҳқиқ шудааст.

Зариби ҳароратии муқовимат тақрибан $1,7 \cdot 10^{-12}$ Ом·м/К мебошад ва то 70% Zn нигоҳ дошта мешавад. Муқовимати электрӣ дар ҳолати моеъ дар ҳарорати 727°C пайваستا афзоиш меёбад: аз $\sim 25 \cdot 10^{-8}$ Ом·м дар набудани Zn то $38 \cdot 10^{-8}$ Ом·м ҳангоми 70-80% Zn, баъдан тадриҷан кам мешавад. Маълумот дар бораи ҳаракати электронҳо дар ҳолати моеъ дар таҳқиқоти [23] оварда шудаанд. Қувваи электроҳаракаткунанда (Қ.Э.Х.) нисбат ба мис бо зиёд шудани миқдори руҳ коҳиш меёбад ва дар иштироки 70-90% Zn ба сифр мерасад. Гармии омехта ва дигар функсияҳои термодинамикӣ дар корҳои [24-27] тавсиф шудаанд.

Ҳассосияти магнитӣ то $\sim 11 \cdot 10^{-8}$ мм³/моль коҳиш меёбад, ки ба хӯлаи дорои 30% Zn мувофиқ аст. Маълумот дар бораи рафтори доимии Холл дар тадқиқоти [23, 24] оварда шудаанд.

Суръати паҳншавии ларзишҳои ултрасадо тақрибан 12-15% барои хӯлаи дорои 30% Zn коҳиш меёбад. Барои хӯлаҳои бо мавҷудияти руҳ камтар аз 20% коркарди ҳароратӣ кам самаровар аст; бо афзоиши мавҷудияти руҳ, сахтӣ ҳам дар ҳолати хунуккардашуда ва ҳам дар ҳолати ғасурдашавӣ меафзояд, ки баъд сахтӣ дар ҳар ду ҳолат кам мешавад. Локализатсияи руҳ дар марзҳои хӯлаҳо қувватро кам мекунад. Ҳади ҷараёни маводи хӯлаҳо аз маводи ками (то 0,09%) руҳ кам мешавад, пас мунтазам меафзояд. Хусусияти радиатсионӣ дар ҳарорати манфӣ метавонад мусоидат ба қувватро афзоиш пайдо кунад [28].

Тавсияи модули эластикӣ аз ворид кардани руҳ кам аст, эҳтимолан омили муайянкунанда коркарди ҳароратӣ мебошад. Қобилияти демпфиркунандаи хӯлаҳо хеле кам мешавад. Маҳдудиятҳои кучандагӣ ва куфтагӣ каме афзоиш ёфта, муқовимат ба кучандагӣ дар 277°C ҳадди ақал аст. Барои хӯлаҳое, ки бо фасурдашавӣ тақвият ёфтаанд, ҳадди кучандагӣ дар раванди фасурдашавӣ меафзояд. Ҳарорати ҳаракати марзҳои хӯлаҳо дар кучандагӣ, ҳаракати дислокатсияҳо, деформатсияи кучандагӣ дар борҳои куфтагӣ ва пайдоиши вайроншавӣ дар раванди кучандагӣ таҳқиқ карда шуд. Барори куфтагӣ боис мешавад, ки марзҳои хӯлаҳо кучанд ва вайроншавии маҳлули саҳт ба суръат гузарад, ки бо иваз кардани маводи фарсуда ва вайроншав бо хӯлаҳои дигари алюминий ба амал меояд. Ҳарорати сурхии сатҳ ба қувваи статикӣ кам таъсир мерасонад, аммо метавонад муқовимат ба куфтагиро то 80% кам кунад [28].

Ликватсияи Zn метавонад ба парокандагии қиматҳои потенциал дар доираи як хӯлаи ягона оварда расонад. Хӯлаҳои бо дисперсия саҳтшаванда ба коррозияи байниқисмӣ ва коррозияи зери фишор хеле ҳассос мебошанд. Дар корҳои [23-26] ҳамбастагии микросохтор ва тарқишхӯрии коррозияи зери фишор омӯзиш шудааст. Руҳ ба андозаи донаи алюминийи худохташуда таъсири назаррас намерасонад. Тавсифи рушди дона ва ликватсия дар хӯлаҳои Al-Zn ва таъсири онҳо ба сохтор дар таҳқиқоти [28] оварда шудааст, ки сохтори эвтектикӣ, поксозии минтақавӣ ва сохтори дислокатсионӣ дар натиҷаи ликватсия ҳангоми сардшавии тез муайян ва муҳокима шудааст.

Ҳаракати нуқсонҳои нуқтагӣ дар чараёни деформатсия дар ҳароратҳои манфӣ, мавҷудияти нуқсонҳои бастабандӣ пас аз деформатсияи хунук, ҳаракати дислокатсияҳо ба сӯи нуқсонҳои бастабандӣ, пайдоиши нуқсонҳо ҳангоми гармкунии тез ва ташаккули дислокатсияҳо дар натиҷаи бухоршавии руҳ омӯзиш шудааст. Энергияи нуқсонҳои бастабандӣ бо илова кардани руҳ паст мешавад. Чандирии алюминий бо иловаи руҳ коҳиш меёбад, аммо хӯлаҳое, ки зиёда аз 60% Zn доранд, ҳосияти ғавқулодда чандириро нишон медиҳанд [28].

Маълумот дар бораи таъсири руҳ ба рекристаллизатсия муҳолиф аст: мувофиқи маълумот суръати онро зиёд намуда, давраи инкубатсиониро кам

мекунад, тибқи ин маълумот, руҳ ба ҳарорат таъсир намерасонад, вале аз рӯи маълумот онро баланд мебардорад. Таъсири руҳ аз сатҳи ғашҳои мавҷудбуда вобаста буда, илова бар ин, руҳ ба маводе, ки аз ғашҳо тоза карда шудааст ва инчунин ба маводи тозагии техникӣ гуногун таъсир мерасонад. Шикастпазирии гармӣ дар 6% Zn ба ҳадди аксар мерасад ва сипас каме коҳиш меёбад [28].

Баррасӣ шудааст, ки диффузия бо афзоиши бетартибии блокҳои мозаикӣ ва инчунин бо зиёд шудани деформатсия суръат мегирад. Аммо, деформатсияи хастагӣ ба зиёд шудани суръати диффузия оварда намерасонад, дар ҳоле, ки ҳангоми татбиқи фишор он коҳиш меёбад. Дар бораи сахми назарраси сарҳадҳои донаҳо дар раванди диффузия, ки аз дараҷаи бетартибӣ вобаста аст, маълумотҳо мавҷуд аст. Диффузия дар ҳӯлаҳои алюминии синтезшуда метавонад то 5 маротиба тезтар аз алюминий сурат гирад, ки ин ба дарозии бештар доштани сарҳадҳои донаҳо марбут аст. Тибқи ин маълумотҳо, ғашҳо диффузияро метезонанд, дар ҳоле, ки хром онро суст мекунад. Аммо, руҳ бо мис, магний, манган, оҳан ва хром ҳамгирой намекунад. Суръати диффузияи руҳ дар алюминийи моеъ дар 727°C ба суръати диффузияи мис ва магний монанд аст. Энергияи фаъолкунии диффузияи Al дар руҳ 2 эВ-ро ташкил медиҳад ва зарби диффузия барои ҳӯлаҳо бо 25-87% Zn дар 577°C муайян карда шудааст [28].

Ҳӯлаҳои Al-Zn, ки бо ғасурдашавӣ мустаҳкам мешаванд, дар ҳолати сӯзаншаклӣ (обутобшуда) холигии зиёдотӣ доранд, ки шумораи онҳо бо баланд шудани ҳарорат меафзояд. Минтақаҳо дар ҳалқаҳои дислокатсияҳо дар натиҷаи конденсатсияи холигиҳои сӯзаншакл ташаккул меёбанд. Қимати доимиятҳои диффузия, ки барои ташаккули минтақаҳо заруранд, ба диаметри онҳо вобаста аст. Диаметри минтақаҳо асосан аз ҳарорат ва давомнокии ғасурдашавӣ вобаста буда, миқдори руҳ танҳо ба шумораи минтақаҳо таъсир мерасонад. Минтақаҳо 50% Zn доранд, аммо танҳо як қисми руҳи зиёдотӣ ба минтақаҳо ворид мешавад. Параметри решаи минтақаҳо 3,991 Å, ва қабатҳои атрофи онҳо, ки бо руҳ кам ғанӣ шудаанд, 4,115 Å мебошад; бинобар ин, қабатҳои охирин дар ҳолати тавлиди шиддат қарор доранд ва инчунин бо холигии зиёдотӣ ғанӣ мешаванд. Энергияи ҳамгироии ин минтақаҳо бо матритса 0,046 Н/м аст [28].

Суръати ташаккули минтақаҳо ба таври назаррас аз шумораи холигиҳои сӯзаншаклӣ вобаста аст; барқароршавӣ пас аз фасурдашавӣ, деформатсияи хунук, барқароршавӣ пас аз деформатсия, ҳарорати паст, яъне ҳамаи омилҳои шумораи холигиҳоро коҳиш медиҳанд, метавонанд суръати ташаккули минтақаҳоро то сатҳи суръати маъмулии диффузияи руҳ дар алюминий паст кунанд. Ташаккули минтақаҳо ҳатто бо суръати хеле баланд низ имконпазир аст. Тақсимои минтақаҳо дар матритса тавассути майдонҳои шиддат, ки дар атрофи онҳо ба вучуд меоянд, муайян карда мешавад. Механизми холигӣ барои интиқоли атомҳои ҳалшуда ба ин минтақаҳо бо иштироки холигиҳои зиёдатӣ пешниҳод шудааст. Азбаски диаметри минтақаҳо бо гузашти вақт афзоиш меёбад, шумораи онҳо то ду тартиб коҳиш меёбад ва эҳтимолан концентратсияи руҳ дар онҳо зиёд мешавад [28].

Дар системаи $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$ шпинели ZnAl_2O_4 мавқеи махсусро дар истеҳсоли маҳсули гуногун ишғол мекунад ва маҳсули сифатнок дар металлургия мебошад [29]. Маълумот оид ба кристаллохимия ва тавозуни марҳилаҳои ташаккули оксидҳои оддӣ ва мураккабро вобаста ба таркиб ва ҳарорат тасдиқ мекунанд [30].

Дар ҳарорати озмоишӣ бо мурури замон дар доираи $750\div 1200^\circ\text{C}$, шпинел ба $4\text{ZnO}\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ (сохтори ГЦК), $6\text{ZnO}\cdot 94\text{Al}_2\text{O}_3$ (сохтори моноклинӣ) ва $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{ZnO} > 99$ (сингонияи моноклинӣ) таҷзия мешавад [30].

Дар системаи Al-Zn-Ce пайвастагии $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Ce}$ ташаккул меёбад, ки сохтори он ба пайвастагии CeGa_2Al_2 монанд аст. Рентгенограммаи марҳилаи нишон дода шуда, марҳила бо панҷараи тетрагоналӣ хос аст. Дар тавозун алюминий, руҳ, интерметаллидҳои дучанда ва пайвастагии $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Ce}$ ҷой хоҳанд гирифт [31].

Графики сатҳи ликвидуси системаи сечандаи $\text{Al-Zn-Al}_2\text{Ce}$ бо асоси натиҷаҳои таҳқиқоти физикӣ-химиявӣ ва таҳлилҳои термикӣ-дифференциалӣ тартиб дода шудаанд. Мувозинати фазаӣ ва буришҳои политермикӣ дар системаи сечандаи $\text{Al-Zn-Al}_2\text{Ce}$ таҳқиқ шудаанд. Системаи сечанда ба системаҳои дуҷумдараҷа тақсим мешавад [31].

Пайвастагии $\text{Al-Al}_2\text{Zn}_2\text{Ce-Zn}$ бо се системаҳои дучанда маҳдуд аст. Ин

системаҳо бо намуди соддаи эвтектикӣ ҳосият доранд. Хатҳои табилооти моновариантӣ e ва E ба мувозинати мутобиқи эвтектикӣ ҷавобгӯ мебошанд. Мувозинати нонвариантӣ дар системаи сечанда пурра муайян карда шуданд [31].

Тавозуни марҳилаҳо дар системаи $\text{Ce}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ мавҷудияти ду пайвастагии CeAlO_3 ва $\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ -ро нишон медиҳад. Қайд карда шудааст, ки алюминатҳои серӣ дар атмосфераи барқароршаванда устуворанд. CeO_2 химиявӣ бо Al_2O_3 вокуниш намекунад. Аммо ҳангоми таҳлили омехтаи онҳо дар ҳарорати аз 1600° боло $\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ ҳосил мешавад [30].

Пайвастагии Al_4Ce сохтори навъи Al_4Ba дорад, ки бо панҷараи тетрагоналии марказашон ҳаҷмӣ тавсиф мешавад ва доимиятҳои панҷараи он чунинанд: $a = 4.365$ ва $c = 10.096$ Å. Пайвастагии Al_2Ce сохтори навъи MgCu_2 дорад ва бо панҷараи кубии марказаш сатҳӣ тавсиф мешавад. Доимии панҷараи кристаллии ин пайвастагӣ ба 8.04 Å баробар аст [31].

Бо сабаби ҳалшавии маҳдуди серӣ дар алюминийи саҳт, дар сохтори ҳулаҳо ҳатто бо миқдори камтарини серӣ дохилшавии ҷисми саҳт ва фазаи Al_4Ce мавҷуд аст. Аз ин рӯ, маҳдудияти устуворӣ дар кашиш, саҳтӣ, муқовимат ба печиш ва устувории куфтагӣ, инчунин устуворӣ ба оксидшавӣ ҳангоми ҷавҳаронӣ бо унсурҳои сеюм ва чорум зиёд мешавад [31].

Дар системаи Al-Zn-Pr фазаи $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Pr}$ ташаккул меёбад, ки сохтори он ба сохтори фазаи CeGa_2Al_2 шабоҳат дорад. Рентгенограммаи фаза бо таҳлилҳои физикӣ-химиявӣ муайян шудааст. Сохтор ҳамчун панҷараи тетрагоналӣ тавсиф мешавад. Дар системаи сечандаи Al-Zn-Pr як қатор буришҳои квазибинарӣ муайян шудаанд, масалан, $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Pr-Al}_2\text{Pr}$ ва ғайраҳо [31, 32].

Системаи $\text{Al-Al}_2\text{Zn}_2\text{Pr-Al}_2\text{Pr}$ дорои ду эвтектикаи сефазаи e_4 ва e_5 , як перитектикаи сефазаи p_1 , як эвтектикаи чорфазаи P_1 ва як эвтектикаи чорфазаи E_1 мебошад. Ҳароратҳои таҷрибаҳо ҳангоми тавозуни пайвастагиҳо аз 643 то 1513K муайян шудаанд. Мавҷудияти компонентҳо (ат.%) дар ҳулаи сечанда дорои концентратсияи гуногун мебошад. Тавозуни фазаҳо дар нуктаҳои нонвариантӣ гуногун аст. Графики тавозуни фазаҳо дар ин система дар асоси маводи ибтидоии гелии якҷоя таҳияшуда сохта шудааст [31].

Дар ин система $\text{Pr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ ду пайвастагии $\text{Pr}_2\text{O}_3\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ ва PrAlO_3 ёфт шудаанд. Ҳалшавии сахт байни PrO_2 ва PrO_3 , ки тавассути таъсири Al_2O_3 ба омехтаи оксидҳои празеодим ($\text{Pr}_2\text{O}_3+\text{Pr}_6\text{O}_{11}$) ё PrO_2 ҳосил мешаванд, нишон дода шудааст. Дар формулаи умумии ин ҳалшавиҳо x аз 0 то 0.33 тағйир меёбад ва ҷойивазкунӣ тибқи схемаи $3\text{Pr}^{3+}=2\text{Pr}^{4+}+\text{Me}^+$ рух медиҳад. Пайвастагии MePrO_2 , инчунин ҳалшавии сахт, сохтори навъи $\alpha\text{-NaFeO}_2$ дорад. Дар ин ҳолат, ташаккули силсилаи пайвастагиҳои байни KPrO_2 ва K_2PO_3 эҳтимол аст [30].

Графики тавозуни фазаҳо дар системаи сечандаи Al-Zn-Nd дар доираи концентратсияҳои гуногун ва ҳароратҳои мухталиф сохта шудааст. Дар ин система пайвастагии $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Nd}$ мавҷуд аст, ки сохтори он ба фазаи CeGa_2Al_2 монандӣ дорад. Рентгенограммаи сохтор бо таҳлилҳои рентгенофазавӣ муайян шудааст. Сохтор ҳамчун панҷараи тетрагоналӣ тавсиф мешавад. Дар тавозун бо пайвастагии сечандаи $\text{Al}_2\text{Zn}_2\text{Nd}$ системаҳои дучандаи Al-Zn ва Zn-Nd ҷойгир мешаванд. Тавозунҳои нонварианти дар системаи мазур омӯхта шудаанд [31].

Се нуқтаи эвтектикии сефаза, ки дар хати баробари мувозинати моноварианти ҷойгир аст ва дар он хати мувозинати чорфаза бурида мешавад, дар нуқтаи кристаллшавии ҳулаҳо бо ҳарорати доимӣ анҷом меёбад. Хати буриши минтақаҳои система мувозинати моновариантии ду фаза ва интерметаллидиро тавсиф мекунад [31].

Системаи $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ метавонад дар техникаи радиокерамика ва нимноқилӣ аҳамият дошта бошад. Дар ин система ду пайвастагии кимиёвӣ ошкор карда шудааст: $\text{Nd}_2\text{O}_3\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ва $\text{Nd}_2\text{O}_3\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$. Нуқтаҳои инварианти низ муайян ва аниқ карда шудаанд. Раванди ташаккули $\text{Nd}_2\text{O}_3\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ марҳилавӣ мебошад: ҳамчун фазаи миёна $\text{Nd}_2\text{O}_3\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ ташаккул меёбад. Оксидҳои шпинелии $\text{Nd}_2\text{O}_3\cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ дар ҳарорати $1600\text{-}1650^\circ$ ташаккул меёбанд [30].

Тағйироти ҳарорати баланд дар неодим дар шакли кристаллҳои кубии марказшудаи ҳаҷмӣ кристалл мешавад, дар ҳоле ки $\beta\text{-Nd}$ силсилаҳои пайвастаи маҳлулҳои сахтро ташкил медиҳад. Қариб ҳамаи металлҳои нодири тоза дар ҳарорати баланд ва ҳолати сахт ба тағйироти аллотропии $\alpha\text{-La} \rightarrow \beta\text{-La} \rightarrow \gamma\text{-La}$ ва баръакс $\beta \rightarrow \alpha$ дучор мегарданд [31].

1.2. Таъсири муҳитҳои коррозсионӣ ва хосиятҳои механикӣ ба рафтори ҳӯлаҳои анодии ҷавҳаронидашудаи Zn-Al

Рӯйпӯшҳо аз руҳ ҳам дар маҳлулҳои электролитии қавии кислотагӣ ва ҳам дар маҳлулҳои электролитии ишқорӣ ҳал мешаванд. Дар минтақаҳои миёнаи қиматҳои pH, ZnO ё $\text{Zn}(\text{OH})_2$ душвор ҳал мешаванд ва қабатҳои муҳофизатиро ташкил медиҳанд. Тавре маълум аст, дар маҳлулҳои агрессивӣ бо қиматҳои миёнаи pH, рӯйпуши руҳӣ муқовимати хеле баланди зидди коррозсионӣ дорад, ки боиси истифодаи васеи он барои пӯшиш додани оҳан ва пӯлод шудааст. Худуди pH бо муқовимати баланд хеле васеъ буда, қабати муҳофизатӣ одатан аз оксиди тозаи руҳ нест, балки аз карбонатҳои асосӣ ва дигар намакҳои монанд иборат аст. Баръакси оҳан, никел ва хром, муҳофизати зидди коррозсионӣ на аз пардаи оксидии пасивӣ, балки аз қабати муҳофизатии намакӣ, ки изолятор аст, таъмин карда мешавад. Дар роғҳои боқимонда коррозсияи фаъоли руҳ ба амал меояд. Бояд қайд кард, ки коррозсияи кислотаии фаъоли руҳи тоза бинобар шиддати хеле баланди гидроген нисбатан суст мегузарад. Дар маҳлулҳои ишқорӣ, рӯйпӯшҳои руҳӣ хоси қубурҳои поляризатсионӣ доранд, ки барои металли пасивкунӣ хосанд. Вале ҷараёни электрӣ дар ҳолати пасивӣ чунон баланд аст, ки дар амал пасивӣ буданро номумкин месозад [33].

Алюминий бо руҳ ҳамроҳ шуда, гармӣ ҷудо мекунад. Гармии ҷойивазкунии ин металлҳо дар ҳарорати 800°C тавсиф мешавад. Бо зиёд шудани миқдори руҳ, гармии маҳфии гудозиши ҳӯлаҳои системаи Al-Zn пайваста коҳиш меёбад, дар ҳоле, ки ҳадди аксари гармии маҳфии табдили эвтектикӣ ба ҳӯлаи дорои 77,3% Zn ва табдили эвтектоидӣ ба ҳӯлаи дорои 94% Zn мувофиқ аст. Тадқиқоти металлографӣ нишон дод, ки гудозиши ҳӯлаҳои руҳ-алюминий, бар хилофи гудозиши алюминийи тоза (99,99%), ҳамзамон дар тамоми сарҳади дона оғоз меёбад [34].

Дар баробари истифодаи рӯйпушҳои саноатии руҳӣ, имрӯзҳо рӯйпӯшҳои ҷавҳаронидашуда бо иловаи элементҳои сеюм, ба монанди кобальт, никел ва дигарҳо коркард мешаванд. Онҳо аз рӯи хосиятҳои зидди коррозсионӣ, технологӣ ва истифода хеле аз рӯйпушҳои руҳ бартарӣ доранд. Ҳангоми ҳалшавии анодии

хӯлаҳои руҳи ҷавҳаронидашуда, аввал элементи электроманфӣ ҳал мешавад. Дар ҳарду ҳолат, ҳангоми васли анодҳо бо электролит, дар сатҳи металли электромусбат элементи электроманфӣ ҷудо мешавад [35].

Тағйирёбии ҳарорати ҷӯшиши хӯлаҳои руҳ-алюминий дар фишори атмосфера вобаста ба таркиб нишон медиҳад, ки афзоиши миқдори алюминий дар хӯлаҳо ҳарорати ҷӯшиши онҳоро пайваستا баланд мекунад. Маълумоти рақамӣ оид ба зичии хӯлаҳои дорои таркиби гуногун нишон медиҳад, ки бо зиёд шудани миқдори руҳ дар хӯлаҳо зичӣ пайваستا афзоиш меёбад. Хӯлаҳои рехташуда дар қолаб нисбат ба хӯлаҳои рехташуда дар рег зичии баландтар доранд. Ҳадди аксари зарби ҳароратии сахтӣ ба хӯлаи таркиби эвтектоидӣ мувофиқ аст. Сахтии Бринелл дар намунаҳои хӯлаҳои рехташуда дар қолаб муайян карда шудааст [34].

Дар амал, коррозияи бо нобаробарии ҳаводихӣ ба вучудодада асосан ба конструкцияҳои пӯлодии карбондошта, ки дар маҳлулҳои гуногуни электролит кор мекунанд, таъсир мерасонад. Ин навъи коррозия махсусан дар конструкцияҳои қисман ғўтондашуда ё қисман пӯшидашуда бо маҳлул, бе омехташавӣ ё ҷараёнбӣ ба назар мерасад (масалан, таҷҳизоти зарфӣ, бастанӣ об дар зарфҳои газӣ, систернаҳо ва ғ.). Дар ин ҳолат, пеш аз ҳама, ба коррозия он қисматҳо дучор мешаванд, ки андаке аз сатҳи об дуртар ҷойгиранд, дар ҳоле ки қисми сатҳе, ки мустақиман ба сатҳи об наздик аст (яъне дар ҷойҳое, ки оксиген бештар дастрас аст), тамоман ба коррозия дучор намешавад. Масалан, коррозияи зарфи пӯлодин, ки пурра бо об пур нашудааст, дар аввал дар қисматҳое, ки аз сатҳи об дуртаранд, оғоз меёбад ва сипас коррозия дар минтақаҳои гуногун тадриҷан паҳн мешавад. Дар назди сатҳи об минтақае боқӣ мемонад, ки ба коррозия дучор нашудааст. Бинобар ин, дар чунин конструкцияҳо ҷойҳои осебпазиртарини онҳо қисми поёнӣ ва минтақаи наздики поён мебошанд, ки дар ин ҷо аввалин шуда ихроҷ мушоҳида мешавад [34–38]. Барои он, ки рӯйпушҳои руҳ барои муҳофизати пӯлод истифода мешавад, метавон коррозияи пӯлодро дар муҳити қавии электролитии кислотаи сулфат вобаста аз зичии критикии ҷараёни электрикӣ ва ҳарорати 24°C аз ҷадвали 1.1 мушоҳида намуд [39].

Ҷадвали 1.1. – Таъсири консентратсияи кислотаи сулфат ба суръати коррозия ва зичии критикии ҷараён барои пӯлод ҳангоми 24°C [39]

Консентратсияи H_2SO_4 , %	Суръати коррозия, $г/м^2/рӯз$	Зичии критикии ҷараён, $A/см^2$
0	0	47
40	48	16
45	120	14
55	192	10
65	168	7
75	144	4
100	0	1

Электропотенсиали хӯлаҳои дорои 100-40% Zn дар маҳлули 3%-и NaCl ($pH=5$) аз электропотенсиали руҳ фарқи кам дорад. Ҳатто илова кардани 1% руҳ ба алюминий кофист, ки ин хӯла нисбат ба алюминийи тоза анодӣ гардад [34].

Дар амалияи истеҳсоли исбот шудааст, ки рӯйпушҳои галванӣ аз рӯйи ҳаҷми истеҳсолот ҷойи дуҷумро ишғол мекунад. Бинобар ин, аз интиҳоби дурусти маводҳо барои истеҳсоли маҳсулот, мошинҳо ва дастгоҳҳо, истифодаи усулҳои самарабахши ҳимоя аз коррозия, насби дуруст ва истифодаи оқилонаи таҷҳизот ба таври ҷиддӣ ҳосилнокии меҳнат ва сифати маҳсулоти корхонаҳои соҳавӣ вобаста аст [40–43].

Дар хӯлаҳои асосаш алюминий, сахтии Бринелл бо зиёдшавии миқдори руҳ то 70% пайваста афзоиш меёбад, аммо тағйироти назарраси қувваи кашишӣ танҳо вақте руҳ медиҳад, ки миқдори руҳ аз 7% зиёд шавад. Дар хӯлаҳои асосаш руҳ, зиёд кардани миқдори алюминий то 20% қувватро дар ҳолати рехта афзоиш медиҳад, вале афзоиши минбаъдаи алюминий то 50% ба қувваи кашишӣ таъсири назаррас надорад ва дарозшавиро беш аз ду маротиба коҳиш медиҳад [44].

Бо назардошти фарқияти хосиятҳои маводҳо ва гуногунии муҳитҳои агрессивӣ дар истеҳсолот, интиҳоби мавод барои истеҳсоли маҳсулот ва конструксияҳо ва усули ҳимояи таҷҳизот ва маҳсулот аз коррозия танҳо дар

ҳолате дуруст анҷом дода мешавад, ки сабабҳои коррозия, хосиятҳои мавод ва рафтори онҳо дар муҳитҳои гуногуни барангезиш хуб маълум бошанд. Масалан, лозим аст, ки бо коррозияи хӯлаҳои металлӣ дар электролитҳои дорои хлорид кор карда шавад, ки дар ин ҳолат раванди коррозияи бо таъсири ионҳои хлорид вобаста буда, ба коррозияи электрохимиявӣ алоқаманд аст [44–46].

Хӯлаҳои дорои 6-30% Zn ба коркарди гармӣ ҳассосанд ва метавонанд тавассути гармохунук кардан ва ғасурдашавии табиӣ ё сунӣ мустаҳкам карда шаванд. Тадқиқотҳо нишон доданд, ки ҳадди аксари таъсири ғасурдашавӣ барои хӯлаҳои алюминийи рехта ҳангоми доштани 15-21% Zn ва ғасурдашавии сунӣ онҳо пас аз хунуккунӣ ба назар мерасад [44].

Дар таҷрибаи ҳаҷонӣ равандҳои гальванизатсияи қисмҳои гуногун, хусусан маснуоти пӯлодӣ дар хӯлаи обшудаи руҳ, ҳарчи бештар паҳн мешаванд. Аз ин рӯ, илова кардани элементҳои ҷавҳаронӣ ба хӯлаи руҳ як амалиёти муҳим ба шумор меравад. Интиҳоби усули ҷавҳаронӣ аз шароити мушаххаси истеҳсолот вобаста аст. Одатан, ҷавҳаронӣ бо ду усул анҷом дода мешавад: бо илова кардани элементҳои ҷавҳаронӣ ба хӯлаи руҳ дар шакли металлҳои дахлдор ё лигатураҳои пешакӣ омодашудаи асоси руҳ ё алюминий. Усули аввал мувофиқтар аст, зеро омодаسازی хӯлаҳои махсусро талаб намекунад. Аммо илова кардани металлҳо ба хӯлаи руҳ дар шакли гудозишҳо ё варақҳо бо амалиёти иловагӣ вобаста буда, барои ҳал шудан вақти зиёд талаб мекунад. Бо вучуди ин, мумкин аст, ки магнийи металлиро бевосита ба хӯлаи руҳ илова намоем, зеро суръати ҳалшавии он кофӣ баланд аст. Масалан, як фулузпораи рехтаи магнийи металлӣ бо вазни 7–9 кг дар хӯлаи руҳ дар давоми 15–20 дақиқа ҳал мешавад [40, 47–49].

Санҷишҳои механикии хӯлаҳои ғанӣ аз руҳ (бо миқдори руҳ аз 100 то 95%) дар ҳолати гармӣ фишурдашуда нишон доданд, ки бо зиёд шудани миқдори алюминий аз 1 то 5%, сахтӣ ва қувваи кашиши онҳо тақрибан тағйир намеёбад, дар ҳолате, ки дигар хосиятҳои хӯлаҳо ба тағйироти назаррас дучор мешаванд. Тибқи маълумоти тадқиқшуда, хӯлаҳои рехташуда бо фишор, ки дар асоси руҳ ва 10-15% Al сохта шудаанд, хосиятҳои механикӣ доранд, ки ба хӯлаи дорои 4%Al наздиканд. Аммо хосиятҳои хӯлаҳое, ки 20-30%Al доранд, аз шароити

хунуккунӣ вобастаанд. Ҳатто дар сурати хунуккунии суст, ин хӯлаҳо мустаҳкамии зарбаи камтар доранд нисбат ба хӯлаҳое, ки миқдори камтари алюминий доранд [44, 45].

Хосиятҳои механикии хӯлаҳои системаи Zn-Al, асосан рух, низ метавонанд бо коркарди гармӣ тағйир дода шаванд. Табқи маълумоти муайяншуда, хунуккунӣ ва гармкунӣ минбаъда то 150-300°C чандирии хӯлаҳои дорои 10-35% Al-ро ба таври назаррас зиёд мекунад. Баъд аз обутобдихӣ дар 375-400°C ва гармкунӣ то 150-300°C, хӯлаҳои дорои 15-25% Al ҳадди аксари чандирии худро нишон медиҳанд [50, 51].

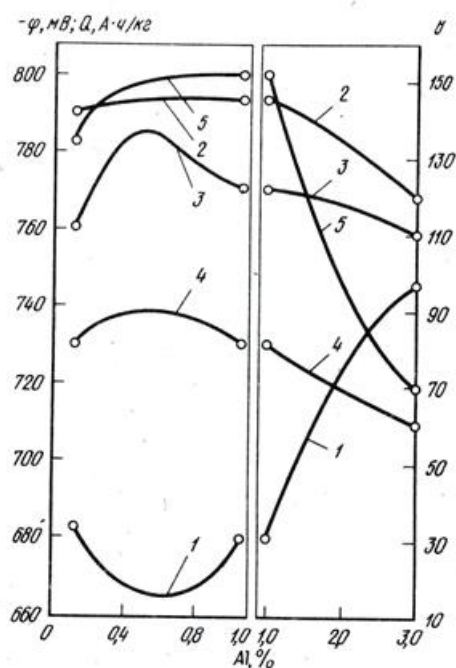
Дар таҳқиқоти потенциостатикӣ ё потенциодинамикӣ, тасвир ба таври ҷиддӣ бинобар ташаккули қабати ибтидоии ковоки $Zn(OH)_2$ мураккаб мешавад. Вобаста ба шароити таҷриба, ин қабат ё пас аз пассиватсия дар натиҷаи ташаккули қабати зичи ZnO боқӣ мемонад, ё нопадид мешавад ва дар ин ҳолат бо ҷашм пардаи сиёҳи пассивӣ дида мешавад [35].

Хӯлаҳои рехташудаи Zn-Al, Zn-Al-Cu дар натиҷаи падидаҳои кавитатсионӣ зери фишорҳои хурд шаклгирӣ мешаванд. Дар сохтори онҳо тарқишҳои амиқ пайдо мешаванд, ки боиси коррозияи марзҳои донаҳои маҳлули саҳт мешаванд. Коррозияи хӯлаҳои рехташудаи рух дар маҳлулҳои намакӣ аз рӯйи марзҳои донаҳо сурат мегирад [35].

Хӯлаҳои рух, ки бо сурб, кадмий, қалъагӣ, висмут ва таллий ҷавҳаронида шудаанд, дар буғи об ба коррозияи байникристаллӣ дучор мешаванд. Обҳои ҷорӣ дар ҳарорати 50°C боиси коррозияи байникристаллӣ дар хӯлаҳои $ZnAl_{11}$, $ZnAl_{14}Cu_1$, $ZnAl_{10}$ ва $ZnCu_4$ мегарданд. Хӯлаҳои рух, ки бо Zn-и тозаи баланд сохта шудаанд, дар оби кубурӣ ба коррозия дучор намешаванд [35].

Аз маълумоти тадқиқнамудаи муҳаққиқон бармеояд, ки таъсири афзоиши кутбнокӣ ба хӯлаҳои рух назаррас аст. Ин таҷриба ба поляризатсия хос аст, ки аз потенциали статсионарӣ ва зичии ҷараён вобастагӣ дорад. Қутбнокии минималӣ ($b=15$) бо афзоиши 0,6%-и алюминий дарёфт мешавад. Дар ин ҳолат ϕ_1 то -785 мВ тағйир ёфта, бо дигар афзоишҳои алюминий кутбнокӣ зиёд гардида ва ин потенциал ба самти мусбӣ қиматҳо майл карда, 95 ва -760 мВ-ро ҳангоми дар

хӯла мавҷуд будани 3%-и алюминий дар ниҳоят нишон медиҳад (расм 1.1.) [34].



**Расми 1.1. – Таъсири хӯлаҳои рӯх бо алюминий ба қутбнокӣ (1),
потенциали статсионарӣ (2), потенциал ҳангоми поляризатсияи
зичии чараёни 1 А/м²(3), 3А/м²(4) ва чараёни баргашт (5)**

Дар сифати анодҳо руҳ ва никел истифода шуданд, ки ба ҳар кадоми онҳо чараён алоҳида дода мешуд, то ки ҳалшавии ҳар яки онҳо бо суръати коррозияи онҳо дар электролити каме кислотаи мутобиқат кунад. Гарчанде, ки анодҳо сифати хеле хуб доштанд, тақсими нобаробари хӯла аз рӯи таркиб боиси пайдоиши зарарҳои пеш аз мӯҳлат дар минтақаҳои зичии пасти чараён мегардид. Ҳамзамон, миқдори никел дар хӯла ба таври назаррас аз 15% зиёд буд. Ин қабатҳои ғании никелӣ дар муқоиса бо қабатҳои руҳӣ потенциали анодӣ нисбат ба пӯлодро аз даст медоданд ва барои пассиватсия хеле душвор буданд. Дар натиҷа, устувории коррозияи қабат ба таври ҷиддӣ коҳиш ёфта, технология барои рӯйпӯш кардани хӯлаи руҳ-никел дар электролити кислотагӣ истифодаи васеъ наёфтааст [35].

Ба омӯзиши рафтори анодии хӯлаи руҳ, ки бо элементҳои дуҷум ва сеҷум ҷавҳаронӣ шудаанд, дар муҳитҳои коррозияи гуногун, таҳқиқоти сершуморе бахшида шудаанд. Натиҷаҳои ҳосилшуда дар хусусиятҳои гуногуни хӯлаҳо

байниҳам муқоиса карда шудаанд. Ба ин, маълумоти муқоисавии потенциалҳои коррозияи ва ташаккули пitting дар хӯлаҳои руҳи чавҳаронидашуда дар муҳитҳои барангехта мисол шуда метавонад [52–71].

Элементҳои нодир дар ташаккули сохтори хӯлаи руҳ фаъолона иштирок мекунанд, ки таъсири онҳо дар муҳитҳои барангезиш равшан зоҳир мешавад. Суръати коррозияи намунаҳои хӯлаи чавҳаронидашуда тақрибан се маротиба коҳиш меёбад. Ҳамзамон, муҳити pH-и фаъолтарин дар электролити ишқории NaOH дар муқоиса бо электролити кислотаи HCl мушоҳида мешавад [52, 55].

Таъсири таркиб ва ҳарорат ба тобоварии гармии хӯлаҳои ғанӣ аз алюминийро муҳаққиқон таҳқиқ кардаанд. Аввалин муҳаққиқон муайян карданд, ки тағйирёбии устувории хӯлаҳои рехта, ки то 20% Zn доранд, вобаста ба ҳарорати озмоиш ба хӯлаҳои алюминий бо миқдори ками мис монанд аст. Пурра аз даст рафтани устувории ин хӯлаҳо дар байни ҳароратҳои солидус ва ликвидус мушоҳида мешавад. Илова кардани руҳ ба хӯлаҳои асосаш алюминий муқовимати махсуси электрикиро зиёд мекунад. Тибқи маълумотҳои муайяншуда, илова кардани 0,1% Zn ба алюминийи тоза (99,5%) ноқилнокии онро камтар аз 1% коҳиш медиҳад. Иловаи руҳ дар ҳудуди маҳлули саҳт зарби васеъшавии хаттии алюминийро зиёд мекунад [35].

Хӯлаҳои ғанӣ аз алюминий дар ҳолати рехта тобоварии сусти коррозияро дар оби баҳр нишон медиҳанд, дар ҳолате, ки хӯлаҳои ғуттаваршуда дар ҳамон шароит устувории бештар доранд. Бо зиёд шудани миқдори руҳ, тобоварии хӯлаҳо ба коррозия коҳиш меёбад ва хӯлаҳои ғанӣ аз руҳ ба осонӣ дар оби баҳр вайрон мешаванд [34].

Тибқи маълумоти тадқиқшуда, намунаҳои хӯлаи дорои 12% Zn ҳангоми озмоиши коррозияи барангезиш дар буғи об ҳеҷ тарқише нишон надоданд. Хӯлаҳои руҳ-алюминий майл ба коррозияи байникристалӣ ва агрессивӣ доранд. Хӯлаҳои дорои 75% Zn тобоварии максималиро дар маҳлули 0,8N HCl ва 2N NaOH доранд. Аммо, дар маҳлули 2N HCl хӯлаҳои дорои 65-80% Zn ҳадди ақали тобовариро нишон медиҳанд, сипас хусусияти тобоварии онҳо то 95% Zn афзоиш меёбад [35].

Ҳангоми таҳқиқи коррозия хӯлаҳои Zn-Al (50-60% Al) маълум шуд, ки маҳсули сафед пайдо мешавад, ки ҳангоми коррозия падидор мешавад. Таҳқиқотҳо дар электролитҳои 3% NaCl гузаронида шуданд. Раванди мушоҳида аз паст шудани суръати коррозияшавӣ зиёд шудани вазни хӯлаҳоро нишон дод. Натиҷаҳои таҳқиқот бо суръати коррозия (21.6, 1.21 к/с) барои хӯлаи бо гармӣ коркардшуда ҳангоми хунуккунӣ дар об 70 г/м^2 , аммо барои хӯлаи хунукшудаи озмудашуда 145 г/м^2 –ро нишон медиҳанд [72].

Натиҷаҳои таҳқиқи коррозия нишон медиҳанд, ки потенциали электродӣ барои хӯлаҳои Al-Zn-Sr мутаносибан дар доираи хатогиҳои таҷрибавӣ мунтазам тағйир меёбад. Дар баробари ин, дигар параметрҳои электрохимиявӣ хӯлаҳо низ ба қиматҳои манфӣ ҳаракат мекунанд. Ба назар, ин ба афзоиши консентратсияи компонентҳо дар таркиби хӯла вобаста аст. Қиматҳои зичии коррозия, ки ба коррозияи ибтидоии пасивӣ мувофиқанд, барои хӯлаҳои Al-Zn-Ca ва Al-Zn-Sr мутаносибан аз 1,5 то 3 маротиба фарқ мекунанд. Потенциали репассивӣ дар электролити 3% NaCl устуворона тағйир намеёбад, яъне аз рӯйи қимати мутлақ коррозия намешавад [73].

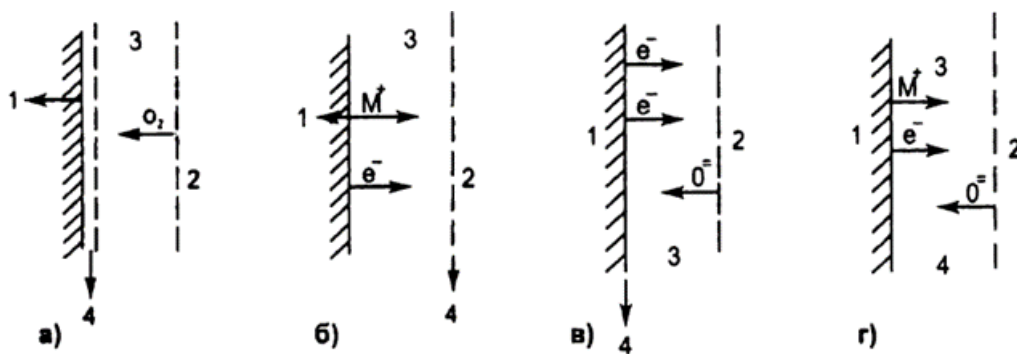
Аз ин ҷо маълум мешавад, ки вобастагии яхела барои дигар хӯлаҳое, ки 4% руҳ доранд, хос аст, аммо дар таркиби ин хӯла миқдори иловаҳои металли ишқорзаминӣ $0,05 \div 5,0\%$ будааст. Қиматҳои баланди потенциали коррозияи манфӣ ба хӯлаи дорои калсий тааллуқ доранд [74–76].

Коррозия таъсири ниҳонии худро ба вайрон шудани ҳолати пасивии сатҳи хӯла дар сурати мавҷуд будани питтингҳои нуқтавӣ мерасонад, ки дар натиҷа ноустуворӣ ё тағирёбии таркиби намунаҳои хӯлаҳои Zn-Al, ки ба таври автокаталитикӣ зарра мешаванд ва раванди коррозия тавассути механизми коррозсионии умқӣ мегузарад, мушоҳида мешавад [63–65].

Афзоиши бештари умқҳои сарҳадӣ дар натиҷаи раванди коррозсионӣ бо ворид кардани металлҳои ишқорзаминӣ ба таркиби хӯлаҳои Zn-Al, махсусан зарраҳои фазаи CaAl_4 дар консентратсияи назарраси калсий дар байни металлҳои ишқорзаминӣ мушоҳида мешавад, ки ин боиси зиёд шудани коррозияи хӯлаҳо мегардад [77].

1.3. Раванди оксидшавии хӯлаҳои чавҳаронидашудаи Zn-Al дар муҳитҳо ва ҳолатҳои гуногун

Пеш аз оксидшавии гудохтаи металлӣ, дар он ҳалшавии оксиген ба амал меояд. Ҳарчанд барои анҷоми ин раванд вақти кам лозим аст, дониستاني ҳалшавии оксиген дар хӯлаҳои гудохта муҳим аст. Оксиген бо аксарияти гудохтаҳо маҳлулҳои воридшаванда ташкил медиҳад, ки инро, аз ҷумла, зарибҳои нисбатан баланди диффузия тасдиқ мекунанд. Радиуси атоми оксиген нисбат ба радиуси атомҳои бисёр гудохтаҳо хеле хурдтар аст. Аз ин рӯ, барои ворид шудани оксиген ба метали моеъ – ҳамчун атоми ҷойнишин ба ҳолигии октаэдрӣ ё тетраэдрӣ бо шумораи мувофиқи координатсионӣ, тағйироти ночиз лозим аст. Марҳилаҳои маҳдудкунандаи раванди мазкур дар сарҳади байни металл ва оксид дар вақти гузариши ионҳои оксиген ва металл сурат мегирад. Хосиятҳои таршавӣ ва часпиши система бо афзоиши гудохтаи моеъ бадтар шуда, пайванди байни атомҳои гудохта ва оксиген дар оксид коҳиш меёбад. Механизми гуногуни афзоиши пардаи оксидӣ дар расми 1.2 нишон дода шудааст [39].



Расми 1.2. – Механизмҳои гуногуни афзоиши пардаи оксидӣ:

1- сатҳи металл; 2- гази коррозсионӣ; 3- пардаи оксидӣ; 4- ҷои ҳосилшавии оксид

Фазаҳои миёна ҳамчун лавҳаҳо дар сатҳи ҳамворӣ ташаккул меёбанд. Мавқеи ҷойгиршавиҳо ноустувории панҷараи ромбоэдриро зиёд намуда, боиси аз даст додани когерентӣ мешаванд. Дар ин ҳолат, решаи миёна ба панҷараи кубии марказонидашуда мегузарад. Дар натиҷа, решаи фазаи миёна ба решаи шашкунҷаи рух бо воситаи ориентатсионӣ байни матритса ва ҷудошавиҳо тағйир меёбад. Ташаккули нуқсонҳои бастабандӣ ба ин тағйирот таъсири ночиз

мерасонад. Матритсаи камғанӣ, махсусан дар марзҳои донаҳо заиф мешавад. Чудошавиҳои тез дар марзҳои донаҳо боиси ташаккули минтақаи наздимарзии бо паҳноӣ то 5 мкм, камғанишуда аз элементҳои ҳалшуда, ва пас аз он минтақаи бо паҳноӣ то 8 мкм, камғанишуда аз холигиҳо пур мегарданд [28].

Мувофиқи маълумоти [30], ҳангоми оксидшавии рух дар атмосфераи оксиген дар ҳарорати 200-400° дар сатҳи он оксиди рух ZnO ба шакли кристаллҳои сӯзанмонанд ташаккул меёбад. Тадқиқотчиён тавонианд қабатҳои ZnO-ро аз намунаҳо (ки тавассути сайқал додан тайёр карда шуда буданд) бо бухор кардани металл чудо кунанд ва нишон диҳанд, ки чунин қабатҳо сохтори равшани аморфӣ доранд.

Муҳаққиқони гуногун таҳқиқоти муфассалеро оид ба чараёни оксидшавии рух дар ҳолати моеъ бо гузашти вақт анҷом доданд. Оксидшавии руҳи моеъро таҳқиқ карданд, ки дар ин ҳолат аз рух бо дараҷаҳои гуногуни тозагӣ истифода бурд, дар ҳолате, ки дигари танҳо бо руҳи хеле тоза кор мекард. Дар доираи ҳарорати аз 225 то 375°C рух мутобиқи вобастагии логарифмӣ оксид мешавад, аммо дар доираи аз 375°C то ҳарорати гудохташавӣ ё дар ҳолати моеъ, оксидшавии он ба қонунияти параболаи иттилоат мекунад. Агар металл бо дараҷаи пасти тозагӣ гирифта шавад, баъзе тағйирёбиҳо мушоҳида мешаванд [78].

Хусусияти хоси ин тағйирот он аст, ки дар ҳама дақиқа пас аз хунуккунӣ миқдори зиёди гармӣ (9-12 кҶ/мол) хориҷ мешавад, ки боиси баланд шудани ҳарорати мавод ба 50-100°C мегардад. Ҳамаҷунин хосиятҳои гуногун дар диаграммаҳои ҷасурдашавӣ шакли С доранд; ҳамин ин ҳамаҷунин дар минтақаи 27-127°C ҷойгир аст [78].

Аксари маълумоти таҷрибавӣ нишон медиҳанд, ки α - ва γ -фазаҳо бевосита аз β -фаза ҳосил мешаванд, ки α -фаза тақрибан 40% Zn дорад ва дар муддати аз як то ҳафта чудо мешавад. Аммо се навиш ин тағйирот низ ишора шудаанд. Афзоиши қабатии эвтектоид бо диффузияи байнифазаӣ танзим карда мешавад. Суръати хунуккунӣ ба суръати ин тағйирот таъсири назаррас мерасонад: агар хунуккунӣ кофӣ тез набояд, тағйирот метавонад дар ҳарорати баланд оғоз шавад ва тибқи схемаи изотермӣ рух диҳад. Бо вуҷуди ин, фарқиат дар сохтори

ниҳой бинобар тағйири суръати хунуккунӣ шубҳаҳо ба миён меорад. Як қатор иловаҳо ба суръати ин тағйирот таъсири қавӣ мерасонанд: мис, индий, кадмий, литий ва магний суръати тағйиротро то 100-105 маротиба коҳиш медиҳанд [28].

Оксидшавии логарифмӣ, эҳтимолан, дар асоси таъсири майдонҳои электрикӣ, монанд ба механизми Мотт – Хауфе – Илшнер рух медиҳад, дар ҳоле ки оксидшавии параболий дар ҳароратҳои аз 400°C баланд аз ҳисоби механизми Вагнер ба амал меояд. Ин механизм ҷойгиршавии ионҳои рухро дар байни фосилаҳо пешбинӣ мекунад, ки ин бо таъсири ғашҳо ё элементҳои хӯлай ва вобастагии гузарониши ZnO аз фишор мувофиқ аст. Аммо, тавре, ки Мур ва Ли муайян карданд, дар фосилаи ҳароратии 375-400°C суръати оксидшавӣ вобаста ба фишори оксиген ба таври дигар зиёд мешавад, нисбат ба он, ки механизмҳои Вагнер пешгӯӣ мекунанд. Тавре, ки Энгел ва Хауффе қайд мекунанд, пардаҳои оксидие, ки дар ин таҷрибаҳо ҳосил шудаанд, ҳанӯз ҳам нисбатан тунук буданд (100–1200 Å) ва дар ин шароит нерӯи асосии ҳаракатдиҳандаи диффузия майдонҳои электрӣ буданд [78].

Ҳангоми фасурдашавӣ дар ҳарорати баланд минтақаҳо ташаккул намеёбанд. Хусусияти спинодалии қатъатҳо зерӣ шубҳа қарор мегирад. Ҷудошавии фазаи устувор дар ҷойгиршавиҳо аз ҷониби муаллифон [28] таҳқиқ шудаанд. Ҷудошавиҳо, ки дар хӯлаҳои зуд хунуккардашуда пайдо мешаванд, ҳангоми фасурдашавӣ дар минтақаи ҳароратҳои муҳим панҷараи кубии марказонидашуда доранд ва онҳо тавассути афзоиши эпитаксиалии лавҳаҳои Zn дар алоқа бо матритса ба фазаи мувозинатӣ табдил меёбанд. Таназзули ҳуҷайравӣ тавассути диффузия дар марзҳои ҳуҷайраҳо назорат карда мешавад.

Оксидшавии хӯлаҳои моеи алюминий-руҳ дар диапазони ҳароратии 470-730°C омӯхта шудааст. Аз натиҷаҳои таҷриба, дар ҳарорати 723K, изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои моеъ, ки ба 10 ва 25 дақиқаи раванди мушоҳидашуда мувофиқанд, сохта шуданд. Дар хӯлаҳои камчавҳаронидашуда бо галлий ва дигар элементҳо коҳиши суръати оксидшавӣ ҳангоми коррозияи газӣ аз ҷониби элементҳои дуҷумла дида мешавад. Чавҳаронӣ дар доираи 2.5÷7.5% Zn метавонад самаранок ҳисобида шавад [79–81].

Сарфи назар аз хусусияти баланди муҳофизатии оксиди алюминий, дар натиҷаи оксидшавии хӯлаҳои Zn-Al пардаҳои дорои хусусияти муҳофизатии паст ба вучуд меоянд. Баъзе тадқиқотҳо нишон доданд, ки дар ҳарорати пасти санҷиш, руҳ муқовимати гармии алюминийро беҳтар мекунад. Эҳтимол, ин аз таъсири мутақобилаи оксидҳои руҳ ва алюминий вобаста аст, ки дар натиҷа оксидҳои навъи шпинел ба вучуд меоянд, ки хосиятҳои нокифояи муҳофизатӣ доранд ва барои муддати тӯлонӣ дастрасии оксиген ба сатҳи реаксияи онҳо имкон медиҳанд, ки суръати оксидшавиро зиёд мекунад. Суръати максималии оксидшавӣ дар давраи аввал мушоҳида карда шуд. Бо мурури замон он суст шуда, ба сифр наздик мешавад. Энергияҳои намоёни фаъолкунӣ, ки барои ин хӯлаҳо ҳисоб карда шудаанд, нишон медиҳанд, ки сарфи энергия барои раванди оксидшавӣ ҳам меафзояд ва ҳам кам мешавад [82].

Аз нуқтаи назари назарияи оксидшавии металлҳои тоза механизмҳои оксидшавиро интизор шудан лозим аст, зеро суръати умумии оксидшавӣ аз як қатор марҳилаҳои хусусияти гуногун иборат аст. Бо вучуди ин, дар механизми оксидшавии хӯлаҳо, ки ба оксидшавии ин системаҳо хосанд, баъзе қонуниятҳоро мушоҳида кардан мумкин аст. Ҳамин тавр, барои ҳамаи системаҳои таҳқиқшуда тамоюли умумии зиёдшавии суръати оксидшавӣ бо зиёд шудани консентратсияи таркиби элементи ишқорзаминӣ дар хӯла вучуд дорад. Қиматҳои ҳосилшавии қабати оксиди металлҳои тозаи ишқорзаминӣ ба ҳамдигар наздиканд [78].

Қариб дар ҳамаи марҳилаҳои раванди оксидшавӣ ҳадди фаъолнокии оксиген мавҷуд аст. Ин таркибҳои хӯла аз сабаби хусусиятҳои худ барои истифодаи саноатӣ мувофиқтарин ҳисобида мешаванд. Аммо барои мукамалтар тавсиф додан ба мақсад мувофиқ аст, ки онҳо дар як вақт бо кинетикаи хӯлаҳои омӯхташудаи таркибҳои гуногун, ки оксидшавии ин хӯлаҳоро дар фазаи газ тавсиф мекунанд, таҳлил карда шавад. Бо истифода аз онҳо, метавон дараҷаи талафоти чузъҳои хӯларо дар атмосфераи оксигенӣ ҳисоб кард. Байни шиддатнокии оксидшавии хӯлаҳои моеъ ва умқи оксиднашавии метали мавриди назар - чузъи таркиб, ки аз таҳлили термодинамикии ин равандҳо бармеояд, параллелизм мавҷуд аст [82].

Тавре, ки Энгел ва Хауфф қайд мекунанд, ташаккули қабатҳои тунук бо нерӯи ҳаракатдиҳандаи диффузияи майдони барқӣ вобаста буда, аз градиентҳои консентратсия вобаста нестанд. Тибқи ҳисобҳои онҳо, барои ин давраи гузариш чунин бармеояд, ки доимиятҳои суръати параболӣ бояд ба логарифми фишори оксиген мутаносиб бошанд ва ин натиҷа бо мушоҳидаҳои Мур ва Ли мувофиқат мекунад. Гарчанде, ки баъзе далелҳо ба манфиати назарияи муқобил вучуд доранд, механизми оксидшавии руҳро метавон ҳамчун муайяншуда қабул кард. Пешниҳоди Мур ва Ли дар бораи баргаштпазирии O_2 дар шакли атомҳо дар рӯйи ZnO аз ҷониби Винтер рад карда шуд, ки нишон дод, ки дар ҳарорати $370-440^\circ C$ дар қабатҳои оксиди афзоианда реаксия рух намедиҳад. Ҳамаи қиматҳо барои руҳи камтоза назар ба инҳо, тавре, ки аз назарияи оксидшавӣ интизор мерафт, хеле хурдтаранд [78].

Хӯлаҳо бо миқдори ками руҳ ҳангоми нестшавии нуқсонҳои хунуккунӣ мулоим мешаванд; бо миқдори зиёди руҳ мустаҳкамшавӣ афзалият пайдо мекунад. Қиматҳои максималии HV ва мустаҳкамӣ, ки ҳангоми ғасурдашавӣ ба даст оварда мешаванд, мутаносибан 1500 MN/m^2 мебошанд. Ҳадди мустаҳкамӣ ҳангоми $15\% \text{ Zn}$ 100 MN/m^2 зиёд мешавад. Модули чандирӣ дар марҳилаҳои аввали ғасурдашавӣ то 10% афзоиш меёбад ва баъдан коҳиш меёбад; ҳадди ақали қиматҳо ба минтақаҳо бо андозаи то $50 \text{ \AA}$ мувофиқат мекунанд, ки ҳар қадар ҳарорати хунуккунӣ баланд бошад, ҳамон қадар барвақттар пайдо мешаванд. Ташаккули минтақаҳо бо раҳиши гармӣ ҳамроҳ мешавад [28].

Оксиди руҳ сохтори вюрситро дорад, ки дар он металл ва оксиген дар ҳамоҳангии тетраэдрӣ ҷойгир шудаанд. Ҳангоми алоқа бо металли моеъ, руҳ ба байниҳучайраҳо ҳамчун катионҳои якзаряд ворид мешавад. Зариби диффузияи руҳ дар ZnO дар ҳароратҳои $700-1370^\circ C$ дар ҳаво бо формулаи $D_{Zn}=1.3 \exp(-73700/RT)$ тавсиф мешавад, гарчанде параметрҳои дигар низ ба даст оварда шудаанд. Ҳамчунин, диффузияи оксиген дар ZnO бо формулаи $D_O=1.05 \cdot 10^3 \exp(-94500/RT)$ барои фосилаи ҳароратии $1170-1400^\circ C$ тавсиф мешавад [82].

Агар марҳилаи ташаккули минтақаҳо мавҷуд набошад, пас афзоиши муқовимати барқӣ ба амал намеояд ва он фавран коҳиш меёбад. Таъсири

ликватсия ба мустаҳкамшавӣ ҳангоми фасурдашавӣ дар таҳқиқоти [28] баррасӣ шудааст. Шаклгирӣ пеш аз фасурдашавӣ, инчунин нуқсонҳое, ки ҳангоми сарбории куфтагӣ ворид мешаванд, дар давраи аввал мустаҳкамшавии қавиро ба вучуд меоранд, ки сипас зуд қатъ мегардад, зеро шумораи зиёди нуқсонҳо имкон медиҳанд, ки холигиҳои изофӣ пароканда шаванд. Дар натиҷа, суръати фасурдашавии ҳарорати паст коҳиш меёбад ва суръати фасурдашавии ҳарорати баланд зиёд мешавад. Шаклгирӣ инчунин ба ҷудошавиҳои интиҳобӣ дар марзҳои донаҳо, зердонаҳо ва сатҳҳои лағзиш мусоидат мекунад, ки ба таъсири Портевен-Ле-Шателье оварда мерасонад. Шаклгирии чандирӣ пас аз анҷоми марҳилаҳои аввали фасурдашавӣ ба шумораи кластерҳо ва суръати афзоиши онҳо таъсири кам мерасонад. Ҳар қадар суръати хунуккунӣ ва ҳарорати он баландтар бошад, ҳамон қадар холигиҳои хунуккунӣ бештар ворид мешаванд ва суръати пайдоиши минтақаҳо зиёдтар мешавад. Шуоъафкани нейтронӣ фасурдашавиро метезонад. Мушоҳида шудааст, ки позитронҳо дар минтақаҳо бозмедоранд. Тавре, ки қаблан зикр шуд, мустаҳкамшавӣ бо афзоиши миқдори рух зиёд шуда, дар 40-50% Zn ба ҳадди аксар расида, баъдан коҳиш меёбад [28].

Ҳангоми реаксияи эвтектоидӣ α -фаза дар ҳарорати 275°C ба маҳлули саҳти алюминий бо ҳадди ҳадди аксари ҳалшавии рух 31,5% ва маҳлули саҳти рух бо ҳадди аксари ҳалшавии алюминий 0,6% тақсим мешавад. Муқовимати маҳсули барқӣ, саҳтии Виккерс ва модули чандирии хӯла бо 78% Zn, ки аз 275°C хомӯш карда шудааст, афзоиш меёбанд. Фишурдашавӣ дар чанд дақиқа пас аз хомӯшкунӣ қатъ мешавад; бо нигоҳдории минбаъда хосиятҳо ё дар як сатҳ мемонанд ё тадриҷан тағйир меёбанд [28].

Баргашти суръати оксидшавӣ метавонад дар ҳарорати кофӣ баланд ба амал ояд. Суръати ҳалшавии қитъаҳо ҳангоми бозгашт тавассути диффузияи элементи ҳалшуда дар матритса назорат карда мешавад. Баргашт метавонад ҳангоми сарбории даврӣ ба амал ояд. Фасурдашавӣ пас аз баргашт назар ба фасурдашавии ғаврии пас аз хунуккунӣ хеле султар мегузарад ва энергияи ғайолсозии он 1,2 эВ мебошад, ки дар муқоиса ба диффузияи хӯлаҳои Ni ва Zn мувофиқат мекунад, аммо андозаи қиматҳои суръати оксидшавӣ гуногун аст (ҷадвал 1.2) [39].

Ҷадвали 1.2. – Суръати оксидшавии хӯлаҳои никел ва руҳ

Ҳиссаи вазнии Cr, %	Оксидшавии хӯлаи Ni-Cr ҳангоми $T=100K$ ва $p(O_2)=1\text{ атм, } г2/(см^4 \cdot c) \cdot 10$	Оксидшавии руҳ бо ғашҳо ҳангоми $T=653K$ ва $p(O_2)=1\text{ атм, } г2/(см^4 \cdot c) \cdot 10$
0	3.1	Zn-тоза – $0.8 \cdot 10^{-9}$
0.3	14	Zn1As – $1 \cdot 10^{-15}$
1.0	26	Zn0.4Li – $2 \cdot 10^{-7}$
3.0	31	-

Параболӣ будани вобастагии оксидшавии руҳ бо усули термогравиметрӣ муайян карда шудааст. Хусусан дар диапазони ҳарорати $600-700^\circ\text{C}$ қиматҳо муайян карда шуданд. Дар ҳароратҳои пасттар ($430-475^\circ\text{C}$) қатъатҳои кинетикӣ бештар ба вобастагии ҳамхаттӣ наздик мешаванд. Барои 430°C бошад таъсири назарраси микроғашҳо ба кинетикаи оксидшавии руҳ қайд карда шудааст. Масалан, иловаҳои ночизи литий, магний, торий, сурма ва манган суръати оксидшавиро баланд мекунад, дар вақте, ки иловаҳои ночизи силитсий, мис, кадмий, оҳан ва қалъагӣ ба он таъсир намерасонанд [82].

Муқовимати ҳоси барқӣ дар марҳилаҳои аввали ташаккули минтақаҳо ба қиматҳои максималӣ мерасад ва баъдан коҳиш меёбад. Диаметри критикии минтақаҳо, ки ба ҳадди аксари муқовимати барқӣ мувофиқ аст, тақрибан $30-40\text{Å}$ мебошад. Сабаби ҳамшавӣ дар қатъатҳо муқовимати барқӣ дар қори [28] баррасӣ шудааст. Пешбинӣ мешавад, ки таъсири ҳар як минтақа пайваستا зиёд мешавад, аммо бо мурури замон шумораи минтақаҳо коҳиш меёбад. Дар марҳилаҳои аввали фасурдашавӣ ба андозаи 3-4% ба амал меояд, ки ҳангоми ҳарорати пасти фасурдашавӣ то ҳадди аксар мерасад.

Ҳангоми пайдоиши фазаи миёна, параметри панҷараи матритса ба қимати мувозинатӣ бармегардад. Ташаккули фазаи миёна бо ҷабби хурди гармӣ ҳамроҳ мешавад, ки ҳамчун ҳалшавии минтақаҳо тафсир мешавад. Дар ҳамин лаҳза, соишоти дохилӣ коҳиш меёбад, нармашавӣ оғоз меёбад ва муқовимат ба коррозия ба ҳадди ақал мерасад, зеро ҷудошавиҳои маҳаллӣ дар марзҳои донаҳо ва

сатҳҳои лағзиш ҳассосияти баландро ба коррозияи байниҳучайравӣ ва зери фишор ба вучуд меоранд. Муқовимати барқӣ зуд коҳиш меёбад, зеро когерентӣ байни чудошавӣ ва матритса гум мешавад. Бо сабаби наздикии панчараҳои фазаҳои миёна ва матритса, ҷойгиршавиҳо аз гузариши фазаҳо оҳиста амалӣ мешаванд. Дар дигар системаҳо, фазаҳои миёна ҳамчун монеаҳо амал мекунанд, ки ҳаракати ҷойгиршавиҳоро бозмедоранд. Танҳо ҳангоми ташаккули фазаи устувор, шаклгирии чандирӣ боиси ҳаракати пайвандҳо мешавад, ки андозаашон ба пайвандҳои муқаррарии мураккаб баробар аст [28].

Суръати оксидшавии хӯлаҳои саҳти руҳ, ки таллий доранд, назар ба дигар намунаҳои таҳқиқшуда, ки галлий ва индӣ доранд, хеле баландтар аст. Вобастагии суръати оксидшавии хӯлаҳо, ки 1% ва 0.5% Ga, In, Tl доранд, возеҳтар зоҳир мешавад, ва қимати афзоиш, ки ба як воҳиди сатҳ мансуб аст, дар муқоиса бо намунаи аввал ба таври назаррас камтар аст. Дар ин системаҳои сечанда, миқдори ками ин элементҳо дар дохили хӯла бо суръати минималии оксидшавӣ фарқ мекунанд. Бо зиёд шудани консентратсияи элемент аз зергурӯҳи галлий дар хӯлаи руҳ, ин қимат андаке зиёд мешавад ва қариб, ки аз ҳарорат вобаста нест. Аз тарафи дигар, илова кардани таллий (зиёда аз 0.5%) ба хӯлаҳои руҳ ба зиёдшавии оксидшавии он оварда мерасонад [71, 72].

Дар хӯлаҳои саҳти Zn-Al ду тағйироти дигар низ ба амал меоянд: монотектоидӣ ва эвтектоидӣ. Ҳангоми реаксияи монотектоидӣ маҳлули саҳти руҳ дар алюминий (ки дар нуқтаи нонварианти 61,3% Zn дорад ва дар ҳарорати поёнтар аз 351,3°C метавонад миқдори зиёду ками руҳро дар бар гирад) ба ду маҳлули саҳт тақсим мешавад: дар яке бо паст шудани ҳарорат миқдори руҳ кам шуда, дар дигаре зиёд мешавад. Ба ғайр аз таҳқиқоти муайянкунии ҳудудҳои дуфазаӣ, танҳо механизми ин тағйирот ва кинетикаи он омӯхта шудаанд [28].

Натиҷаҳои таҳқиқоти оксидшавӣ барои омехтаҳои хӯлаҳои саҳти системаҳои гуногуни Zn-Al бо дигар металлҳо муфассал тавсиф шудаанд. Ин хӯлаҳо дар ҳароратҳои 250-350°C ба қонуни оксидшавии гипербола итоат мекунанд. Тамоюли афзоиши суръати оксидшавӣ бо зиёд шудани консентратсияҳои металлҳои гуногун дар ин хӯла нишон дода шудааст [83–107].

1.4. Таҳлили шарҳи адабиёт ва вазифагузориҳои таҳқиқот

Дар асоси таҳлили баррасии адабиёт бояд таъкид кард, ки дар аксар мавридҳо металҳо, хӯлаҳо, масолеҳи металлӣ ва пӯлодие, ки дар технология ва техникаи муосир истифода мешаванд, ё аз коррозияи электрохимиявӣ ва ё аз оксидшавӣ дар ҳарорати баланд ба вайроншавӣ дучор мегарданд. Тамоюли конструкцияҳои металлӣ ва оҳанӣ ба ин намуди вайроншавӣ ба таври васеъ фарқ мекунад. Масалан, оҳан (пӯлод) хеле зуд оксид мешавад ва коррозия мешавад, аммо металҳо ба монанди никел ва хром ба таъсири шабеҳ нисбатан суст меафтанд. Чунон, ки таҳлили маълумоти адабиёт нишон медиҳад, хусусияти оксидшавии қабатҳои сатҳӣ дар рафтори ин маводҳо дар атмосфераи барангезанда аҳамияти таъсирнок дорад [4, 17].

Таваҷҷуҳ ба илми коррозия ҳамчун манбаи ягонаи бозғайимии ғояҳои нави техникӣ барои сохтани масолеҳи конструктивӣ бо тобоварии химиявӣ зиёд, кор карда баромадани маводҳои муҳофизатии маснуоти пӯлодӣ, ба кор бурдани усулҳои пешқадам ва сарфақоронаи муҳофизати коррозсионӣ зиёд шуд. Дар зери таъсири талаботи доимоафзоюнда ба натиҷаҳои таҳқиқоти коррозия дараҷаи таҷрибавию назариявии онҳо ба таври намоён баланд шуд.

Дар даҳ соли охир ба масъалаи коррозияшавии конструкцияҳои металлӣ ва оҳанӣ на фақат тадқиқотчиён ва муҳандисони бевосита дар ин соҳа коркунанда, балки инчунин роҳбарони саноат ва вазоратҳои банақшагирии мамлакатҳои саноатӣ мавзӯи диққати ҷиддӣ гардид. Дар ибтидои ин даҳсола, чунон, ки маълум аст, талафоти иқтисодӣ аз коррозия дар ин кишварҳо ба андозае расид, ки бо сармоягузорӣ ба рушди соҳаҳои азим ва ҳатто аз он ҳам зиёдтар буд. Инчунин маълум гардид, ки пешрафти минбаъдаи бисёр соҳаҳои саноат ва техникаро бе комёбиҳои нав дар соҳаи муҳофизати зидди коррозия амалан тасаввур кардан мумкин нест.

Ҳамин тариқ, хусусиятҳои рафтори анодӣ, механикӣ ва оксидшавии хӯлаҳо давраи тараққиёт ва ҳаракати пешро аз сар мегузаронад. Солҳои охир шоҳиди зиёд шудани таваҷҷуҳ ба масъалаҳои бунёдии равандҳои байни оксиген ва хӯлаҳо ва зиёд шудани дониш дар бораи оксидпазирии онҳо гардид. Ин

пешравиҳо аз бисъёр чихат ба зиёд шудани таҷҳизоти мукаммал ва истифода бурдани техникаи мукаммалтари таҷрибавӣ вобастаанд. Таҳқиқоти аввалини ин масъала бо мақсади пешгирӣ кардани вайроншавии галвалюм ва галфанҳои дар амал истифодашаванда аз таъсири муҳити коррозсионӣ, ҳарорати баланд ва атмосфераи оксидкунанда гузаронида шуданд. Доираи васеи падидаҳо, масалан: рафтори коррозия дар муҳит; интиқоли вазн тавассути қитъаҳо; афзоиши оксидҳо дар муҳити мураккаби дорои зиёда аз як оксидкунанда; хосиятҳои электрохимиявӣ; муносибати байни таркиби ҳӯла, микроструктураи он ва оксидшавӣ омӯхта шуданд. Чунин маълумот дар асоси истифодаи усулҳои сершумори физикавӣ-химиявӣ, механикӣ ва коррозсионӣ-электрохимиявӣ таҳқиқот ба даст оварда шудааст.

Аз нуқтаи назари амалӣ, омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии ҳӯлаҳо, мустаҳкамии пардаи оксидӣ ва аз даст додани пайваستшавии оксид ба маводи асосӣ омилҳои муҳимест, ки мувофиқати ҳӯлаҳоро барои хизмат ҳамчун маводи сохтории ба коррозия зиёд тободар муайян мекунанд. Ғайр аз ин, дар байни равандҳои сершумори ба сатҳи маснуоти пӯлодӣ руйпӯшкунӣ муҳофизатии галваникӣ яке аз ҷойҳои пешқадамро ишғол мекунад. Адабиёти техникӣ хосиятҳои руйпӯшҳои руҳ ва соҳаҳои татбиқи онҳоро дар бар мегирад. Аммо, он асосан хусусиятҳои руйпӯшҳои руҳро бидуни муқоисаи онҳо, ки бо усулҳои гуногун ба даст оварда шудаанд, тавсиф мекунад. Аз ин рӯ, мавҷудияти маълумоти гуногун дар сарчашмаҳои сершумор дар истифодаи онҳо мушкилот эҷод мекунад ва аксари онҳо барои доираи васеи мутахассисон номаълум боқӣ мемонанд [17–22].

Ҳӯлаҳои руҳ ҳамчун руйпӯшҳои анодӣ васеъ барои муҳофизат аз коррозияи ашёи пӯлодии карбондор ва оҳанӣ, ки дар шароити гуногуни иқлимӣ ва муҳитҳо истифода мешаванд, татбиқ мегарданд. Ин, пеш аз ҳама, атмосфераҳои гуногун, муҳитҳои обӣ, зеризаминӣ, баҳрӣ ва химиявӣ, хок ва ғайра мебошад [108–110].

Раванди қабати руйпӯши ҳӯлаи руҳ ба пӯлоди тасма аз ҷониби ширкати «Бетлехем Стил Корп.» (ИМА) таҳия шудааст, ки пӯлоди варақиро бо пӯшиши

Zn-Al таҳти номи «Галвалюм» истеҳсол мекунад. Дар як қатор кишварҳо ин намуди маҳсулот бо номи «Синкалюм» (Австралия), «Алюзинк» (Шветсия) ва дар кишварҳои дигар — «Синкалит», «Алюгалва» ва «Салютит» истеҳсол мешавад [35].

Баъзе корҳо оид ба коркарди руйпӯши «Галфан» аз ҷониби Ташкилоти байналмилалӣ оид ба таҳқиқи руҳ ва сурб (ILZRO), Нью-Йорк, ИМА, ҳамроҳ бо Маркази таҳқиқоти металлургия (CRM), Лиеж, Фаронса анҷом дода шудаанд. Миқдори ғашҳои дигар, ба монанди сурб, кадмий ва ғайра дар таркиби руйпӯш, одатан аз 0.005% зиёд намешавад [35].

Коррозияи атмосферии руйпӯшҳои руҳ-алюминийи «Галвалюм» ба таври марҳилавӣ дар сатҳ рушд мекунад. Дар аввал, бештар қисми руйпӯш, ки бо руҳ руйпӯш карда шудааст, ҳал мешавад. Пас аз он коррозияи пассивии руйпӯши галвалюм ба амал меояд, ки ба коррозияи руйпӯш аз алюминий монанд аст. Аз ҷумла, метали руҳ дар муқоиса бо метали алюминий хусусиятҳои муайянкунанда дорад. Масалан, фишори баланди буғи руҳ ва энергияи ками ҳосилшавии оксид хос аст, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳои Zn-Al, дар ҳолатҳое, ки концентратсияи руҳ дар хӯлаи Zn-Al зиёд мешавад, эҳтимолан ноустувории руҳ ба амал меояд. Пайгириона, берун аз ҳудуди обшавӣ пардаҳои оксид ба вучуд меоянд, гарчанде, ки таҳқиқоти оксидшавии ин хӯлаҳо бо вақт ва ҳарорат афзоиши суръати оксидшавиро нишон медиҳанд [34, 52, 53].

Ҳангоми хунукшавии тез, дар вақти пайваста гузоштани рӯйпуши галвалюмӣ, микросохтори рӯйпуш дар ҳолати номувозинатӣ қарор мегирад. Дар аввал, фазаи α бо сохтори дендритӣ, ки бо руҳ ғанӣ шудааст, кристалл мешавад. Баъдан, дар микросохтори рӯйпуш коҳиши андозаи донаҳо мушоҳида мешавад. Таҳқиқоти мазкур таносуби ҳаҷмии матритса ба фазаи сохтори эвтектоидӣ 4:1-ро нишон медиҳад [35].

Асоси рӯйпуши галвалюмиро руҳ ва алюминий ташкил медиҳанд. Илова намудани 1.5-2.0% (аз рӯйи вазн) силитсий ба хӯла ҳарорати гудохтанро кам мекунад, ташаккули қабати интерметаллидҳоро суст менамояд ва равандҳои диффузияи оҳан, руҳ ва алюминийро тақвият медиҳад. Иловаҳои қалъагӣ,

натрий, кадмий ва сурб ҳамгироикунанда буда, ҳатмӣ нестанд. Азбаски дар таҷрибаи озмоишҳои коррозионӣ одатан мушоҳида мешавад, ки пайдоиши доғҳои коррозия асосан дар кунҷҳои тез ва сатҳҳои тории канорӣ рух медиҳад. Ин ҳамчунин як падидаи маъмулист, ки бо равандҳои пайдоиши коррозияи питтингӣ ҳамроҳӣ мекунад [35].

Илова бар ин, як ҳолати муҳим дар амалия ин аст, ки коррозияи варақаҳои оҳанин галванӣ, ки қисман дар ҳолати амудӣ дар маҳлули хлоридӣ бе ҳаракат ҷойгир шудаанд, ба амал меояд. Дар натиҷа, осеби маҳаллӣ бо коррозия шудан дар қисми поёнии сатҳ, ки аллакай пассив шудааст, мушоҳида мешавад [40].

Илова кардани элементҳо аз гурӯҳи серий ва лантан ба гудохтаи рӯйпӯши галфании Zn-Al боиси баланд шудани сатҳпазирӣ ва пурра истисно кардани ташаккули нуқсон дар маҳсулоти гуногун мегардад. Қайд карда мешавад, ки мавҷудияти ғашӣҳо дар миқдори 0,01% қалъагӣ ва 0,07% сурб дар гудохтаи рух сифати рӯйпӯши рухро паст мекунад. Илова кардани сурма, силитсий ва магний ба гудохта ба таври ночиз хосиятҳои муҳофизатии рӯйпӯшҳои рух-алюминийро беҳтар мекунад. Илова кардани кадмий ва сурб ба сифати рӯйпӯш ва намуди зоҳирии рӯйпӯшҳои рух-алюминий таъсири ночиз мерасонад. Миқдори қалъагӣ намуди зоҳириро тағйир медиҳад, дар ҳоле, ки натрий сатҳпазирии пӯлоди карбондоштаро бо гудохта баланд мекунад [35].

Маснуоти пӯлодии карбондор ва оҳан (масалан, варақаҳо, кубурҳо, ноқилҳо) бо рӯйпӯши рух-алюминийи "галфан" дар соҳаҳои гуногун истифодаи васеъ доранд. Бо сабаби муқовимати баланд ба коррозия ва хосиятҳои беназир, рӯйпӯши "галфан" метавонад дар саноатҳои мошинсозӣ ва галванотехника васеъ истифода шавад; он ҳамчун маводи устувор ба коррозия барои муҳофизати анодӣ, протекторӣ ва катодии маснуоти пӯлод ва оҳан мебошад [35].

Муҳаққиқони хориҷӣ ва тоҷик маълум кардаанд, ки ҷавҳаронии ҳӯлаҳои рух бо дигар металлҳо имкон медиҳад, ки хосиятҳои гуногуни онҳо – қобилияти муҳофизатӣ, қобилияти инъикосдиҳӣ, устувории коррозионӣ, қобилияти кафшершавӣ ва ғайраҳоро ба таври назаррас беҳтар шаванд. Хусусан, дар муҳити саноатӣ ҳӯлаҳое, ки бо қалъагӣ, хром ва махсусан бо кобалт ва никел

чавҳаронида шудаанд, нисбат ба хӯлаҳои руҳ бештар назаррас дорои устуворӣ ба коррозия мебошанд. Хосиятҳои хӯлаҳои руҳ вобаста аз миқдори компонентҳо дар хӯла ва консентратсияи онҳо метавонанд тағйир ёбанд. Сохтани рӯйпушҳои бисёрқабата дар асоси Zn ва Al имкон медиҳад, ки системаҳои хӯлаҳо-рӯйпушҳои, ки дорои хосиятҳои мусбӣ мебошанд, ҳосил карда шаванд, ки ҳангоми рӯйпушкунӣ аз рӯйпушҳои якқабата ҳосил кардан номумкин аст. Рӯйпушҳои секомпонента дар асоси Zn ва Cu, ки бо Sn, Ni, Cd ва дигар металлҳо чавҳаронида шудаанд, коркард карда шудааст. Ин гуна хӯлаҳо дорои сахтии баланд, тобовар ба ғасурдашавӣ ва хубчаспакӣ ҳангоми кафшерӣ мебошанд. Онҳоро барои муҳофизат аз ғасурдашавӣ ҳангоми соиши пайвастиҳои кандакорӣ дақиқ истифода мебаранд. Такшонҳои ҷилодиҳанда, ки 5-20% Zn, 50-70% Cu ва 15-30% Sn доранд, барои ҷойгузини нуқра ва тилло истифода мешаванд. Аммо аз ҷиҳати қобилияти муҳофизатӣ онҳо аз хӯлаҳои дучандаи намуди Zn-Sn(Cd, Ni) пасттаранд. Аз байни хӯлаҳои дучанда ва сечанда, хӯлаҳои Zn-Al ва чавҳаронидашудаи Zn-Al бо дигар металлҳо ояндадортар мебошанд, ки дар раванди коркарди сатҳи маснуоти пӯлодӣ васеъ истифода мешаванд; дорои сохтори хурддонаҳо ва камроғ мебошанд. Соҳаҳои татбиқи ин рӯйпушҳои хӯлави муҳофизатӣ аз мошинсозӣ то энергетикаро дар бар мегиранд [35].

Ҳангоми таҳлили шарҳи адабиёт зарурати амиқтар коркарди тасаввуроти илмӣ оид ба хусусият ва механизмҳои ташаккули хӯлаҳои нав ҳамчун рӯйпушҳои металли муҳофизатӣ ошкор карда шудааст. Ҳамзамон бо ҳалли вазифаҳои амалӣ, ҷамъоварӣ ва хулосабарории маълумоти таҷрибавӣ, тасаввуроти назариявӣ дар ин соҳаи маводшиносӣ инкишоф меёбад, ки махсусан барои тақвиятдиҳии хосиятҳои беназири таҷрибавии хӯлаҳои коркардмешуда чун рӯйпушҳои металли муҳофизатӣ дар маълумот оид ба сохтори электронӣ, таркиби фазаӣ, қонуниятҳои бунёдии тағйирот дар рафтори анодӣ, оксидшавии онҳо вобаста аз сохтор, таркиби миқдорӣ ва амсоли инҳо муҳим мебошанд. Мубрамияти банақшагирии ин таҳқиқот аз иртиботи баҳамалоқамандии равандҳои амалии ташаккули хӯлаҳои нави коркардмешуда, чун рӯйпушҳои металли муҳофизатӣ ва микро- ва макросохторҳо, сохт, хусусиятҳои анодӣ ва

кинетикии компонентҳои таркибии онҳо бармеояд.

Таҳлили элементҳои алоҳида барои ҷавҳаронии хӯла ва мушкилоти вобаста ба маълумоти нашршудаи онҳо қобилияти муайянкунии самтҳои синтези таркибҳои хӯлаи металли $Zn_{0.5}Al$ -ро бо металлҳои зерин, чун серий, празеодим ва неодим ошкор менамояд, ки ин қайдкунии нуктаҳои зеринро низ имконпазир месозад: дар соҳаи коркарди ин пайвастагиҳои хӯлаҳо таъсири онҳо ба тағйироти устувории анодӣ ва оксидшавии баландҳароратӣ; қонуниятҳои амалан муҳофизатии ин хӯлаҳо; ташаккулёбии қабатҳои муҳофизатӣ дар сатҳ; вобастагии қобилияти муҳофизатӣ аз реча ва шароити гармкунӣ, устуворӣ ба оксидшавии баландҳароратӣ ва анодӣ; муҳофизати зиддикоррозионӣ ва устуворӣ ба коррозия дар муҳитҳои барангехта; хосиятҳои механикии ин хӯлаҳо ва баҳамтаъсирот дар системаҳои рӯйпушҳои хӯлавӣ – пӯлод тамоман омӯхта нашудааст.

Яке аз роҳҳои самаранок ва воқеии баланд бардоштани устувории анодии якчанд хӯлаҳои руҳ-алюминий бо мақсади аз коррозия муҳофизат кардани маснуоти пӯлодии карбондошта, бо баланд бардоштани тамоюли рӯйпуш ба пассиватсия ва баланд бардоштани устувории ҳолати пасивӣ мебошад. Баланд бардоштани устувории ҳолати пасивии рӯйпушҳои руҳ-алюминий бо роҳи бо метали мувофиқ ҷавҳаронӣ кардани онҳо воситаи муҳимтарини расидан ба мақсад мебошад.

Ҳамин тавр, ҷиҳати ноилшавӣ ба мақсади коркарди маводи нав ҳамчун рӯйпушҳои муҳофизатии маснуоти пӯлодии карбондор зарур аст, ки хӯлаҳои нави руҳ бо алюминий, серий, празеодим ва неодим сохта шуда, хосиятҳои муҳими онҳо омӯхта шаванд. *Барои амаликунии таҳқиқот чунин вазифаҳо гузошта шуданд:* синтези хӯлаи сечандаи металлӣ тавассути ҷавҳаронии ҳаҷмӣ ва ҷудогонаи таркиби $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои Ce , Pr ва Nd ; таҳлили таркибҳои элементӣ ва фазаӣ ва тағйирот дар микросохторҳои хӯлаҳои синтезшуда; таҳқиқи тағйирёбиҳо дар рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаҳои синтезшудаи таҳқиқмешуда дар муҳитҳои фаъоли коррозионӣ; муайян намудани саҳтӣ, мустаҳкамӣ ва соҳаи татбиқи хӯлаҳои металли $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr,Nd)$.

БОБИ 2. МАВОДҲО ВА МЕТОДҲОИ ТАҲҚИҚОТҲОИ ИЛМӢ-ТАҶРИБАВӢ

2.1. Синтез ва таҳлилҳои таркибӣ ва сохтории хӯлаҳо

Синтези хӯлаҳои нав боиси тағйироти кулӣ дар усулҳои технологияи гудозиш, истифодаи таҷҳизоти гудозиш ва маводи қолабсозӣ гардид, инчунин усулҳои нави истеҳсоли қолабҳои маснуотро ба вуҷуд овард. Хусусияти васеи истифодаи ин хӯлаҳо ба таҳияи принципҳои наватарини ташкили истеҳсоли механиконидашуда ва автоматикунонидашудаи металлургӣ дар чараёни тайёр кардани гудозаҳо, рехтани қолабҳо ва коркарди рехтагарӣ мусоидат намуд.

Талаботи муосир ба таъмини маснуоти баландсифат ва масолеҳи рехтагарӣ омӯзиши амиқи хосиятҳои гудозаи моеъро талаб намуд. Як қатор равандҳои ҳамкориҳои гудозаи моеъ бо омехтаҳо, газҳо, даҷғолҳо, маводи оташногузар ва флюсҳоро метавон номбар кард. Равандҳои тозакунии гудоза аз газҳои гуногун, раванди кристаллшавии гудоза дар суръати паст ва баланд ҳангоми хунукшавӣ, инчунин раванди пур шудани қолабҳо бо гудоза ҳангоми рехтагариро дар бар мегирад. Равандҳои сахтшавии хӯлаҳо бо падидаҳои гуногун, ба мисли кашиши хаттӣ ва ҳаҷмӣ, ки ба тағйироти сохторӣ оварда мерасонанд.

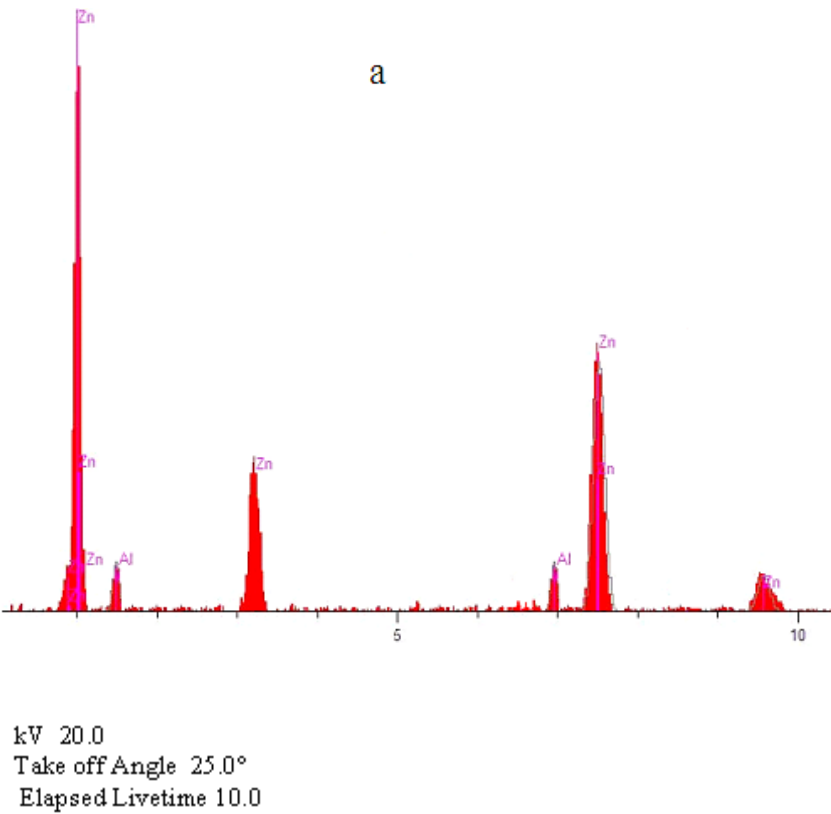
Ҳаллу фасли техникӣ, ки ҳангоми тарҳрезии хӯлаҳо қабул карда мешаванд, бояд истеҳсоли маснуоти рехтагариро мутобиқ ба стандартҳои ГОСТ ва талаботи техникӣ муайяншуда бо ташкили назорати сифати маҳсулот таъмин намоянд.

Хӯлаҳои металлӣ аз чандин компонент иборатанд. Компонентҳои элементҳои мебошанд, ки бо мақсади беҳтар кардани хосиятҳои хӯла ба он ворид карда мешаванд. Элементи асосӣ ё асоси хӯла одатан элементе аст, ки миқдори он аз 50% зиёд аст. Ба ғайр аз асос, ба таркиби хӯла компонентҳои ҷавҳаронӣ, ки махсус барои тақвият ва тағйирдиҳии хосиятҳои муайян ворид карда мешаванд, инчунин омехтаҳои гуногун ё ғашҳои таркибии он шомил мешаванд, ки маъмулан номатлуб ба гуруҳҳои безарар ё зарараш ночиз-бетаъсир, миёназарар ё зарараш камтар-таъсиркунанда ва зарарнок, ки зарараш таъсирнок ва таъсирбахш аст ҷудо мешаванд, қобили қабул мебошанд.

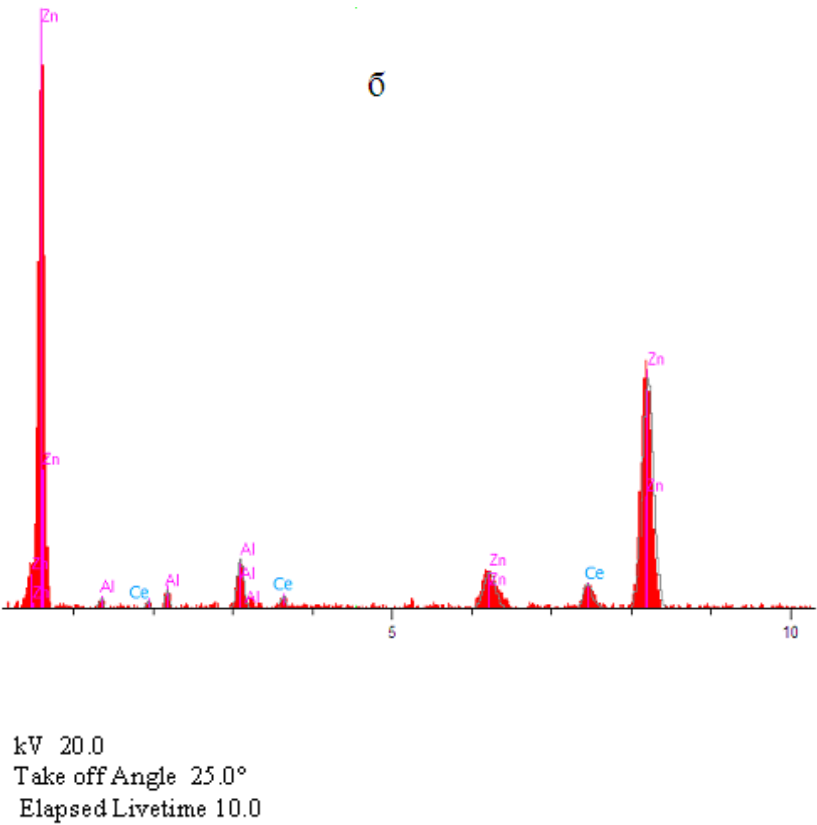
Аз ҷиҳати хусусиятҳои зоҳирӣ (ранг, зичӣ ва ғайра) ва хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаҳо ба метали асосӣ ҳамшабеҳанд, аммо истисноҳо низ мавҷуданд. Баъзе хӯлаҳо метавонанд аз ҷиҳати ранг, намуди зоҳирӣ ва хосиятҳо бештар ба компонентҳои ҷавҳаронии асосӣ шабоҳат дошта бошанд, на ба метали асосӣ, ки дар амалия ин вобастагӣ татбиқ шудааст [111].

Лигатураҳо мувофиқи мақсаданд, вақте ки ворид кардани компонентҳои зудбухорпаршаванда ва элементҳои химиявӣ фаъол зарур аст, зеро дар шакли ҳолис онҳо дар ҳарорати гудоза ба ҳолати газӣ мегузаранд. Лигатураҳоро инчунин ҳангоми ворид кардани иловаҳои фаъол, ки дар ҳаво бо газҳои гуногун баҳамтаъсирот мекунанд, истифода мебаранд. Истифодаи лигатураҳо дар ҳолатҳои низ муфид аст, ки элементҳои иловаи тоза хеле гарон аст ё умуман истеҳсол намешавад, вале истеҳсоли хӯлаҳои лигатурӣ аллакай ба роҳ монда шудааст ва онҳо дастрасу нисбатан арзон мебошанд. Ниҳоят, лигатураҳо барои ворид кардани миқдори ниҳоят ками иловаҳо ба хӯла хеле муҳиманд.

Маводҳои ибтидоии ин таҳқиқот металҳои рангаи зерин буданд: руҳи гранулшакл – ХТ (ГОСТ 24231-80), алюминийи А7 (ГОСТ 11069-2001), сериҳои Це ЭО (ТУ 48295-83), празеодими ПрМ-1 (ТУ 4840215-72), неодими НМ1 (ТУ 4840205-72). Лигатураҳои системаҳои Al-Ce(Pr, Nd, 10 мас.%) пешакӣ дар кӯраи СНВЭ-1.3.1/16ИЗ ҳосил карда шуданд. Пас аз гарм кардани кӯраи СШОЛ, руҳ ва алюминий гудохта шуда, сипас ин лигатураҳо алоҳида ворид карда шуданд. Дар ҳудуди ҳарорати 750–850°C гудохта бодикқат омехта карда шуда, намунаҳо рехта шуданд. Барои баркашидани вазни гудозаҳо тарозуи АРВ-200 истифода карда шуд. Таркиби миқдорӣ ва микросохтори намунаҳои хӯлаҳои мазкур бо микротаҳлилҳои рентгеноспектралӣ [112] ва микросохторӣ [113] дар микроскопҳои электронии намудҳои SEM (AIS2100) ва ERGOLUX AMC мавриди санҷиш қарор дода шуданд. Саҳеҳияти дурустии муайянкунии миқдори элементҳои ҷавҳаронии таркиби хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr, Nd)$ қиматҳои $\pm 10^{-3}\%$ -ро барои компонентҳои хӯла нишон дод (расмҳо 2.1-2.3). Инчунин таъсири самараноки элементҳои ҷавҳаронӣ ба хурдшавии андозаҳои донаҳои микросохтори ($\times 500$) хӯлаи асосии $Zn_{0.5}Al$ мушоҳида карда шуд (расм 2.4).

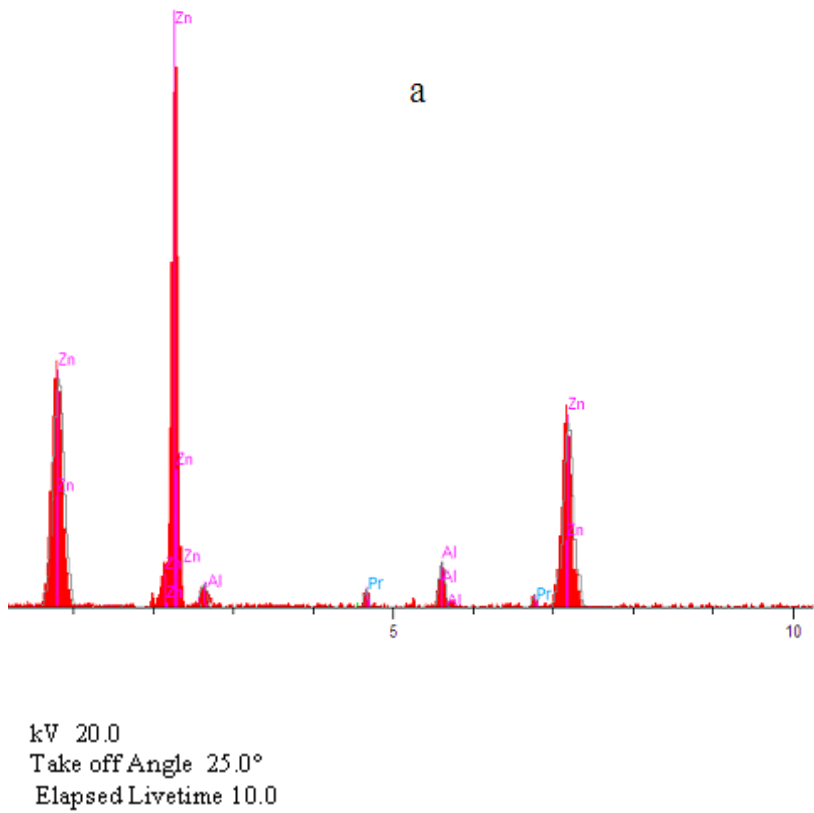


Вохиди ченак		Консентратсия	Хатогии таҷриба	Шиддатнокии хат	Афканиши хат	Элемент
	вазн. %	0.503	1.433	57.21	Ka	Al
	вазн. %	99.497	11.428	324.51	Ka	Zn
Хамагӣ	вазн. %	100.000				

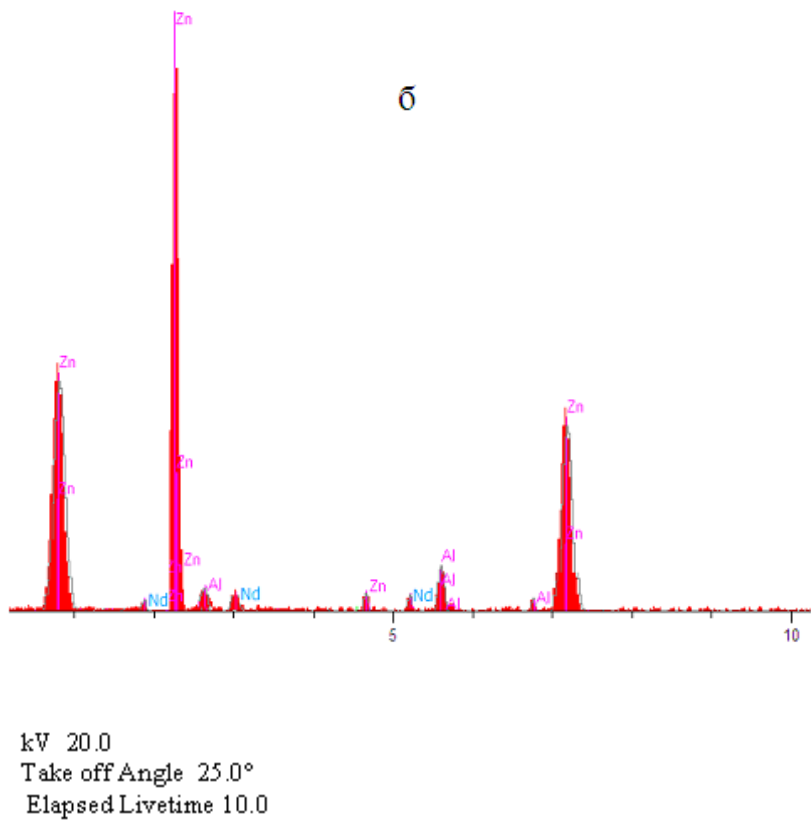


Вохиди ченак		Консентратсия	Хатогии таҷриба	Шиддатнокии хат	Афканиши хат	Элемент
	вазн. %	0.500	0.002	18.83	Ka	Ce
	вазн. %	0.502	0.007	19.87	Ka	Al
	вазн. %	98.998	1.803	270.12	Ka	Zn
Хамагӣ	вазн. %	100.000				

Расми 2.1. – Таҳлили ренгеноспектралии таркиби хӯлаи Zn_{0.5}Al (а),
ки дар таркибаш 0.5%-и вазнӣ серий дорад (б)

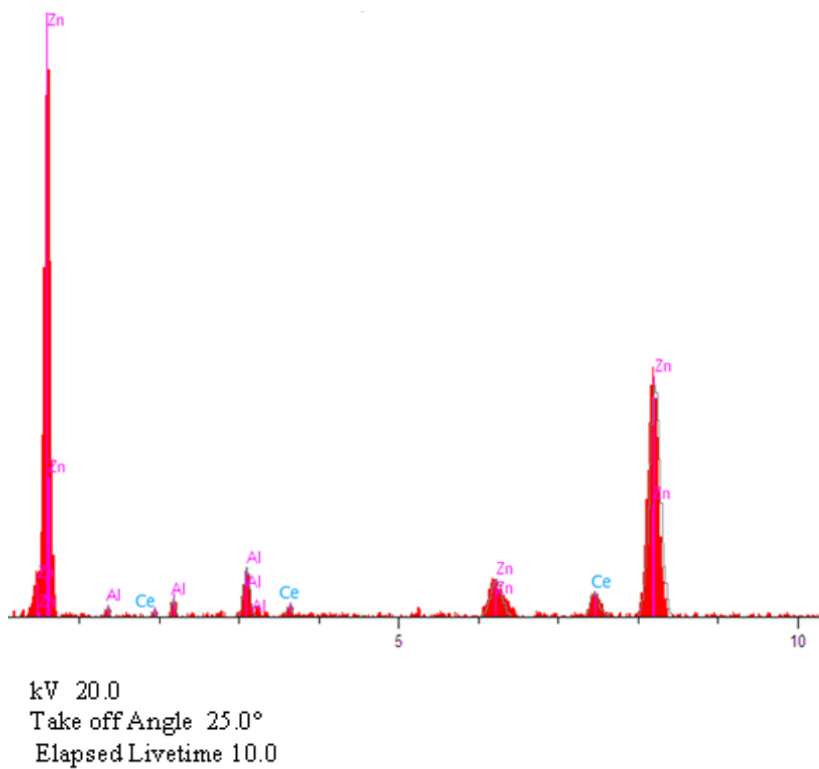


Вохиди ченак		Концентратсия		Хатогии таҷриба	Шиддатнокии хат	Афканиши хат	Элемент
	вазн. %	0.498	0.002	21.83	Ка	Pr	
	вазн. %	0.501	0.007	18.57	Ка	Al	
	вазн. %	99.001	1.605	275.68	Ка	Zn	
Хамагӣ	вазн. %	100.000					



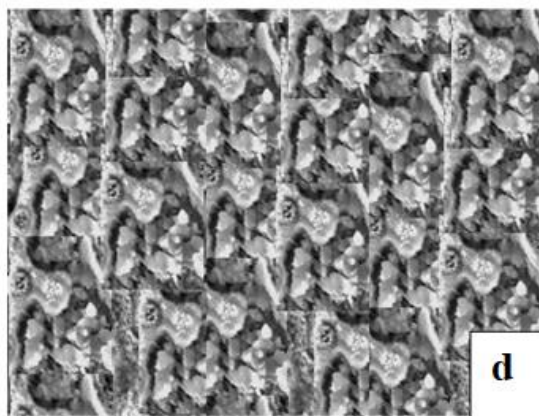
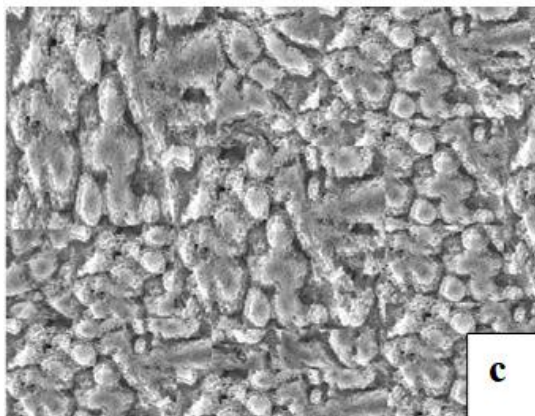
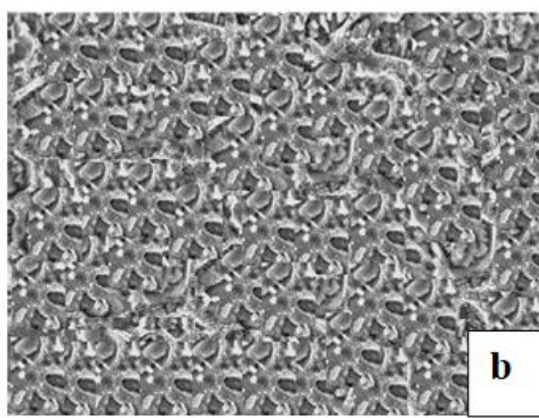
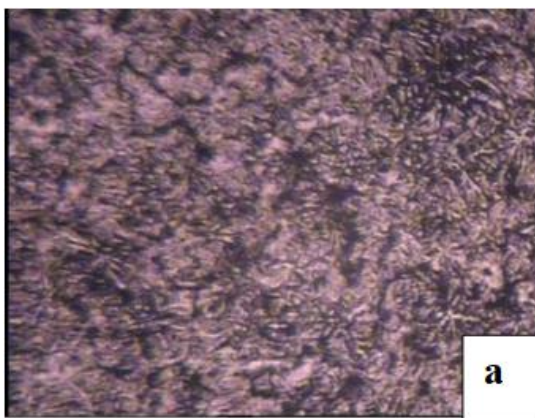
Вохиди ченак		Концентратсия		Хатогии таҷриба	Шиддатнокии хат	Афканиши хат	Элемент
	вазн. %	0.500	0.001	20.12	Ка	Nd	
	вазн. %	0.504	0.008	23.12	Ка	Al	
	вазн. %	98.996	1.725	261.34	Ка	Zn	
Хамагӣ	вазн. %	100.000					

Расми 2.2. – Таҳлили ренгеноспектралии таркиби хӯлаи Zn0.5Al, ки дар таркибаш ҷудогона 0.5%-и вазнӣ празеодим (а) ва неодим (б) дорад



Хамагуй						
вазн. %	вазн. %	вазн. %	вазн. %	вазн. %	вазн. %	
100.000	98.998	0.502	0.500	0.500	0.500	Вохиди ченак
	1.803	0.007	0.002	0.002	0.002	Консентратсия
	270.12	19.87	18.83	18.83	18.83	Хатогии таҷриба
	Ка	Ка	Ка	Ка	Ка	Шиддатнокии хат
						Афканиши хат
	Zn	Al	Ca	Ca	Ca	Элемент

Расми 2.3. – Таҳлили ренгеноспектралии таркиби хӯлаи $Zn_{0.5}Al_{0.5}Ce$



Расми 2.4. – Микросохторҳои хӯлаи $Zn_{0.5}Al(a)$ бо 0.05% Ce(b), Pr(c) ва Nd(d)

2.2. Методи таҳқиқоти коррозионӣ-электрохимиявӣ, сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо

Суръати рушди аксари соҳаҳои саноат, таҳияи равандҳои муосири технологие, ки дар муҳитҳои барангезанда мегузаранд, вобаста ба маводи рехтагарӣ ва саноатии руҳ ва алюминий талаботи хеле баландро ба миён меоранд. Дар раванди истифодабарии гуногуни маснуоти аз пӯлод ва хӯлаҳо сохташуда, дар натиҷаи баҳамтаъсири электрохимиявӣ ё химиявии онҳо бо муҳити атроф, бешубҳа, коррозия руҳ медиҳад. Аз ин рӯ, муайянкунии сабабҳои талафоти коррозионӣ имкон медиҳад, ки усули дурусти муҳофизати пӯлод ва хӯлаҳо интихоб карда шавад.

Гуногунии шароити муҳит истифодаи ҳатмии воситаҳои оммавино барои муайянкунии тобоварии коррозионӣ дар таҷрибаҳои озмоишгоҳӣ ва истеҳсоли талаб мекунад. Таҷрибаҳои озмоишгоҳии суръатнок гузаронида мешаванд, то дар муддати кӯтоҳ маълумот дарёфт шавад, ки ин имкон медиҳад рафтори коррозияшавии металл ё хӯларо дар шароити табиӣ барои муддати тӯлонӣ баҳогузорӣ намоянд. Дар ин раванд, хусусият ва хосиятҳои маводи металлӣ, таркиб ва хосиятҳои муҳит, инчунин шароити истифодабарии конструксия бояд ба назар гирифта шаванд. Таҷрибаҳои озмоишгоҳии суръатноки коррозия барои гирифтани маълумоти муқоисавӣ мувофиқанд. Натиҷаҳои таҳқиқоти коррозия бояд имконият диҳанд, ки рафтори коррозияшавии хӯлаҳои гуногун дар шароити гуногуни саноатӣ пешгӯӣ ва муайян карда шавад.

Ҳамин тариқ, яке аз муҳимтарин ва дақиқтарин усулҳои таҳқиқоти озмоишгоҳии коррозионӣ ин усулҳои электрохимиявӣ мебошанд. Аксар вақт тағйироти потенциали хӯла дар муҳити муайяни коррозияшаванда вобаста ба вақти коррозияшавӣ карда мешавад. Тасвирҳои пурраи раванди коррозионӣ тавассути қатъҳои поляризатсионӣ дарёфт мешаванд, ки ба онҳо асосан барои арзёбии поляризатсияи хӯлаи таҳқиқшаванда, нақши реаксияҳои катодӣ ва анодӣ ва таъсири омилҳои дохилӣ ва берунӣ ба раванди коррозиониро истифода мебаранд. Вобаста аз равандҳои коррозионӣ ва намудҳои таъсири он, хусусан ченкунии поляризатсионӣ дар таҳқиқоти системаҳои пасившаванда ҷойгоҳи

махсусро ишғол мекунад.

Таҷҳизот ва асбобҳои муосири истеҳсолоти химиявӣ ва корхонаҳои металлургӣ дар шароити гуногун истифода мешаванд. Дар ин раванд нишондиҳандаҳои технологӣ, аз қабилӣ ҳарорат, таркиб, фишор, ҳаҷм, масраф ва ғайра назорат карда мешаванд. Масалан, дар мавриди пӯлодҳои ба таъсири атмосфера тобовар, раванди коррозсионӣ солҳои зиёд идома меёбад, то он даме, ки қабати муҳофизатӣ ташаккул ёбад, ки зарурати қабатҳои муҳофизатиро аз байн мебарад. Аз ин рӯ, мафҳуми "муддати кӯтоҳ" вобаста ба шароит метавонад дар ҳудуди васеъ тағйир ёбад. Баръакс, коррозияшавии маснуотҳои пӯлод дар оби маишӣ вақте ғайриқобили қабул мегардад, ки ба ранг гирифтани об бо зангоба оварда расонад. Дар мавриди арматураи пӯлод дар бетон ҳар гуна коррозия зараровар аст, зеро он боиси вайроншавии пардаи муҳофизатии пасивӣ мегардад [114, 115].

Талабот ба устувории муҳофизати зиддикоррозсионӣ пас аз татбиқи он дар амал хеле гуногун аст. Устувории баъзе масолеҳ бояд хеле дарозмуддат бошад: тақрибан 100 сол барои пулҳои бетони пешнамоишшуда ва даҳсолаҳо барои таҷҳизоти санитарӣ-техникии биноҳо ва ғайра. Аз шумораи зиёди мисолҳои муҳофизати дарозмуддати зиддикоррозсионӣ, ки бо қабатҳои ғафсу мустаҳками маҳсули коррозсионӣ таъмин карда мешаванд (дар муқоиса бо пардаи пасивии оддӣ), метавон ҳолати кубурҳои пӯлодиро барои таъмини об мухтасар баррасӣ кард. Оби тоза одатан оксиген ва намакҳои камҳалшударо дар бар мегирад ва хосияти тақрибан нейтралӣ дорад, ки дар натиҷа коррозияи оксигении маъмулӣ оғоз меёбад. Аммо дар шароити мусоид як қабати муҳофизатии пардаи оксидӣ ташаккул меёбад. Дар қабатҳои ғафси ин парда инчунин магнетит ҳосил шуда метавонад, ки бо оҳани металли зерин он дар тавозуни термодинамикӣ қарор мегирад. Дар маҷмӯъ, вариантҳои гуногуни реаксияҳои имконпазир мавҷуданд, ки механизми раванди коррозсиониро пас аз муддати тӯлонӣ мураккаб мегардонанд [35].

Муҳофизати зиддикоррозсионии металлҳо ва ҳӯлаҳо бо усулҳои сифатӣ ва миқдорӣ арзёбӣ карда мешавад, ки тағйири металл ё ҳӯларо дар шароити муайян

ва дар муддати муайян аниқ мекунад. Усулҳои сифатӣ хусусияти пурраи устувории ҳӯларо намедиханд ва танҳо ёрирасон мебошанд [114].

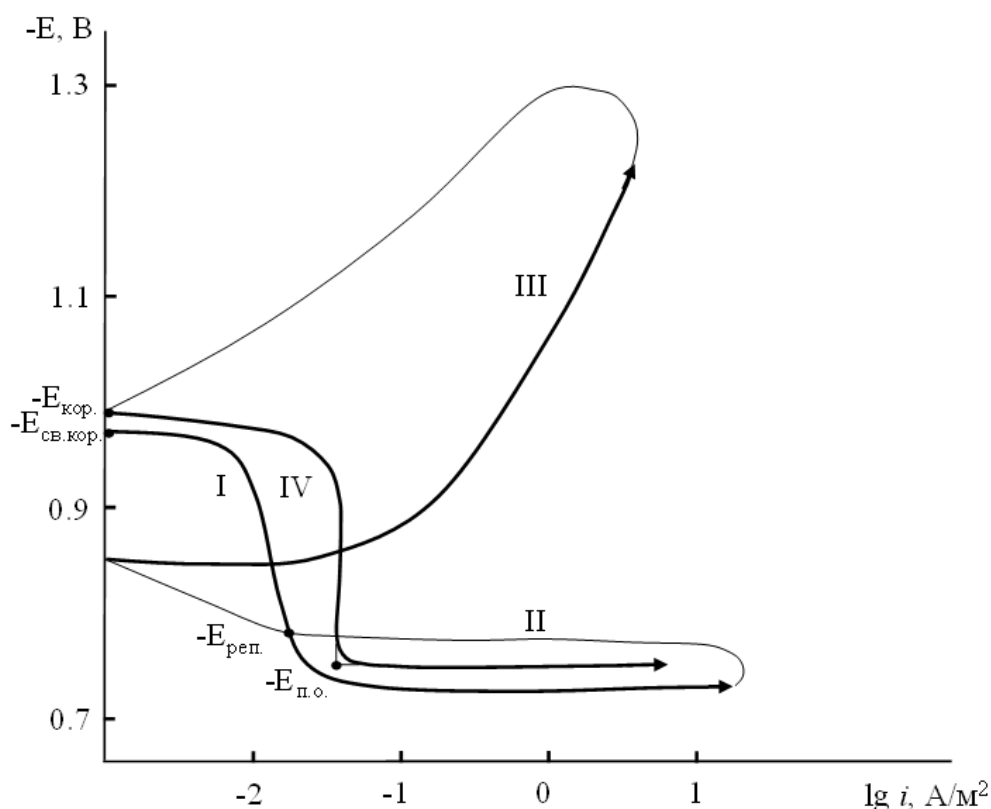
Аз усулҳои микдории арзёбии устувории коррозсионӣ усулҳои электрохимиявӣ ва усулҳои муқоисавии хосиятҳои коррозсионӣ-электрохимиявии таҷрибавии суръатноки озмоишгоҳӣ бештар дар истеҳсолот истифода мешаванд. Аз ин рӯ, барои муайян кардани устувории коррозсионии маҳсули ҳӯлавӣ дар шароити истеҳсолӣ аксаран ба санчишҳои суръатноки озмоишгоҳӣ маҳдуд мешаванд.

Ба усулҳои электрохимиявии натиҷагирии раванди коррозсионӣ ченкунии потенциали ҳӯла ҳангоми коррозияшавӣ дохил мешавад. Дар муайян кардани устувории коррозсионӣ ҳамаи омилҳое, ки ба суръат ва хусусияти коррозияшавии ҳӯлаҳо дар шароити истеҳсолӣ таъсир мерасонанд, бояд ба назар гирифта шаванд. Иловатан, барои ба даст овардани хосиятҳои муқоисавии коррозсионӣ, санчишҳои гуногуни ҳӯлаҳо бояд дар шароити якхела гузаронида шаванд ва натиҷаҳои санчишҳо бо воҳидҳои якхела ифода шаванд.

Санчишҳо оид ба таҳқиқи рафтори анодӣ дар ҳӯлаи бо металлҳои гуногунконцентратсиядоштаи Ce , Pr ва Nd ҷавҳаронидашудаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо истифода аз асбоби электронӣ-импулсии потенциостат ПИ-50.1 гузаронида шуданд. Маълумоти пурраи методи таҳқиқот дар [116–118] ба таври муфассал баён шудааст. Барои ченкунии потенциали намунаҳои ҳӯла ҳангоми коррозия электродҳои муқоисавии хлориднуқрагӣ (эхн) ва ёрирасони платинагӣ (Pt) истифода шуданд. Маҳлулҳои зерин ҳамчун муҳити фаъоли коррозсионӣ истифода шуданд: 0.1н ($\text{pH}=1$), 0.01н ($\text{pH}=2$), 0.001н ($\text{pH}=3$) HCl ; 0.03% , 0.3% , 3.0% ($\text{pH}=7$) NaCl ; 0.001н ($\text{pH}=10$), 0.01н ($\text{pH}=11$), 0.1н ($\text{pH}=12$) NaOH . Дар ячейкаи озмоишгоҳӣ маҳлули электролит мунтазам барои ҳар як таҳқиқоти ҳӯла иваз карда шуд. Маводи таҳқиқот ин намунаҳои ҳӯлаҳои цилиндршакли андозаашон 8×140 мм буданд. Қисмҳои паҳлуии ҳар як намунаҳои алоҳидаи ҳӯла, концентратсияи гуногун дорад, бо лакҳои муҳофизатӣ пӯшонид шуданд.

Таҳқиқоти потенциостатикӣ бо дарназардошти қимати пешакӣ аниққардашудаи $E_{\text{св.кор.}}$ (қачхати I), ки бе истифодаи барқ муайян карда шуда буд,

дар речаи (2мВ/сония) потенциодинамикӣ аз ин нуқта то ба самти мусбии киматҳои потенциал, ки дар натиҷа питтинг ба вуҷуд меояд, бо поляризатсия анҷом дода шуд. Баъд намунаи хӯла дубора ба самти манфӣ ба поляризатсия дучор гардида, аз буриши қатъаҳои I ва II ё нуқтаи қатъаи II потенциали репассивии он аниқ гардид. Ҳангоми катодӣ поляризатсия намудан қабатҳои оксидӣ аз сатҳи хӯла, тибқи қатъаи III, поксозӣ шуданд. Пас аз ин, амалиёти дубораи поляризатсияи самти мусбии намуна анҷом пазируфт. Ниҳоят, хусусиятҳои анодии намунаи хӯла аз рӯи қатъаи IV аниқ карда шуданд. Зичии ҷараёни коррозия бо истифода аз афтиши Тафелӣ (b_k) [115] дар қатъаи катодӣ аниқ гардида, суръати коррозия бошад чунин муайян карда шуд: $K = i_{\text{корр.}} \cdot k$, (k – эквиваленти электрохимиявӣ баробар ба 1.22 г/А·соат) (расм 2.5).



Расми 2.5. – Схемаи поляризатсионӣ дар қатъаҳои катодӣ ва анодӣ барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.05}\text{Se}$ дар муҳити 0.01н-и электролити NaOH:

- I ($E_{\text{св.корр.}}$) – потенциали коррозияи озод; II ($E_{\text{реп.}}$) – потенциали репассивӣ;
III ($E_{\text{корр.}}$) – потенциали коррозия; IV ($E_{\text{п.о.}}$) – потенциали питтингҳосилшавӣ.**
- $\lg i$ – логарифми зичии ҷараёни коррозия**

Хосиятҳои механикии ҳӯлаҳо асосан ҳангоми таъсири қувваи беруна ё сарборӣ дар натиҷаи санҷишҳо муайян карда мешаванд. Дар натиҷаи чунин санҷишҳо нишондиҳандаҳои миқдории хосиятҳои механикӣ муайян карда мешаванд. Ин нишондиҳандаҳо барои интихоби мавод ва речаҳои коркарди технологии онҳо, ҳисобкуниҳои устувории чузъҳо ва конструкцияҳо, инчунин назорат ва ташҳиси ҳолати устувории онҳо дар чараёни истифода заруранд. Назорати хосиятҳои механикӣ аллакай дар марҳилаи истеҳсоли металл ё ҳӯлаҳои он дар корхонаҳои металлургӣ оғоз меёбад. Вақте, ки ҳӯла ё маснуот ба истеъмолкунанда, масалан ба корхонаи мошинсозӣ мерасад, он вобаста ба сатҳи нишондиҳандаҳои хосиятҳои механикӣ барои истеҳсоли ин ё он маснуот бо назардошти шароити истифодааш интихоб карда мешавад. Бинобар ин, гуногунии шароити истифодаи маснуот зарурати гузаронидани шумораи зиёди санҷишҳои механикиро ба вуҷуд меорад. Бо вуҷуди ин, нишондиҳандаҳои асосии зерин имкон медиҳанд, ки навъҳои санҷишҳои механикӣ: усули сарборӣ (кашиш, фишурдашавӣ, ҳамиш, тобиш, буриш ва ғайра); суръати сарборӣ (статикӣ, динамикӣ) ва давомнокии раванди санҷиш (кӯтоҳ ва дарозмуддат) муайян карда шаванд. Ҳамчунин нишонаҳои дигари гуруҳбандӣ низ мавҷуданд, ки бо мураккабии ҳолати шиддату деформатсия, речаҳои сарборӣ, навъҳои намунаҳо, тавсифи элементҳои таркибии ин сохтор, омӯзиши масъалаҳои вобаста ба қонуниятҳои ташаккули он дар ҳӯлаҳо ва муҳити агрессивӣ тавсиф меёбанд. Дар натиҷаи санҷишҳои механикии мавод хосиятҳои ҷандирӣ (қобилияти барқароршавӣ), тобовариҳо ба ҳарорати баланд, сармо ва ба шикаст, зичӣ, ғасурдашавӣ, сахтӣ ва мустаҳкамӣ муайян карда мешаванд [119-122].

Сахтӣ – ин қобилияти муқовимати мавод ба деформатсияи контактӣ ё шикастпазирӣ ҳангоми ғуромадани индентор ба рӯи он мебошад. Санҷишҳои сахтӣ аз ҷумлаи дастрастарин ва васеътарин навъи санҷишҳои механикӣ буда, бо усулҳои гуногун, махсусан бо усули Бринелл таҳқиқ ва муайян карда мешаванд. Таҳқиқи хосияти сахтии намунаҳои ҳӯлаи $Zn0.5Al$ ва ҳӯлаҳои бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашударо бо шаклу андозаҳои стандартӣ (10×16 мм) дар дастгоҳҳои сахтисанҷи ТШ-2 гузаронида шуд (расм 2.6) [123].



Расми 2.6. – Сахтисанчи тамғай ТШ-2

Санҷиши сахтӣ бо методи Бринелл (ГОСТ 9012–59) [123] зимни пахшкунии намунаҳои хӯла бо курашакли пӯлодии диаметраш D (10 мм) зери таъсири қувваи сарбориаш F (250 кг) амалӣ карда шуда, пас аз бардошти бор, диаметри изи боқимонда d чен карда шуд. Қимати сахтӣ бо усули Бринелл (HB , кгс/мм² ё МПа) тибқи муодилаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}.$$

Дар байни сахтии хӯлаҳо, ки бо усули пахшкунӣ ва дигар хосиятҳои механикӣ (асосан мустаҳкамӣ) муайян карда мешавад, вобастагии миқдорӣ вучуд дорад. Бинобар ин, бо истифода аз вобастагии эмпирикӣ ва қиматҳои бо ченкунӣ муайянкардашудаи сахтии хӯлаҳо хосияти мустаҳкамии намунаҳои хӯлаи Zn0.5Al ва хӯлаҳои бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда бо муодилаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$\sigma = kHB.$$

дар ин ҷо HB – сахтӣ аз рӯйи Бринелл; k – зариб, ки аз хусусият ва ҳолати сохтории хӯла вобаста аст.

2.3. Методи таҳқиқоти оксидшавии хӯлаҳо ва маҳсули онҳо

Аксарияти металлҳо ё хӯлаҳои металлӣ ҳангоми баҳамтаъсирот бо оксигени ҳаво ё дигар оксидкунандаҳо бо қабати оксидӣ пӯшида мешаванд. Механизми ташаккули ин қабат дар металл чунин аст, ки дар лаҳзаи аввалини таъсири ягон реагент ба металл, қабати тунуки маҳсули коррозсионӣ ба вучуд меояд. Агар ин қабат комилан ғайрибуғтузар барои реагенти коррозияшаванда мебуд, он метавонист металро аз коррозия муҳофизат кунад ва тағйироте дар ғафсии он рух намедод. Вале дар амал, қабат то ғафсии муайян барои агенти коррозияшаванда гузаранда боқӣ мемонад, ки тавассути он ба сатҳи металл диффузионӣ ташакул меёбад. Дар айни замон, маълум шудааст, ки дар ин ҳолат диффузияи дутарафа ба амал меояд: реагент тавассути қабат ба металл ва металл тавассути қабат ба муҳити беруна мегузарад. Афзоиши ғафсӣ ё рушди қабат бо худбоздоштани суръат сурат мегирад, зеро ҳар қадар ғафсии қабат зиёд шавад, ҳамон қадар суръати диффузия тавассути он коҳиш меёбад. Ин мулоҳизаҳо, албатта, танҳо ба қабатҳои муҳофизатӣ дахл доранд, ки дар металл боқӣ мемонанд, дар муҳити коррозсионӣ ҳал намешаванд ва аз сатҳи металл ҷудо намешаванд [82].

Бисёре аз омилҳои, ки дар кинетикаи оксидшавии металлҳои тоза муҳокима шудаанд, дар раванди оксидшавии хӯлаҳо низ нақши муҳим мебозанд. Сабабҳои асосие, ки оксидшавии хӯлаҳоро аз металлҳо фарқ мекунанд, вобаста ба мураккабии ҷараёни оксидшавӣ инҳоянд [78]: металлҳо дар хӯлаҳои бисёркомпонентӣ ба оксиген майли гуногун доранд, ки ин дар энергияҳои озоди гуногун ҳангоми ташаккули оксидҳо инъикос меёбад; эҳтимоли ташаккули оксидҳои оддӣ ва мураккаб (шпинелҳо) вучуд дорад; байни оксидҳои ташаккулёфта метавонад дараҷаи муайяни ҳалшавӣ ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати сахт вучуд дошта бошад; ионҳои гуногуни металлӣ дар қабати оксидии ҳосилшуда ҳаракатпазирии мухталиф доранд; металлҳои гуногун бояд дорои зарбҳои гуногуни диффузия дар ин ҳолат бошанд.

Дар пӯлод ва ҷӯян ҳангоми коррозияи газӣ қабати маҳсули коррозсионӣ ба вучуд меояд, ки сохтори он хеле мураккаб аст, зеро он аз чанд қабат иборат аст.

Гумон меравад, ки таъсири муҳофизатиро қабате, ки бевосита ба маҳсул часпидааст, таъмин мекунад [124]. Аз ин рӯ, суръати оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳои руҳ вобаста ба консентратсияи компонент, таркиби муҳит, ҳарорат ва хусусияти маҳсулоти ҳосилшуда фарқ мекунад.

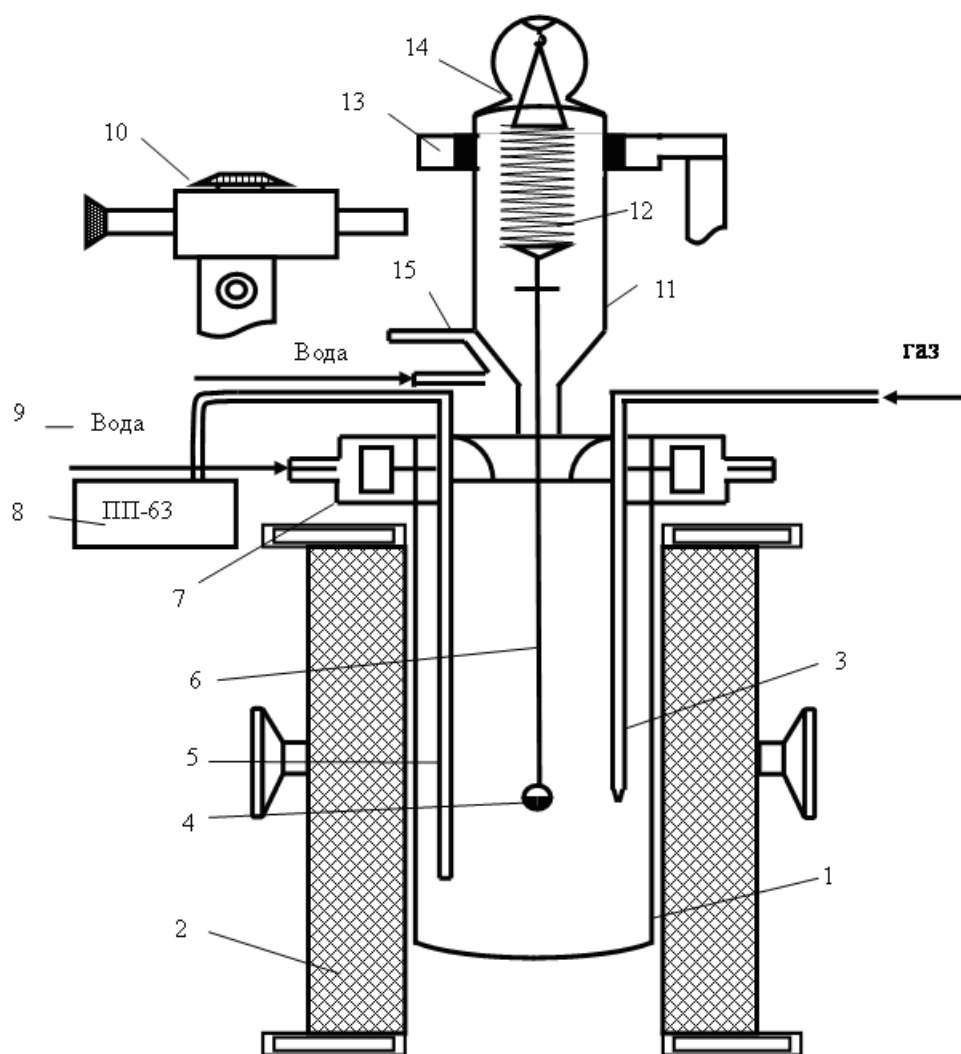
Таҳқиқоти хосиятҳои гуногуни комплекси хӯлаҳои руҳ бо ҷавҳаронӣ дар бисёр корҳои илмӣ баррасӣ шудааст. Инчунин, маълумот дар бораи оксидшавии намунаҳои хӯлаи руҳ бо металлҳои гуногун [83–107] мавҷуд аст. Дар натиҷаи ин таҳқиқот соҳаҳои истифодаи хӯлаҳо муайян карда шудаанд.

Таҳқиқоти оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо дар фазои ҳаво мисоли ҷолиби соҳаи илм мебошад, зеро ингуна равандҳо бо шавқу завқ омӯхта мешаванд, чунки оксидшавӣ барои соҳаҳои навтарини техника аҳамияти калон дорад. Оксидшавии баландҳароратӣ – асоси коррозияи газӣ – дар навбати худ раванди хеле мураккаб мебошад, ки қонунҳои афзоиши қабатҳои пардаи оксидиро муайян мекунад. Газҳои оксидкунанда ғайр аз оксиген метавонанд газҳои дорой сулфур ва карбон низ ва ғайра бошанд.

Бар асари таъсироти хӯлаҳои металлӣ бо муҳитҳои газӣ ё оксигени ҳаво коррозияи химиявӣ ба амал меояд, ки дар он фаҳмиши асосии оксидшавии онҳо дар ҳароратҳои гуногуни баланд асоси сохтани рӯйпушҳои махсуси муҳофизати металиро ташкил медиҳад. Ингуна рӯйпушҳои махсуси муҳофизатӣ, ки ба сатҳи маснуот ва конструкцияҳои пӯлоди карбондошта молида мешаванд, ки дар ҳоҷагии халқ, мошинсозӣ, галванотехника, сохтмон ва ғайраҳо истифода мегарданд, ба зиёдшавии тобоварии онҳо ба коррозия ва дароз кардани муҳлати хизмати онҳо мусоидат мекунанд.

Ҳадафи гузаронидани таҷрибаҳо оиди оксидшавии баландҳароратии анъанавӣ дар муайянкунии кинетикаи раванд ва механизми оксидшавии намунаи озмоишии металл ё хӯла дар маҷмӯи муайяни параметрҳои таъсири мутақобил, аз қабали ҳарорат, фишор, муҳити газӣ ва ғайра мебошад. Бо истифодабарии методи термогравиметрӣ оксидшавии намунаҳои хӯлаҳои саҳти системаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al-Ce}$ (Pr, Nd)-ро дар доираи ҳароратии 523-623K таҳқиқотҳо анҷом дода шуданд. Тағйири вазни намунаҳои хӯла тавассути дарозшавии пружина бо

истифода аз катетометри КМ-8 сабт гардиданд (расм 2.7). Тигелҳо бо андозаҳои диаметри 18–20мм ва андозаҳои баландии 25–26мм пеш аз таҷрибагузаронӣ дар муҳити оксидӣ ва ҳарорати 1000–1200°C то вазни бетағйир-доимӣ тафсонада шуданд. Баъди анҷоми таҳқиқот, таҷҳизот сард карда шуда, тигели дорои намуна баркашида шуда, сатҳи реаксионии намуна муайян карда шуд. Маълумот ба таври пурра оиди методикаи ин таҳқиқот дар [78, 125] муфасссал баён ва муҳокима шудааст.



Расми 2.7. – Схекаи таҷҳизот барои таҳқиқоти оксидшавии хӯлаҳо:

1 – кӯраи Тамман; 2 – чилд аз оксиди алюминий; 3 – найчаи газгузарон; 4 – зарфи тигелӣ; 5 – термopарои озмоишӣ; 6 – ноқили платинавӣ; 7 – сарпуши обхунуккунанда; 8 – асбоби потенциометр; 9 – об; 10 – асбоби катетометр; 11 – чилд аз шишаи молибденӣ; 12 – пружина аз ноқили молибденӣ; 13 – пояк; 14 – сарпуш; 15 – трон ва яхдон

Бо истифодабарии таҳлили рентгенофазавӣ маҳсули оксидшавии намунаҳои хӯла дар таҷҳизоти ДРОН-2.0 зимни шуоъдиҳии $\text{CuK}\alpha$ мавриди таҳқиқ қарор дода шуд. Маҳсули хокавӣ дар рӯйи каретаи таҷҳизот бо қабати тунуки баробар пӯшонидо шуд. Барои устувор васлшавии маҳсули хокавӣ ба каретка, дар сатҳи он 3–4 қатра спирт чаконда шуд. Каретка бо намунаи хӯла ба ин таҷҳизот гузошта шуд. Дифрактограммаҳои намунаи хӯла дар ҳудуди аз 6 то 80 дараҷа тибқи нишондоди ҳисобкунаки ин таҷҳизот сабт карда шуданд. Ҳангоми таҳлили натиҷаҳои ҳосилшуда, шиддатнокии нисбии хатҳои спектралӣ ба назар гирифта шуд. Зеро афзоиши хатҳои фазавӣ дар дифрактограммаҳо аз таносуби миқдори фазаҳои дар сатҳи намуна ҳосилшуда вобаста аст. Ҳисобкунии рентгенограммаҳо бо методикаи маъруф анҷом дода шуд [126-128].

2.4. Аҳамияти методҳои таҳқиқот

Ҳамин тавр, барои гузаронидани таҳқиқоти рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо серий, празеодим ва неодим методҳо ва асбобҳои муосири илмӣ-таҷрибавӣ истифода бурда шудааст. Зеро гузаронидани озмоишҳои илмӣ-таҷрибавӣ аз методҳо, намуд ва истифодабарии таҷҳизот вобаста аст. Афзалиятҳои методҳои таҳқиқотии истифодабурдашуда дар соддагии нисбии таҷҳизоти истифодашаванда ва имкони татбиқи онҳо дар муҳитҳо ва ҳароратҳои гуногун зоҳир мегардад. Методи потенциостатикии таҳқиқоти хосиятҳои хӯлаҳо имкон медиҳад, ки дар муқовимати зиддикоррозиони маснуотҳо, рафтори анодии хӯлаҳо ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ муайян карда шавад. Бо методи Бринелл сахтӣ санҷида шуда, аз рӯйи қиматҳои сахтӣ мустақкамӣ ҳисоб карда шудааст. Мунтазам баркашидани намунаҳои хӯла дар раванди оксидшавӣ ҳангоми гармкунӣ бо сабти худкори вазн, методҳои рентгенография, микроскопияи электронӣ ва амсоли инҳо имкон доданд, ки механизми марҳилаҳои оғозшавии оксидшавӣ, ки дорои адсорбсияи газ дар сатҳи тозаи хӯла, ташаккули чанинҳои оксид, афзоиши ингуна чанинҳо, ташаккули ва афзоиши кристаллитҳои оксид, механизми пайдоиши қабатҳои пардаи оксидӣ ва афзоиши оксидҳо, инчунин нуқсонҳои сохторӣ ва баҳамтаъсироти онҳо амиқтар омӯхта шаванд.

БОБИ 3. РАФТОРИ АНОДӢ, САХТӢ ВА МУСТАҲКАМИИ ХӢЛАИ $Zn_{0.5}Al$, КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ ВА НЕОДИМ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

3.1. Рафтори анодии хӢлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо сери чавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозий-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$

Пеш аз таҳқиқот, доир ба омӯзиши вобастагии раванди коррозияи озоди хӢла бо тағйирёбии потенциали он аз вақти таҷриба ва омилҳои таъсиррасон бояд қайд намуд, ки усули омодаسازی электроди хӢлагӣ дар аксари мавридҳо набояд ба натиҷаҳои ченкунӣ таъсири назаррас расонад, зеро то лаҳзаи устувор шудани раванди коррозий сатҳи ҳалшаванда ба қадри кофӣ нав мешавад. Аммо, ҳолати ибтидоии электроди хӢлаи таҳқиқшаванда метавонад ба вақти устуворшавии раванд ва инчунин ба ҳолати хӢлаи намунавӣ таъсир расонад, ки дар он потенциали коррозия то оғози поляризатсия муқаррар мегардад.

Муайянкунии потенциал ҳангоми омӯзиши коррозияи озоди ($E_{кор.оз}$) намунаи электродии хӢла, чӣ дар муҳити коррозийи таҳқиқшаванда ва чӣ дар беиштирокии чараёни коррозий барои аниқкунии баъдӣ ва коркарди хусусиятҳои коррозий-электрохимиявӣ дар рафтори анодии хӢла омили муҳиме мебошад. Бе аниқкунии ин қимат, наметавон поляризатсияи катодӣ ва анодиро ҳангоми ченкуниҳои потенциостатикӣ дар иштироки чараёни коррозий дар ячейкаи асбоби ченкунӣ-импульсии потенциостат идома дод.

Дар ҷадвалҳои зерини 3.1-3.3 тағйироти потенциали коррозияи озоди бо сери чавҳаронишудаи хӢлаҳо дар муҳитҳои коррозий-фаъол нишон дода шудаанд. Ин бузургӣ дар асбоби потенциостат бидуни ҷорӣ кардани барқ ба маҳлули электролитӣ, ки ячейкаи озмоишгоҳӣ бо электролитҳои кислотаӣ, нейтрал ва ишқорӣ пур карда шудааст, сабт гардидааст. Ин потенциал барои ҳамаи намунаҳои таҳқиқшудаи хӢла дар тӯли тамоми давраи озмоиш ба самти гузариши қиматҳои мусбӣ тағйир меёбад. Фарқи қиматҳои $E_{кор.оз}$ —ро ҳангоми чараёни коррозияи озод дар муҳитҳои фаъоли коррозийи гуногун, аз рӯйи вақти озмоиши намунаҳои хӢла аниқ намудем. Мавҷудияти HCl ва $NaOH$ дар муҳит дар муқоиса бо мавҷудияти $NaCl$ дар муҳит фарқи қиматҳои потенциалро

назаррас тағйир медиҳад. Бештар майлқунии мусбии қиматҳои $E_{кор.оз}$ дар муҳити таҳқиқотии NaCl мушоҳида мешаванд. Бо афзоиши концентратсияи серий дар хӯла, ба самти манфӣ майлқунии қиматҳои потенциал ба вучуд меояд, вале бо гузашти вақт потенциал доимӣ мегардад. Ҳолати тағйирнаёбии қиматҳои потенциал бо маҳсули коррозия алоқаманд аст, ки дар раванди коррозияи озод пардаи муҳофизатиро ташкил медиҳанд.

Ҳангоми муқоисакунии натиҷаҳо нисбат ба намудҳои муайянкунандаи потенциал, метавон қайд кард, ки дар давраи ибтидоӣ (то 1 дақиқа) тағйирот нисбатан суст сурат мегирад, аммо минбаъд (то 30 дақиқа) суръати тағйирот ба таври назаррас меафзояд. Аз ин ҷо, ду қисмати мушоҳидашаванда дар вақти таҷриба ҷудо карда мешаванд, ки гузариш аз як потенциал ба дигараш қариб ҳамзамон рух медиҳад. Доимияти раванди коррозионӣ ҳангоми нигоҳ доштани намунаҳои хӯла дар муҳити нейтралӣ – пас аз 30 дақиқа, дар муҳити кислотай – пас аз 35 дақиқа ва дар муҳити ишқорӣ – пас аз 40 дақиқа ба амал меояд. Пас аз ин, дар тӯли тамоми ин таҷриба (то 1 соат), қиматҳои потенциали муайяншуда дар ҳамаи ин муҳитҳо таҳқиқшуда устувор мемонанд (ҷадвалҳо 3.1-3.3). Ин ҳудуди потенциалҳо ҳолати ғайрифаволии ҳамаи намунаҳои хӯларо нишон медиҳанд, ки то расидан ба потенциали вайроншавии репассивӣ (масалан, потенциали азнав ғайрифаволшуда) нигоҳ дошта мешавад.

Ба хӯла иловакунии серий дар миқдорҳои гуногун боиси тағйироти назарраси потенциали хӯлаи ибтидоии асосаш рух дар қисмати мусбии самт мегардад. Азбаски оғозшавии ҳолати ғайрифавол бо сустшавии шадиди ҷараёни анодӣ алоқаманд аст, дар ин ҳолат, коррозияи озоди ин хӯлаҳо бо назорати анодӣ ҷараён мегирад (ҷадвалҳо 3.1-3.3). Бо дақиқии кофӣ, метавон ташаккулёбии питтингҳоро чун коррозияи яксон дар муҳити коррозионии гуногун барои хӯлаи саҳт бо сатҳи нисбатан ҳамвор амалан баррасӣ намуд. Баландтарин афзоиши устувории зиддикоррозионӣ барои хӯлаҳои камҷавҳаронидашудаи серий дар муҳити сустбарангехтаи нейтралӣ хос аст, ки нисбат ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ва хӯлаҳои бештар серийдошта хусусиятҳои беҳтари муқовимат ба коррозияро нишонд медиҳанд, ки аз ҷиҳати устувории хӯлаҳо ба коррозия хеле фарқ мекунанд.

Ҷадвали 3.1. – Тағйирёбии $E_{кор.оз.}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо серий

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои серий дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозионӣ, 0.001н-и HCl					
1/3	1.066	0.790	0.849	0.905	0.960	1.010
2/3	1.064	0.789	0.849	0.904	0.959	1.010
1	1.065	0.788	0.848	0.904	0.957	1.009
5	1.049	0.778	0.839	0.890	0.946	0.998
15	1.046	0.776	0.831	0.880	0.932	0.990
30	1.045	0.765	0.821	0.860	0.925	0.976
40	1.045	0.755	0.800	0.850	0.905	0.965
60	1.045	0.755	0.800	0.850	0.905	0.965
Муҳити коррозионӣ, 0.03%-и NaCl						
1/3	0.978	0.820	0.838	0.892	0.883	0.892
2/3	0.977	0.818	0.837	0.892	0.880	0.891
1	0.976	0.817	0.835	0.891	0.878	0.890
5	0.974	0.813	0.831	0.890	0.872	0.884
15	0.967	0.803	0.823	0.844	0.863	0.879
30	0.960	0.785	0.807	0.829	0.847	0.851
45	0.960	0.785	0.807	0.829	0.847	0.851
60	0.960	0.785	0.807	0.829	0.847	0.851
Муҳити коррозионӣ, 0.001н-и NaOH						
1/3	1.032	0.786	0.836	0.884	0.932	0.988
2/3	1.032	0.785	0.835	0.883	0.931	0.985
1	1.031	0.784	0.834	0.882	0.928	0.986
5	1.029	0.769	0.820	0.874	0.923	0.974
15	1.026	0.760	0.810	0.860	0.913	0.968
30	1.026	0.746	0.791	0.841	0.895	0.956
35	1.025	0.735	0.780	0.830	0.885	0.945
60	1.025	0.735	0.780	0.830	0.885	0.945

Ҷадвали 3.2. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо серий

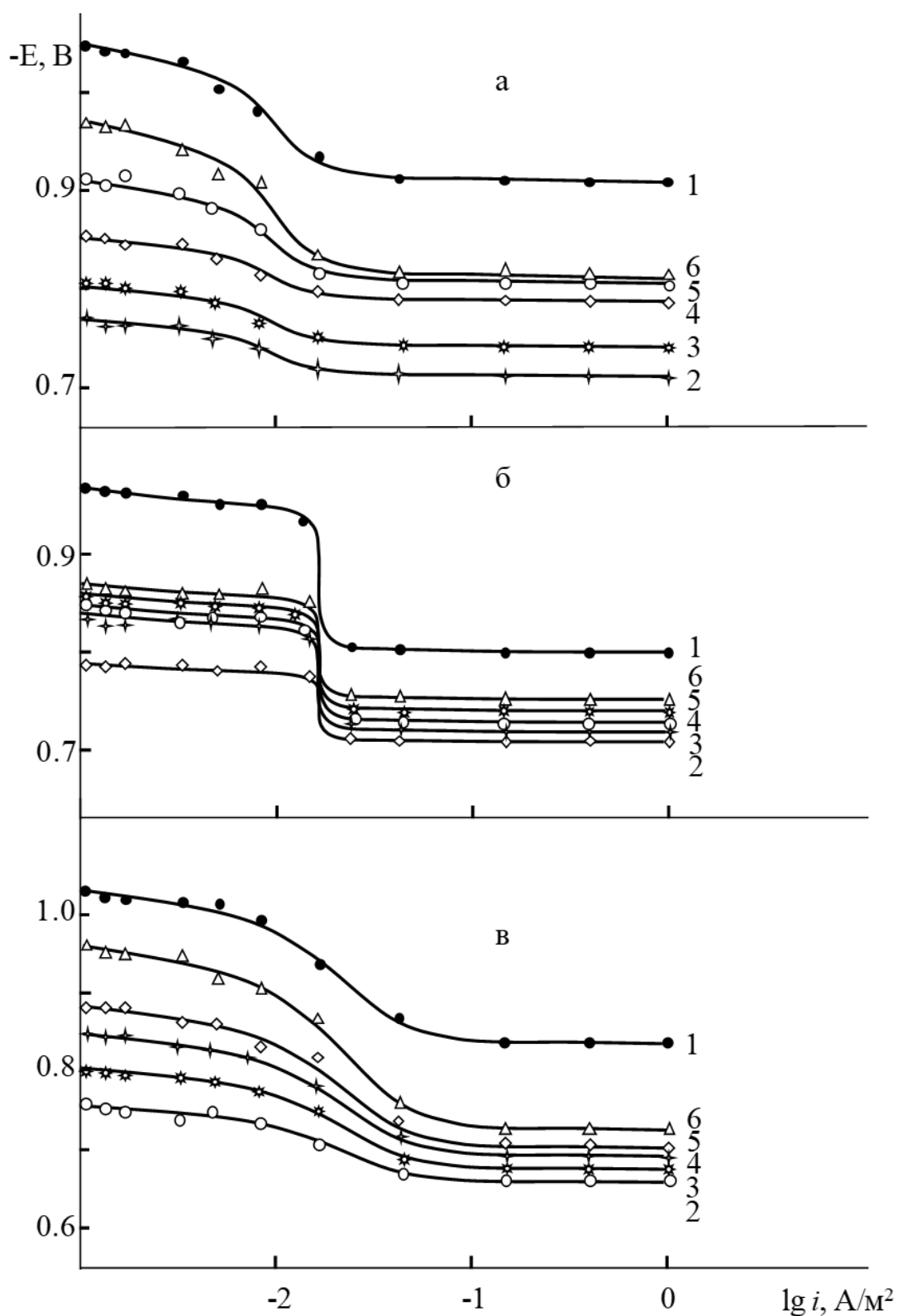
Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои серий дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и HCl					
1/3	1.123	0.820	0.865	0.904	0.920	0.944
2/3	1.122	0.848	0.893	0.912	0.938	0.950
1	1.117	0.740	0.777	0.817	0.836	0.855
5	1.115	0.745	0.788	0.825	0.843	0.862
15	1.111	0.760	0.761	0.764	0.770	0.771
30	1.110	0.730	0.740	0.780	0.850	0.860
40	1.110	0.848	0.893	0.912	0.938	0.950
60	1.110	0.848	0.893	0.912	0.938	0.950
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-и NaCl						
1/3	1.035	0.830	0.863	0.867	0.898	0.924
2/3	1.034	0.828	0.863	0.866	0.897	0.923
1	1.033	0.826	0.862	0.864	0.896	0.923
5	1.031	0.821	0.859	0.862	0.892	0.911
15	1.023	0.813	0.847	0.856	0.882	0.902
30	1.007	0.736	0.780	0.827	0.860	0.941
45	1.007	0.736	0.780	0.827	0.860	0.941
60	1.007	0.736	0.780	0.827	0.860	0.941
Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и NaOH						
1/3	1.056	0.778	0.823	0.873	0.928	0.988
2/3	1.055	0.788	0.830	0.883	0.938	0.998
1	1.050	0.690	0.735	0.785	0.840	0.865
5	1.050	0.697	0.744	0.792	0.848	0.870
15	1.049	0.662	0.663	0.665	0.672	0.673
30	1.048	0.750	0.770	0.790	0.880	0.890
35	1.048	0.788	0.830	0.883	0.938	0.998
60	1.048	0.788	0.830	0.883	0.938	0.998

Ҷадвали 3.3. – Тағйирёбии $E_{кор.оз.}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо серий

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои серий дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и HCl					
1/3	1.211	0.961	0.995	1.000	1.016	1.036
2/3	1.210	0.959	0.995	0.998	1.016	1.035
1	1.209	0.959	0.994	0.997	1.015	1.034
5	1.201	0.951	0.983	0.970	0.985	1.021
15	1.191	0.931	0.970	0.955	0.977	1.011
30	1.199	0.921	0.937	0.946	0.963	0.994
40	1.190	0.900	0.925	0.935	0.950	0.980
60	1.190	0.900	0.925	0.935	0.950	0.980
Муҳити коррозсионӣ, 3%-и NaCl						
1/3	1.119	0.856	0.880	0.891	0.934	0.947
2/3	1.118	0.855	0.880	0.891	0.934	0.946
1	1.116	0.853	0.880	0.891	0.933	0.945
5	1.108	0.842	0.872	0.883	0.926	0.940
15	1.092	0.836	0.869	0.878	0.912	0.936
30	1.070	0.813	0.843	0.857	0.891	0.908
45	1.070	0.813	0.843	0.857	0.891	0.908
60	1.070	0.813	0.843	0.857	0.891	0.908
Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и NaOH						
1/3	1.216	0.977	0.997	0.999	1.017	1.022
2/3	1.215	0.975	0.997	0.998	1.017	1.021
1	1.213	0.975	0.995	0.997	1.015	1.019
5	1.211	0.963	0.989	0.980	0.995	1.010
15	1.210	0.951	0.988	0.968	0.982	0.993
30	1.211	0.942	0.952	0.961	0.978	0.988
35	1.210	0.920	0.932	0.959	0.970	0.983
60	1.210	0.920	0.932	0.959	0.970	0.983

Хӯлаҳое, ки дар таркибашон серий доранд, ҳамчун электроди таҳқиқшаванда дар ячейка мебошанд, ки барои ченкуниҳои поляризатсионӣ ва бо барқ–потенциал дар координатаҳои I_{gi} – E поляризатсия мешаванд. Агар электродро анодӣ ҳангоми зичии ҷараёни доимӣ поляризатсия кунем, онгоҳ потенциали коррозии он дар аввал зуд ба самти мусбӣ майл намуда, тавассути максималӣ мегузарад ва сипас нисбатан суст ба қимати доимии манфӣ наздик мешавад. Хати Тафелии рост бо афтиши 0,12В-ро дар натиҷаи гузоштани қимати аниққардашудаи $E_{кор.оз}$ чун функсияи логарифми зичии ҷараёни коррозия дарёфт намудем. Ҳангоми ченкунии потенциодинамикӣ (2мВ/с) дар тири абсцисса I_{gi} (A/m^2) ва дар тири ордината E (В)-ро ҷойгир намудем, ки қиматҳо аз боло ба поён кам мешаванд.

Қаҷхатҳои анодӣ, ки ҳангоми поляризатсия аз қимати аниққардашудаи потенциали коррозия дарёфт карда шудаанд, ҳалшавии фаъол ва ҳолати устувории анодиро ҳангоми пассиватсия тавсиф мекунанд. Поляризатсияи анодӣ дар ин муҳитҳо ба ҳолати ғайрифавол гузариши хӯлаҳои бо серий ҷавҳаронидашударо осон менамояд. Ин ба сустшавии шадиди раванди анодӣ ҳангоми коҳиши зичии ҷараён ва тағйири мусбии потенциалиҳои электрохимиявии коррозия барои ин хӯлаҳо хос аст. Аз рӯи қаҷхатҳои анодии дарёфтанамуда барои хӯлаҳо, ки шакли монанд барои ҳарду системаҳои хӯлаи ҷавҳаронидашударо доранд, метавон тағйирёбиҳои мусбиро дар хусусиятҳои анодии онҳо, дар электролити қавӣ-фаволи NaCl тавсиф намуд. Самараи бузургии устувории зиддикоррозии анодӣ бо ҷавҳаронии хӯла бо иловагиҳои ками Се дарёфт мешавад. Барои хӯлаҳои мазкур бештар ҳалшавии фаъол ва камтар устувории анодӣ дар электролитҳои қавӣ-фаволи HCl ва NaOH хос аст (расм 3.1). Пайгириона, метавон муҳокима намуд: агар хӯла ба таври яқсон коррозия шавад, пас бузургиҳои миёнаи зичии ҷараёни коррозия вобаста аз вақт дорои қиматҳои якхела дар тамоми қисматҳои сатҳ мебошанд. Ин аз он ҷиҳат дуруст аст, ки ҳангоми ченкуниҳои поляризатсионӣ бо дақиқие, ки барои методи потенциостатикӣ хос аст, ягон фарқият аз қонуниятҳои коррозияи яқсон мушоҳида намешавад.



**Расми 3.1. – Қачхатҳои анодӣ ҳангоми поляризатсияи
потенсидинамикии хӯлаи $Zn_{0.5}Al + Ce$, %-и вазн:**

1 – $Zn_{0.5}Al$; 2 – 0.01Ce; 3 – 0.05Ce; 4 – 0.1Ce; 5 – 0.5Ce; 6 – 1.0Ce.

а) муҳити 0.001н-и HCl; б) муҳити 0.03%-и NaCl; в) муҳити 0.001н-и HCl

Хусусиятҳои анодии таркиби серийдоштаи хӯлаҳо нисбат ба электроди муқоисавии хлориднуқрагӣ муайян ва таҳқиқ шудаанд. Ҷавҳаронии хӯлаи аввалия бо серий боиси тағйироти назарраси хосиятҳои коррозияи электрохимиявӣ ва дар хусусияти анодӣ зоҳир кардани ин хӯлаҳо ба самти мусбияти қиматҳо гардид. Дар ҳамаи ин муҳитҳои таҳқиқшудаи ғайбшудаи раванди коррозия, бештарини тағйири мусбии потенциалҳои коррозияи электрохимиявӣ барои ин хӯлаҳо, ки консентратсияҳои гуногуни 0.01-0.1% серий доранд, мушоҳида мешавад (ҷадвал 3.4).

Устуворӣ ба коррозияи хӯлаҳои камҷавҳаронидашудаи серий ба таври назаррас аз устуворӣ ба коррозияи хӯлаи аввалияи $Zn_{0.5}Al$ фарқ карда, инчунин то андозае ба афзоиши камустуворӣ ба коррозияи хӯлаи 1.0% серийдошта дар ин муҳитҳои таҳқиқотӣ фарқияти зиёд дорад. Афзоиши консентратсия дар ин муҳитҳои таҳқиқшуда баръало таъсиррасони онро нишон медиҳад. Аммо, ин таъсир бештар на ба хосиятҳо ва миқдори элементҳои ҷавҳаронӣ зоҳир гардида, балки ба хусусият ва таркиби муҳити барангезиш вобастагӣ дорад (ҷадвал 3.5).

Муқоисаи маълумоти шабеҳ дар мисоли як таркиби хӯлаи ҷавҳарониданашудаи $Zn_{0.5}Al$ ва хӯлаи ҷавҳаронидашудаи $Zn_{0.5}Al+0.01Ce$ нишон медиҳад, ки фарқият дар хусусиятҳои коррозияи ин хӯлаҳо, ки якҷанд тартибҳои бузургиро дар муҳити ғайбҳои коррозияи $NaCl$ дарёфт меkunанд, на танҳо бо фарқият дар бузургии $i_{кор} \cdot 10^2$, ки наздики 0.055 барои $Zn_{0.5}Al$ ва 0.024 A/m^2 барои $Zn_{0.5}Al+0.01Ce$ ташкил дода, балки фарқиятро низ дар қиматҳои $E_{п.х.}$, ки 0.900 ва 0.700 В-ро ташкил медиҳанд, мутаносибан зоҳир менамоянд. Ҷавҳаронии хӯлаи авалия бо серий имкони беҳбудкунии устувории онро ба коррозия ба маротиба зиёд мекунад (ҷадвал 3.5).

Ҳангоми консентратсияи пасти электролит ва иштироки ионҳои хлорид ва гидроксид, ин омил ба пассиватсияи ҷузъҳои таркибии хӯла мусоидат намуда, устуворӣ ба коррозияи хӯлаҳои серийдоштаро баланд мебардорад. Дар ин ҳолат, баландбардорӣ ва беҳбудкунии устуворӣ ба коррозияи хӯлаи асосии $Zn_{0.5}Al$ тавассути ҷавҳаронии он бо миқдорҳои камтари серий то 0.1% имконпазир мегардад (ҷадвал 3.4).

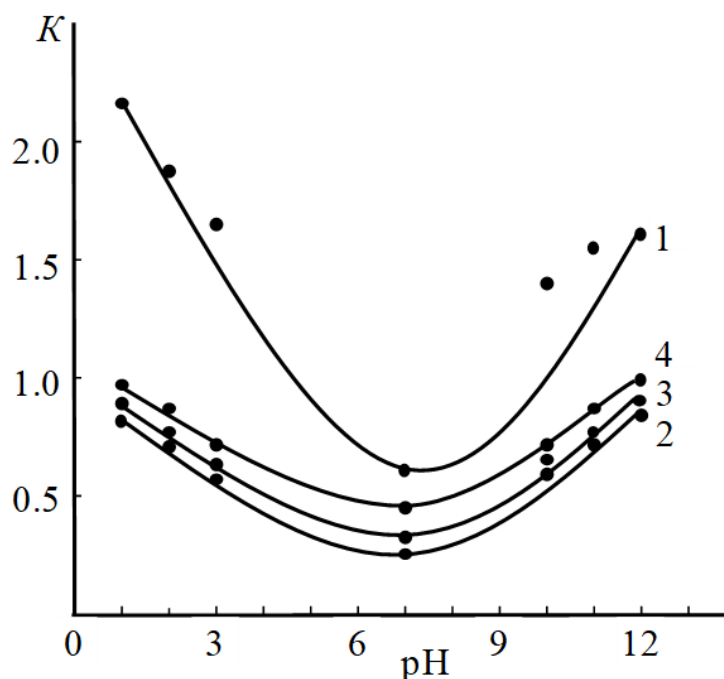
Чадвали 3.4. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо серий чавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Микдори иловаҳои Се дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-иHCl					
$-E_{кор.оз}, В$	1.045	0.755	0.800	0.850	0.905	0.965
$-E_{кор.}, В$	1.051	0.771	0.806	0.856	0.911	0.971
$-E_{п.х.}, В$	0.912	0.710	0.742	0.787	0.807	0.810
$-E_{реп.}, В$	0.921	0.715	0.758	0.795	0.818	0.827
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.136	0.048	0.050	0.051	0.55	0.058
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.65	0.58	0.61	0.62	0.67	0.71
Муҳити коррозсионӣ, 0.03%-иNaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	0.960	0.785	0.807	0.829	0.847	0.851
$-E_{кор.}, В$	0.968	0.793	0.841	0.855	0.862	0.871
$-E_{п.х.}, В$	0.800	0.712	0.722	0.730	0.740	0.755
$-E_{реп.}, В$	0.809	0.723	0.732	0.748	0.757	0.761
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.037	0.020	0.022	0.023	0.031	0.032
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.45	0.24	0.26	0.28	0.37	0.39
Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-иNaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.025	0.735	0.780	0.830	0.885	0.945
$-E_{кор.}, В$	1.033	0.743	0.800	0.840	0.890	0.953
$-E_{п.х.}, В$	0.845	0.655	0.680	0.695	0.705	0.720
$-E_{реп.}, В$	0.853	0.663	0.691	0.712	0.720	0.730
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.116	0.049	0.052	0.054	0.056	0.059
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.41	0.60	0.63	0.66	0.68	0.72
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-иNaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	1.007	0.736	0.780	0.827	0.860	0.941
$-E_{кор.}, В$	1.016	0.850	0.800	0.838	0.880	0.959
$-E_{п.х.}, В$	0.860	0.671	0.707	0.720	0.748	0.754
$-E_{реп.}, В$	0.866	0.690	0.746	0.755	0.759	0.761
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.050	0.021	0.023	0.026	0.031	0.033
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.61	0.25	0.28	0.32	0.38	0.40

Чадвали 3.5. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо серий чавҳаронидашудаи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Микдори иловаҳои Се дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-иHCl					
$-E_{кор.оз}, В$	1.110	0.820	0.865	0.904	0.920	0.944
$-E_{кор.}, В$	1.118	0.848	0.893	0.912	0.938	0.950
$-E_{п.х.}, В$	0.980	0.740	0.777	0.817	0.836	0.855
$-E_{реп.}, В$	0.995	0.745	0.788	0.825	0.843	0.862
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.154	0.060	0.061	0.064	0.070	0.85
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.87	0.73	0.74	0.78	0.85	0.86
Муҳити коррозсионӣ, 3%-иNaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	1.070	0.813	0.843	0.857	0.891	0.908
$-E_{кор.}, В$	1.086	0.820	0.855	0.902	0.913	0.924
$-E_{п.х.}, В$	0.900	0.700	0.721	0.744	0.763	0.771
$-E_{реп.}, В$	0.904	0.712	0.758	0.763	0.780	0.789
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.55	0.024	0.025	0.027	0.034	0.036
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.67	0.29	0.30	0.33	0.41	0.44
Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-иNaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.048	0.778	0.823	0.873	0.928	0.988
$-E_{кор.}, В$	1.058	0.788	0.830	0.883	0.938	0.998
$-E_{п.х.}, В$	0.892	0.690	0.735	0.785	0.840	0.865
$-E_{реп.}, В$	0.900	0.697	0.744	0.792	0.848	0.870
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.127	0.62	0.063	0.065	0.072	0.073
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.55	0.75	0.77	0.79	0.88	0.89
Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-иNaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.210	0.920	0.932	0.959	0.970	0.983
$-E_{кор.}, В$	1.216	0.926	0.940	0.968	0.990	0.992
$-E_{п.х.}, В$	0.920	0.735	0.740	0.749	0.752	0.775
$-E_{реп.}, В$	0.936	0.748	0.739	0.767	0.780	0.795
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.133	0.066	0.075	0.076	0.079	0.082
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.62	0.80	0.91	0.93	0.96	1.00

Устуворӣ ба коррозияро метавон бо бузургии нишондиҳандаи суръати коррозия тавсиф намуд. Ҳангоми ҳисобкунии суръати коррозия ва баҳодиҳии устувории хӯла ба зидди коррозия нишондиҳандаи чараёни коррозия – зичии чараёнеро, ки ба суръати ин раванд мутобиқ аст, истифода намудем. Суръати коррозияи махсуси $Zn_{0.5}Al$ дар электролити кислотагии фаъоли (0.1н) HCl вобаста аз таркиби коррозионии рН-и (1) муҳит $2.17 \text{ г/м}^2 \cdot \text{соат}$ -ро ва 0.88 ва $0.99 \text{ г/м}^2 \cdot \text{соат}$ -ро барои хӯлаҳои 0.01 ва 1.0% серийдошта ташкил медиҳад. Ин бузургӣ барои дигар таркибҳои хӯла дар электролити ишқории фаъоли (0.1н) $NaOH$ вобаста аз таркиби коррозионии рН-и (12) муҳит чунин қиматҳоро мутаносибан нишон медиҳад: 0.89 ва $1.00 \text{ г/м}^2 \cdot \text{соат}$ барои хӯлаҳои дар таркибаш 0.01 ва 1.0% серийдошта. Самаранокии баланди зиддикоррозионии намунаҳои хӯла дар муҳити (рН=7) нейтралӣ (3%) $NaCl$ мушоҳида мегардад. Чавҳаронии хӯла бо иловагиҳои ками Se қобилияти камкунии суръати коррозияи онро то $1,5\text{--}3$ маротиба нишон медиҳад. Суръати ҳадди ақалли коррозия дар қиматҳои гуногуни рН-и муҳит (дар ҳудуди $3\div 10$) ба хӯлаҳои камчавҳаронидашудаи серӣ мувофиқат мекунад (расм 3.2).



Расми 3.2. – Таъсири рН-и таркиби муҳити коррозионӣ дар тағйирёбии суръати коррозияи (K , $\text{г/м}^2 \cdot \text{с.}$) хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al+Se$. Мавҷудияти Se (0.01% (2); 0.1% (3); 1.0% (4)) дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ (1)

3.2. Рафтори анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо празеодим чавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$

Ҳалли масъалаҳои мураккабтарини назариявии коррозияи хӯлаҳо, аммо, дар ҳолати баррасии металлҳое, ки монанди оҳан хӯлаҳои ғайримуқаррарӣ ва моддаҳои душворҳалшавандаро дар бар мегиранд, камтар зоҳир мегардад. Барои назарияи коррозия, муҳимтар аз ҳама, коррозияи якхела, интиҳобӣ ё ноҳамвории хӯлаи якҷинса мебошад, ки аз компонентҳои дорои устувории гуногун нисбат ба коррозия иборат аст. Дар ин маврид, бештар аҳамияти ҳолатҳои дорои консентратсияи баландтари ҳамаи компонентҳои асосӣ камтар мебошад.

Барои соддагардонӣ, аксаран хӯлаҳои якҷинсаи дукомпонентаро ҳамчун асоси хӯла меомӯзанд. Дар ҳолати мураккабии равандҳои коррозсионӣ ва коркарди маводи нав хӯлаҳои секомпонентӣ ё бисёркомпонентиро таҳқиқ мекунанд. Дар ҳарду маврид, потенциалҳои электродии стандартӣ, ки метавонанд ҳам ба таври назаррас ва ҳам ба таври ночиз аз ҳам фарқ кунанд, муҳим мебошанд.

Механизми электрохимиявии коррозияи хӯлаҳо вобаста ба суръат ва потенциали электродии онҳо зоҳир мегардад. Ҳангоми коррозияшавии хӯлаи металлӣ дар муҳити коррозсионии электролитӣ, равандҳои сусткунанда бартарӣ доранд, ки суръати умумии коррозияи электрохимиявиро дар шароити поляризатсиякунонии анодӣ ва катодӣ муайян мекунанд.

Таҳқиқоти коррозияи озоди бо празеодим чавҳаронидашудаи хӯлаи асосии $Zn_{0.5}Al$ дар муҳитҳои фаъоли коррозсионӣ бидуни васлкунии чараён дар занҷири ячейкаи электрохимиявӣ гузаронида шуд. Тағйироти потенциали $E_{кор.оз}$ то 1 соат таҳқиқ карда шуд. Бо мусбат тағйир ёфтани потенциали таҳқиқшаванда суръати ҳалшавии анодии намунаҳои хӯлаҳо зиёд мешавад. Бо расидан ба қимати устувори потенциали таҳқиқшаванда, вобаста аз нигоҳдории намунаҳои хӯла дар ин муҳитҳо дар вақтҳои 30, 35 ва 40 дақиқа, суръати ҳалшавии анодӣ оғоз ба коҳиш мекунад ва ба ҳадди ақали худ дар потенциали доимӣ мерасад. Бо иловакунии празеодим ба хӯлаи асосӣ, қимати $E_{кор.оз}$ мусбӣ тағйир меёбад (ҷадвалҳо 3.6-3.8).

Чадвали 3.6. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо Pr

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои празеодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и HCl					
1/3	1.066	0.876	0.913	0.917	0.950	1.010
2/3	1.064	0.874	0.910	0.916	0.950	1.009
1	1.058	0.874	0.908	0.915	0.945	1.009
5	1.049	0.868	0.904	0.913	0.942	1.008
15	1.046	0.864	0.901	0.910	0.940	0.993
30	1.046	0.857	0.886	0.908	0.931	0.989
40	1.045	0.852	0.883	0.897	0.929	0.985
60	1.045	0.852	0.883	0.897	0.929	0.985
Муҳити коррозсионӣ, 0.03%-и NaCl						
1/3	0.978	0.842	0.859	0.860	0.885	0.905
2/3	0.977	0.842	0.858	0.859	0.884	0.904
1	0.976	0.841	0.857	0.858	0.883	0.903
5	0.974	0.834	0.845	0.850	0.880	0.898
15	0.967	0.822	0.831	0.842	0.875	0.884
30	0.960	0.790	0.817	0.837	0.858	0.860
45	0.960	0.790	0.817	0.837	0.858	0.860
60	0.960	0.790	0.817	0.837	0.858	0.860
Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и NaOH						
1/3	1.032	0.827	0.867	0.906	0.963	1.040
2/3	1.032	8.826	0.866	0.905	0.962	1.038
1	1.031	0.825	0.865	0.904	0.960	1.037
5	1.029	0.820	0.852	0.898	0.954	1.025
15	1.026	0.812	0.841	0.892	0.949	1.009
30	1.026	0.801	0.841	0.891	0.947	1.007
35	10.25	0.795	0.840	0.890	0.945	1.005
60	1.025	0.795	0.840	0.890	0.945	1.005

Ҷадвали 3.7. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо Pr

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои празеодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и HCl					
1/3	1.123	0.922	0.956	0.974	0.976	1.001
2/3	1.122	0.920	0.955	0.974	0.973	0.999
1	1.117	0.919	0.954	0.972	0.972	0.998
5	1.115	0.913	0.942	0.963	0.970	0.994
15	1.111	0.907	0.939	0.958	0.966	0.985
30	1.111	0.906	0.931	0.953	0.961	0.980
40	1.110	0.905	0.927	0.949	0.957	0.974
60	1.110	0.905	0.927	0.949	0.957	0.974
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-и NaCl						
1/3	1.035	0.773	0.809	0.850	0.915	0.994
2/3	1.034	0.772	0.808	0.849	0.914	0.993
1	1.033	0.770	0.807	0.848	0.913	0.993
5	1.031	0.766	0.815	0.840	0.910	0.988
15	1.023	0.744	0.801	0.834	0.905	0.984
30	1.007	0.742	0.787	0.837	0.870	0.952
45	1.007	0.742	0.787	0.837	0.870	0.952
60	1.007	0.742	0.787	0.837	0.870	0.952
Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и NaOH						
1/3	1.056	0.827	0.887	0.926	0.983	1.040
2/3	1.055	0.826	0.886	0.925	0.982	1.038
1	1.050	0.825	0.885	0.924	0.980	1.037
5	1.049	0.820	0.872	0.918	0.974	1.025
15	1.048	0.812	0.868	0.917	0.969	1.009
30	1.048	0.817	0.862	0.912	0.967	1.022
35	1.048	0.817	0.862	0.912	0.967	1.022
60	1.048	0.817	0.862	0.912	0.967	1.022

Ҷадвали 3.8. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо Pr

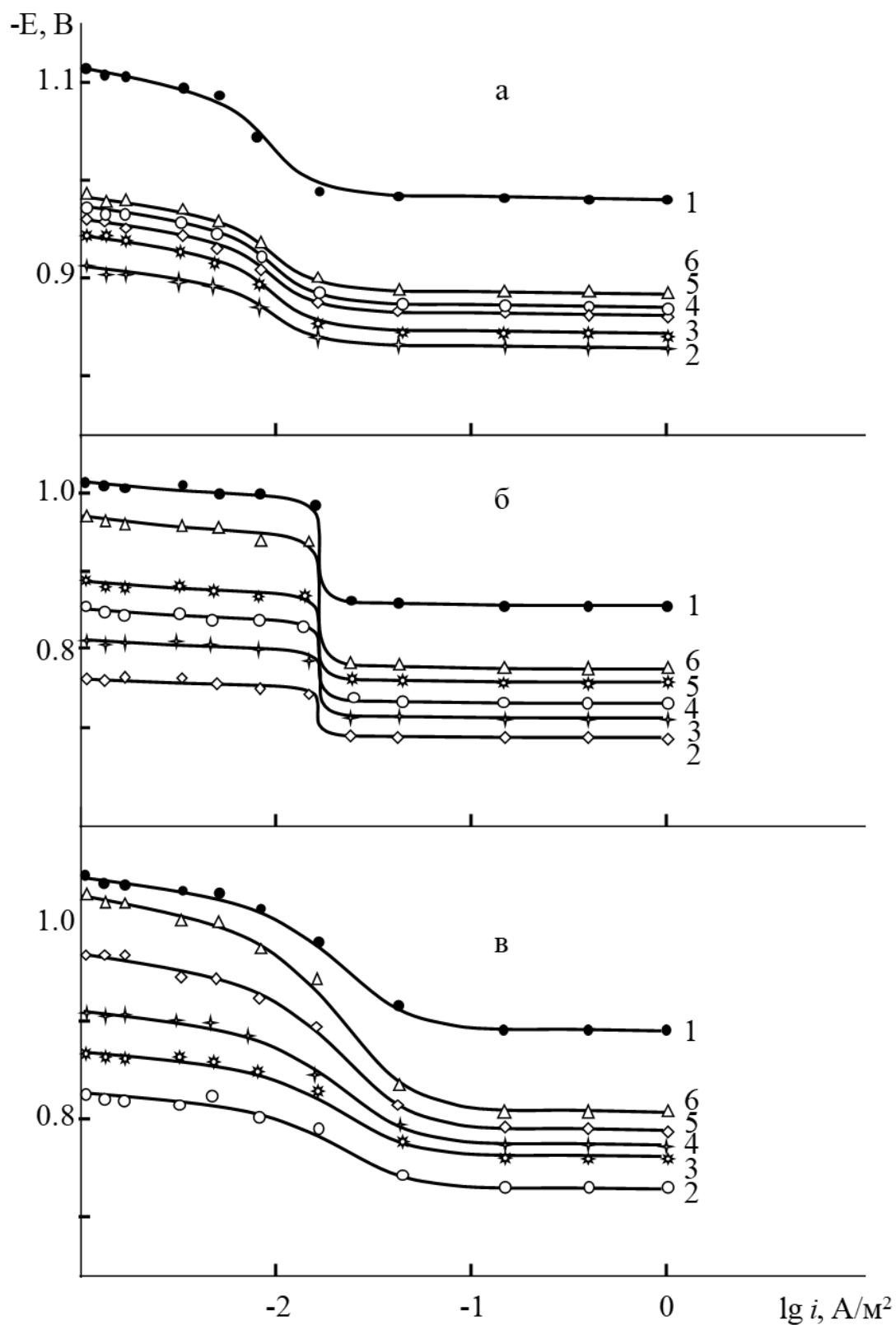
Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои празеодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и HCl					
1/3	1.211	0.986	0.992	1.001	1.025	1.027
2/3	1.210	0.986	0.991	1.000	1.024	1.025
1	1.209	0.984	0.988	0.992	1.013	1.023
5	1.201	0.971	0.983	0.991	1.007	1.018
15	1.191	0.962	0.976	0.987	1.000	1.010
30	1.191	0.949	0.967	0.976	0.991	1.001
40	1.190	0.942	0.957	0.965	0.980	0.995
60	1.190	0.942	0.957	0.965	0.980	0.995
Муҳити коррозсионӣ, 3%-и NaCl						
1/3	1.119	0.842	0.881	0.926	0.982	1.048
2/3	1.118	0.840	0.881	0.925	0.980	1.047
1	1.116	0.839	0.880	0.923	0.980	1.045
5	1.108	0.828	0.869	0.916	0.968	1.033
15	1.092	0.811	0.868	0.900	0.979	1.023
30	1.070	0.822	0.867	0.917	0.972	1.032
45	1.070	0.822	0.867	0.917	0.972	1.032
60	1.070	0.822	0.867	0.917	0.972	1.032
Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и NaOH						
1/3	1.216	0.978	1.028	1.048	1.058	1.083
2/3	1.215	0.976	1.027	1.046	1.058	1.080
1	1.213	0.976	1.026	1.045	1.057	1.080
5	1.213	0.976	1.014	1.032	1.043	1.062
15	1.211	0.964	1.020	1.029	1.026	1.038
30	1.211	0.957	0.992	0.997	1.012	1.018
35	1.210	0.952	0.960	0.970	0.990	1.000
60	1.210	0.952	0.960	0.970	0.990	1.000

Тағйироти назарраси потенциали таҳқиқшаванда ба самти мусбатро метавон ҳангоми дар микдорҳои 0.01 ва 0.05% бо празеодим чавҳаронии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ мушоҳида кард. Ҳангоми гузариш аз муҳитҳои сулфидбарангезанда ба муҳитҳои шадидбарангезанда ва ҳамзамон афзоиши празеодим, потенциали доимии $E_{кор.оз}$ барои ҳамаи намунаҳои таҳқиқшуда то андозае манфӣ мегардад (ҷадвалҳо 3.6-3.8).

Қаҷхатҳои анодӣ ҳангоми поляризатсиякунӣ тағйирёбии суръати нишондиҳандаҳои равандҳои коррозияро вобаста аз зичии ҷараён ва бузургии потенциалҳои коррозияро инъикос мекунанд. Дар натиҷаи мушкилоти алоҳида, раванди коррозияи метавонад бо ягон суръати муайян танҳо ҳангоми майлқунии мутобиқи потенциал аз қимати мувозинатӣ ҷараён гирад. Дида мешавад, ки дар тамоми мавқеъҳои таҳқиқшудаи потенциалҳо, ки аз потенциали коррозия ҳам манфӣ ва ҳам мусбӣ майл намудаанд, ки майлқунии ҳар яке аз ин потенциалҳо ҳамон айнан вобастагии хоси Тафелиро аз потенциал ва ҷараёни коррозия ки барои равандҳои коррозияи электрохимиявӣ хос аст, нигоҳ медорад (расм 3.3, ҷадвалҳо 3.9-3.11).

Қаҷхатиҳои поляризатсионии анодӣ тағйирёбии суръати равандҳои электродиро вобаста ба андозаи потенциалҳои коррозия электрохимиявӣ инъикос мекунанд. Бо сабаби душвории марҳилаҳои алоҳида дар ин қаҷхатҳо, раванди коррозияи электрохимиявӣ метавонад танҳо бо суръати муайян дар ҳолати тағйирёбии мутобиқи потенциалҳои коррозияи электрохимиявӣ аз қимати доимигардида сурат гирад (расм 3.3).

Рафтори анодӣ барои хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al+Pr$ бо истифода аз сабтқунии қаҷхатиҳои поляризатсионии потенциодинамикӣ дар таркибҳои гуногуни ин системаи хӯла муқоиса карда шуд. Қаҷхатиҳои анодии 2-6 нисбат ба қаҷхати анодии 1 дар сатҳи поёнтар ҷойгир шудаанд, ки ин ба баландшавии устувории зиддикоррозияи хӯлаҳои празеодимдошта шаҳодат медиҳад. Ҳангоми гузариши раванди коррозияи дар муҳитҳои хеле барангезандаи фаъол, хӯлаҳои празеодимдошта нисбат ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ҷиҳатҳои афзалиятнокии назаррасеро дар устуворӣ ба раванди коррозияи нишон медиҳанд (расм 3.3).



Расми 3.3. – Качхатҳои анодӣ ҳангоми поляризатсияи
потенсиодинамикии ҳӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}+\text{Pr}$, %-и вазн:

1 – $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$; 2 – 0.01Pr; 3 – 0.05Pr; 4 – 0.1Pr; 5 – 0.5Pr; 6 – 1.0Pr.

а) муҳити 0.01н-и HCl; б) муҳити 0.3%-и NaCl; в) муҳити 0.01н-и HCl

Хӯлаҳои бо Pr камчавҳаронидашуда то 0.1% аз рӯйи суръати коррозия нисбат ба зиёдчавҳаронидашудаи он то 1.0% ва инчунин хӯлаи празеодим надошта, устувории бештар доранд. Хӯлаҳои бо Pr зиёдчавҳаронидашуда низ устувории Zn0.5Al-ро ба коррозия афзоиш медиҳанд. Ин афзалият на танҳо дар концентратсияҳои маҳлули NaCl, балки дар муҳитҳои дорои концентратсияҳои гуногуни HCl ва NaOH низ мушоҳида мешавад (ҷадвалҳо 3.9-3.11).

Ҷадвали 3.9. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо празеодим чавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Миқдори иловаҳои Pr дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и HCl					
$-E_{кор.оз}, В$	1.045	0.852	0.883	0.897	0.929	0.985
$-E_{кор.}, В$	1.051	0.873	0.901	0.915	0.930	0.990
$-E_{п.х.}, В$	0.912	0.788	0.795	0.802	0.818	0.820
$-E_{реп.}, В$	0.921	0.793	0.802	0.813	0.823	0.830
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.136	0.080	0.083	0.084	0.092	0.096
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.65	0.97	1.01	1.02	1.12	1.17
Муҳити коррозсионӣ, 0.03%-и NaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	0.960	0.790	0.817	0.837	0.858	0.860
$-E_{кор.}, В$	0.968	0.805	0.851	0.863	0.870	0.885
$-E_{п.х.}, В$	0.800	0.721	0.733	0.741	0.759	0.768
$-E_{реп.}, В$	0.809	0.736	0.746	0.751	0.766	0.778
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.037	0.021	0.022	0.024	0.033	0.035
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.45	0.25	0.27	0.29	0.40	0.42
Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и NaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.025	0.795	0.840	0.890	0.945	1.005
$-E_{кор.}, В$	1.033	0.804	0.848	0.898	0.953	1.013
$-E_{п.х.}, В$	0.845	0.715	0.740	0.755	0.765	0.772
$-E_{реп.}, В$	0.853	0.723	0.744	0.762	0.780	0.790
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.116	0.063	0.065	0.069	0.078	0.081
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.41	0.77	0.79	0.84	0.95	0.99

Чадвали 3.10. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо празеодим чавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Микдори иловаҳои Pг дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-и HCl					
$-E_{кор.оз}, В$	1.110	0.905	0.927	0.949	0.957	0.974
$-E_{кор.}, В$	1.118	0.913	0.945	0.963	0.974	0.981
$-E_{п.х.}, В$	0.980	0.835	0.845	0.861	0.872	0.886
$-E_{реп.}, В$	0.995	0.838	0.851	0.871	0.884	0.877
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.154	0.083	0.095	0.101	0.109	0.113
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.87	1.01	1.16	1.23	1.33	1.38
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-и NaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	1.007	0.742	0.787	0.837	0.870	0.952
$-E_{кор.}, В$	1.016	0.762	0.810	0.853	0.892	0.970
$-E_{п.х.}, В$	0.860	0.682	0.717	0.735	0.758	0.774
$-E_{реп.}, В$	0.866	0.696	0.726	0.741	0.764	0.788
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.050	0.023	0.025	0.027	0.036	0.038
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.61	0.28	0.30	0.33	0.44	0.46
Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-и NaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.048	0.817	0.862	0.912	0.967	1.022
$-E_{кор.}, В$	1.058	0.826	0.870	0.910	0.975	1.035
$-E_{п.х.}, В$	0.892	0.737	0.762	0.797	0.787	0.894
$-E_{реп.}, В$	0.900	0.753	0.784	0.812	0.807	0.906
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.127	0.064	0.066	0.071	0.080	0.082
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.55	0.78	0.80	0.86	0.97	1.00

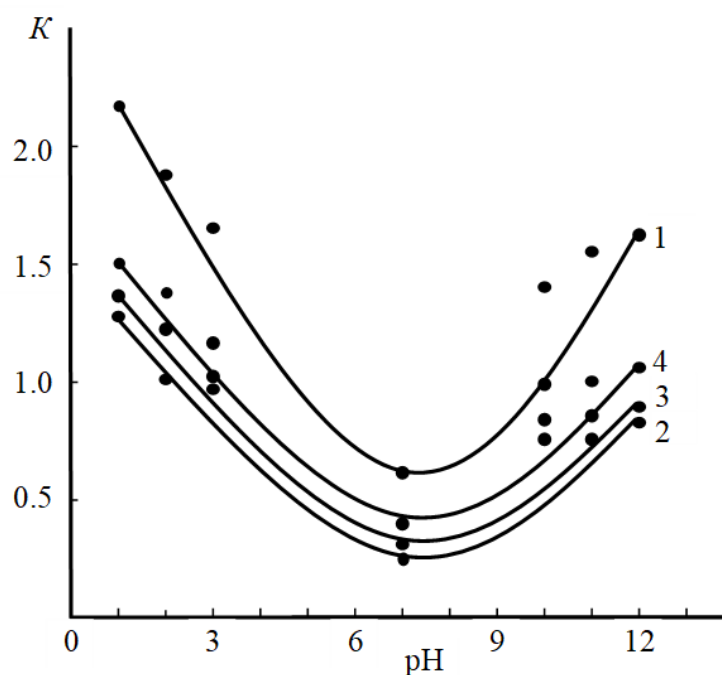
Ҳангоми афзоиш ва зиёдшавии консентратсияҳои электролитҳо, фаъолнокии ионҳои хлорид ва ионҳои гидроксид мутаносибан зиёд мегардад, ки ин боиси тағйироти потенциалҳои коррозсионии хӯлаҳо, махсусан Zn0.5Al, дар самти муқобил мешавад. Ингуна таъсири консентратсияҳои электролитҳо ба тағйирёбии суръати коррозия ва чараёни он дар хӯлаҳои мазкур бевосита инъикос мегардад (ҷадвалҳо 3.9-3.11).

Фаъолнокии коррозия дар муҳити таҳқиқшаванда вобаста ба афзоиши миқдорҳои ионҳои гидроксид ва ионҳои хлорид дар электролитҳои хеле фаъоли 0.1н-и HCl, 3%-и NaCl ва 0.1н-и NaOH ба таври мушаххасан назаррас ба тағйирдиҳии ҳамаи қиматҳои потенциали коррозияшавӣ, потенциали питтингҳосилшавӣ ва потенциали репассивии хӯлаҳои мазкур таъсир мерасонад, ки бевосита аз элементҳои таркибии хӯла вобастагии зиёд дорад (ҷадвал 3.11).

Ҷадвали 3.11. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо празеодим ҷавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Миқдори иловаҳои Pr дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и HCl					
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.190	0.942	0.957	0.965	0.980	0.995
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.195	0.951	0.962	0.970	0.990	1.000
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	1.030	0.888	0.902	0.915	0.931	0.946
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	1.036	0.898	0.909	0.926	0.945	0.959
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.178	0.104	0.106	0.112	0.120	0.123
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	2.17	1.27	1.29	1.36	1.46	1.50
Муҳити коррозсионӣ, 3%-и NaCl						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.070	0.822	0.867	0.917	0.972	1.032
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.086	0.844	0.889	0.939	0.994	1.052
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.900	0.704	0.739	0.754	0.779	0.784
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.904	0.722	0.766	0.771	0.794	0.800
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.055	0.028	0.030	0.033	0.038	0.040
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	0.67	0.34	0.36	0.40	0.46	0.48
Муҳити коррозсионӣ, 0.1н-и NaOH						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.210	0.952	0.960	0.970	0.990	1.000
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.216	0.984	0.995	1.001	1.024	1.050
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.920	0.900	0.914	0.940	0.965	0.990
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.936	0.911	0.926	0.952	0.978	1.002
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.133	0.076	0.077	0.079	0.084	0.087
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	1.62	0.92	0.93	0.96	1.02	1.06

Таъсири фаъолнокии коррозии муҳите, ки бештари консентратсияи ионҳои гидроксид ва ионҳои хлорида дар бар мегирад, ба суръати коррозияи электрохимиявии хӯлаҳои таҳқиқшаванда ҳангоми муқоисаи маълумотҳо оид ба суръати коррозия хуб ошкор мешавад. Афзоиши консентратсияи ин ионҳо дар маҳлул равандҳои ҳалшавии анодии хӯлаҳои таҳқиқшавандаро ба маротиб фаъол мегардонанд, ки махсусан ин ҳолат дар муҳитҳои таҳқиқотии кислотаӣ ва ишқорӣ дида мешавад. Қолиби таваҷҷуҳ аст, ки таъсиротҳои вобастагии суръати коррозия аз pH-и маҳлул, инчунин таъсири иловаҳои ҷавҳаронии хӯла бо Pr ба пастшавии суръати коррозия ба таври возеҳ мушоҳида мешавад. Сабаби устувории баланди ин хӯлаҳо ба коррозияро метавон бо қобилияти ташаккули маҳсули коррозия ба сусткунии раванди коррозсионӣ дар шароити pH-и муҳитҳо марбут донист. Намояндагии бештарини пастшавии суръати коррозияро дар ҳолати бо миқдорҳои 0.01–0.1%Pr ҷавҳаронидани хӯлаи асосӣ, махсусан дар муҳитҳои барангезандаи коррозия мушоҳида кардан имконпазир аст. Ҳатто иловакунии 1% празеодим ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ суръати коррозияи онро то ба маротиб афзоиш медиҳад (расми 3.4).



Расми 3.4. – Таъсири pH-и таркиби муҳити коррозсионӣ дар тағйирёбии суръати коррозияи (K , $г/м^2 \cdot с.$) хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al+Pr$. Мавҷудияти Pr (0.01%(2); 0.1%(3); 1.0%(4)) дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ (1)

3.3. Рафтори анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо неоди́м ҷавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$

Мутобиқи қонуниятҳои кинетикаи электрохимиявӣ, ҷойивазкунии потенциалҳои электрохимиявии коррозсионӣ ба самти мусбӣ бояд ба зиёдшавии суръати ҳалшавии анодии хӯлаи металлӣ оварда расонад. Аммо барои бисёр хӯлаҳои металлӣ, дар ин маврид хӯлаҳои рух, ҳангоми расидан ба қимати муайяни бухронии потенциали электродӣ, суръати ҳалшавии анодӣ ба таври шадид коҳиш меёбад ва дар чанд дараҷа кам мешавад. Эҳтимол, коҳиш ёфтани суръати вайроншавии коррозсионӣ бо душвории зиёди ҷараёни анодии ҳалшавии хӯла вобаста аст. Зимнан, ҳолати пассивнокӣ ба баландшавии муқовимати коррозсионии хӯлаи таҳқиқшаванда оварда мерасонад, ки ин ба сустшавии раванди анодӣ алоқаманд аст ва имконияти нигоҳдории хусусиятҳои термодинамикии коррозия ба вуҷуд меояд.

Тағйироти $E_{кор.оз}$ барои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо неоди́м то 1 соат дар муҳитҳои фаъоли коррозсионии гуногун омӯхта шуд. Ин тағйироти $E_{кор.оз}$ дар потенциостат бидуни ҷорикунӣ ҷараёни барқ дар ячейкаи электрохимиявӣ, ки дорои маҳлулҳои ишқорӣ, кислотай ва нейтралӣ буд, муайян карда шуд. Майлқунӣ ба самти қимати мусбии $E_{кор.оз}$ барои ҳамаи хӯлаҳо дар тӯли тамоми озмоиш дида шуд. Ҳангоми муқоисаи ин натиҷаҳо бо қиматҳои муайянқунандаи потенциал, дидан мумкин аст, ки дар марҳилаи ибтидоӣ (то 1 дақиқа) тағйирот суст ба амал меояд, аммо баъдан (то 30 дақиқа) суръати ҷойивазқунӣ каме афзоиш меёбад. Доимияти қиматҳо зимни коррозия ҳангоми нигоҳдории намунаҳо аз рӯйи вақт дар муҳити нейтралӣ – пас аз 30 дақиқа, дар муҳити ишқорӣ – 35 дақиқа ва дар муҳити кислотай – 40 дақиқа ба амал меояд. Ин ҳудуди потенциалҳо ҳолати пассивии ҳамаи намунаҳоро нишон медиҳад, ки то расидан ба потенциали вайроншавии репассивӣ нигоҳ дошта мешавад. Иловаҳои (0.01–1.0%) неоди́м ба ҷойивазкунии муайяни потенциали $E_{кор.оз}$ хӯлаи авалияи $Zn_{0.5}Al$ ба самти мусбӣ мусоидат мекунад. Азбаски ба ҳолати пассивӣ гузаштан бо сустшавии шадиди раванди анодӣ алоқаманд аст, коррозияи худҷории хӯлаҳои неоди́мдошта бо назорати раванди анодӣ амалӣ мегардад (ҷадвалҳо 3.12–3.14).

Ҷадвали 3.12. – Тағйирёбии $E_{кор.оз.}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо Nd

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои неодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и HCl					
1/3	1.066	0.906	0.913	0.927	0.950	1.014
2/3	1.064	0.904	0.910	0.926	0.950	1.013
1	1.058	0.904	0.908	0.925	0.945	1.011
5	1.049	0.898	0.904	0.923	0.942	1.008
15	1.046	0.884	0.901	0.920	0.940	1.003
30	1.046	0.879	0.889	0.919	0.939	1.001
40	1.045	0.872	0.883	0.917	0.929	1.000
60	1.045	0.872	0.883	0.917	0.929	1.000
Муҳити коррозсионӣ, 0.03%-и NaCl						
1/3	0.978	0.832	0.860	0.885	0.955	0.984
2/3	0.977	0.832	0.859	0.884	0.954	0.983
1	0.976	0.831	0.856	0.883	0.953	0.983
5	0.974	0.824	0.845	0.878	0.940	0.981
15	0.967	0.810	0.840	0.870	0.935	0.979
30	0.960	0.802	0.830	0.860	0.925	0.954
45	0.960	0.802	0.830	0.860	0.925	0.954
60	0.960	0.802	0.830	0.860	0.925	0.954
Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и NaOH						
1/3	1.032	0.886	0.923	0.927	0.996	1.044
2/3	1.032	0.884	0.920	0.926	0.996	1.043
1	1.031	0.884	0.918	0.925	0.995	1.042
5	1.029	0.878	0.914	0.923	0.992	1.038
15	1.026	0.874	0.911	0.920	0.980	1.023
30	1.026	0.883	0.872	0.917	0.979	1.018
35	1.025	0.803	0.862	0.907	0.969	1.015
60	1.025	0.803	0.862	0.907	0.969	1.015

Ҷадвали 3.13. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо Nd

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои неодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и HCl					
1/3	1.123	0.932	0.956	0.974	0.986	1.001
2/3	1.122	0.930	0.955	0.974	0.983	0.999
1	1.117	0.929	0.954	0.972	0.982	0.998
5	1.115	0.923	0.948	0.963	0.978	0.994
15	1.111	0.917	0.940	0.960	0.971	0.985
30	1.111	0.913	0.939	0.959	0.970	0.984
40	1.110	0.911	0.938	0.957	0.969	0.982
60	1.110	0.911	0.938	0.957	0.969	0.982
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-и NaCl						
1/3	1.035	0.823	0.859	0.900	0.935	1.024
2/3	1.034	0.822	0.858	0.899	0.934	1.023
1	1.033	0.820	0.857	0.898	0.933	1.022
5	1.031	0.808	0.850	0.890	0.930	1.011
15	1.023	0.790	0.844	0.887	0.925	1.022
30	1.007	0.783	0.839	0.880	0.915	0.994
45	1.007	0.783	0.839	0.880	0.915	0.994
60	1.007	0.783	0.839	0.880	0.915	0.994
Муҳити коррозсионӣ, 0.01Н-и NaOH						
1/3	1.056	0.932	0.966	0.984	0.986	1.071
2/3	1.055	0.930	0.965	0.984	0.983	1.070
1	1.050	0.929	0.964	0.982	0.982	1.068
5	1.050	0.923	0.952	0.973	0.980	1.056
15	1.049	0.917	0.949	0.968	0.976	1.050
30	1.049	0.916	0.939	0.961	0.969	1.049
35	1.048	0.915	0.937	0.959	0.967	1.044
60	1.048	0.915	0.937	0.959	0.967	1.044

Ҷадвали 3.14. – Тағйирёбии $E_{\text{кор.оз.}}$ аз рӯйи вақт барои хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ бо Nd

Вақти таҷрибаҳо, дақ.	Миқдори иловаҳои неодим дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и HCl					
1/3	1.211	0.987	0.992	1.001	1.025	1.027
2/3	1.210	0.986	0.991	1.000	1.024	1.025
1	1.209	0.984	0.988	0.998	1.013	1.023
5	1.201	0.971	0.983	0.991	1.007	1.018
15	1.191	0.962	0.976	0.987	1.000	1.010
30	1.191	0.958	0.969	0.977	0.994	1.009
40	1.190	0.953	0.967	0.975	0.990	1.008
60	1.190	0.953	0.967	0.975	0.990	1.008
Муҳити коррозионӣ, 3%-и NaCl						
1/3	1.119	0.882	0.931	0.986	1.022	1.088
2/3	1.118	0.880	0.931	0.985	1.021	1.087
1	1.116	0.879	0.930	0.983	1.020	1.085
5	1.108	0.878	0.929	0.976	1.018	1.073
15	1.092	0.871	0.917	0.970	1.016	1.067
30	1.070	0.864	0.909	0.959	1.014	1.063
45	1.070	0.864	0.909	0.959	1.014	1.063
60	1.070	0.864	0.909	0.959	1.014	1.063
Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и NaOH						
1/3	1.216	0.997	1.002	1.012	1.025	1.037
2/3	1.215	0.996	1.001	1.010	1.024	1.035
1	1.213	0.994	0.991	1.002	1.023	1.033
5	1.213	0.981	0.993	1.001	1.017	1.028
15	1.211	0.972	0.986	0.997	1.010	1.020
30	1.211	0.968	0.981	0.991	1.006	1.019
35	1.210	0.963	0.977	0.985	1.000	1.018
60	1.210	0.963	0.977	0.985	1.000	1.018

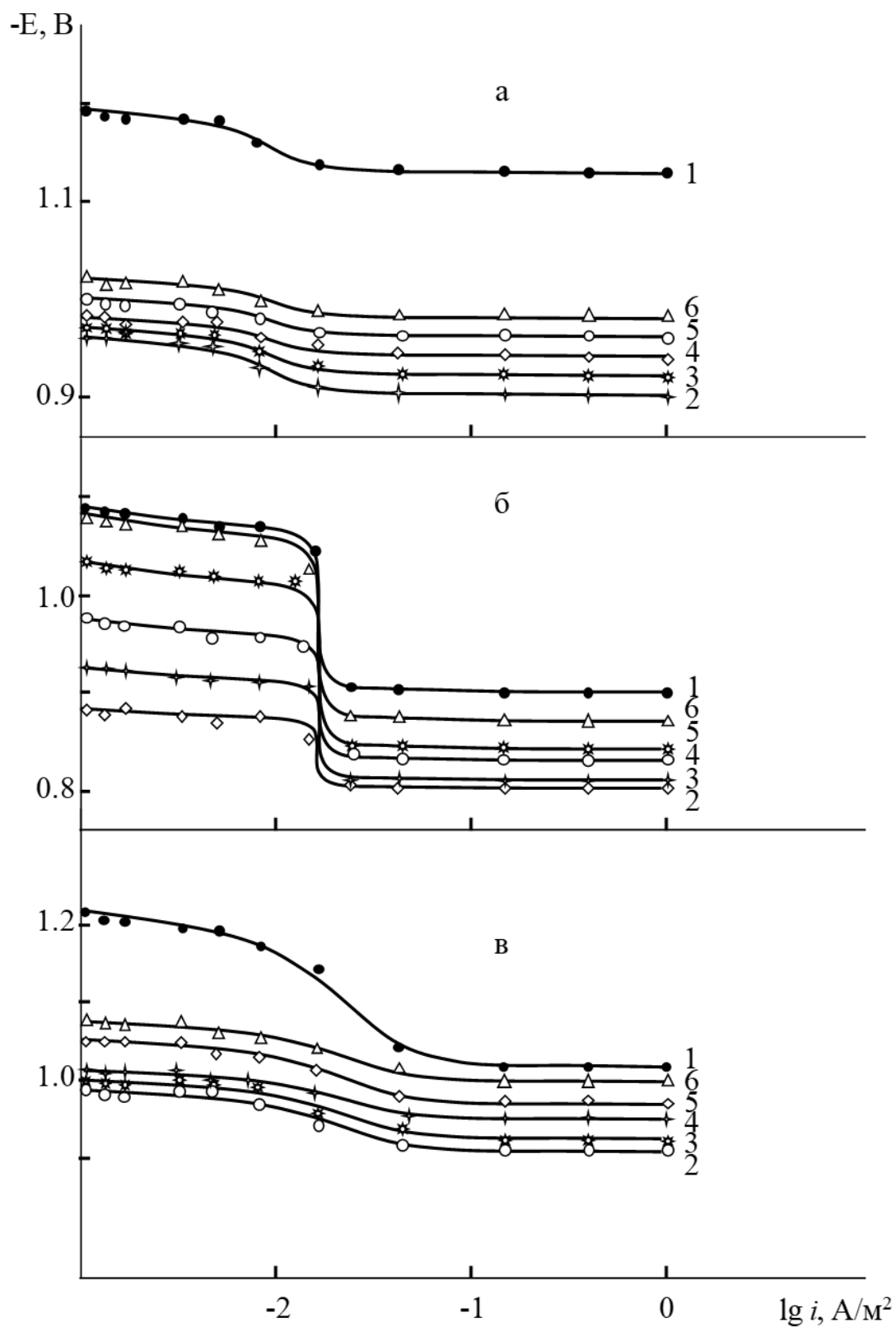
Качхатиҳои поляризатсионии хӯлаҳои неодимдошта дар речаи (2мВ/с.) потенциодинамикӣ ба воситаи потенциостат дар маҳлулҳои зерини HCl, NaCl, NaOH сабт гардиданд. Барои ҳамаи хӯлаҳои неодимдошта як хусусияти хоси муайян мушоҳида мешавад: качхатиҳои 2-6 қиматҳои мусбати бештарини потенциали электродии хӯларо дар муқоиса бо качхатии (1) хӯлаи Zn0.5Al нишон медиҳанд (расм 3.5).

Ташаккули чузъҳои фазавии қабатҳои муҳофизатии оксидӣ дар хӯлаҳои неодимдошта бо шадидтар сустшавии раванди анодӣ ҳамгирой дошта, дар тағйироти качхатиҳои поляризатсионӣ инъикос меёбад. Инчунин, он аз коҳиши чараёни коррозия ва қойивазкунии потенциали электрохимиявӣ ба самти бештаршавии мусбӣ барои ҳамаи хӯлаҳои мазкур вобаста аст.

Поляризатсияи анодӣ барои хӯлаҳои неодимдоштаи Zn0.5Al дар муҳитҳои мазкур метавонад намуди гузариши намунаҳои хӯлаҳоро ба ҳолати пасивнокӣ осон гардонад. Ҳангоми тағйирёбии потенциали коррозияи электрохимиявӣ ба самти бештарини мусбат, хӯлаҳои мазкури неодимдошта пай дар пай аз ҳолати фаъол ба ҳолатҳои фаъол-пасивӣ ва пасивнокӣ мегузарад (расм 3.5).

Чавҳаронии хӯлаи асосии Zn0.5Al бо Nd боиси тағйироти бештар назарраси якчанд хусусиятҳои коррозияи электрохимиявӣ ба самти бештарини мусбат мегардад. Дар ҳамаи ин муҳитҳои коррозияи фаъол, бештарин тағйироти мусбати потенциалҳои электрохимиявии коррозияи хӯлаи асосии 0.01-0.1%-и неодимдошта мушоҳида мешавад (ҷадвалҳо 3.15-3.17).

Муқовимати зиддикоррозионии хӯлаҳои бо Nd камчавҳаронидашуда (аз рӯйи суръати коррозия) аз муқовиматнокии хӯлаи асосӣ ба таври хеле назаррас фарқ карда, аз муқовиматнокии хӯлаи 1.0% неодимдошта дар муҳитҳои мазкур андаке фарқ дорад. Зичии чараёни коррозия ва суръати коррозияшавии хӯлаҳои неодимдошта бо зиёдшавии консентратсияҳои ионҳои хлорид ва ионҳои гидроксид дар маҳлулҳои электролити омӯхташуда зиёд мешавад. Ин падида бо каму зиёдшавии таркибҳои хӯла низ мушоҳида мешавад. Ин таъсир на танҳо аз миқдорҳои неодим, балки инчунин аз хусусиятнокӣ ва таркиби муҳити барангезанда вобаста аст (ҷадвалҳо 3.15-3.17).



Расми 3.5. – Качхатҳои анодӣ ҳангоми поляризатсияи
потенсиодинамикии ҳулаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}+\text{Nd}$, %-и вазн:

1 – $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$; 2 – 0.01Nd; 3 – 0.05Nd; 4 – 0.1Nd; 5 – 0.5Nd; 6 – 1.0Nd.

а) муҳити 0.1н-и HCl; б) муҳити 3%-и NaCl; в) муҳити 0.1н-и HCl

Чадвали 3.15. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо неодим чавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Микдори иловаҳои Nd дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и HCl					
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.045	0.872	0.883	0.917	0.929	1.000
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.051	0.884	0.901	0.925	0.930	1.005
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.912	0.808	0.815	0.822	0.828	0.845
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.921	0.814	0.820	0.833	0.841	0.864
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.136	0.090	0.097	0.100	0.109	0.122
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	1.65	1.10	1.18	1.22	1.33	1.49
Муҳити коррозсионӣ, 0.03%-и NaCl						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	0.960	0.802	0.830	0.860	0.925	0.954
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	0.968	0.814	0.865	0.872	0.920	0.980
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.800	0.729	0.742	0.757	0.767	0.775
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.809	0.741	0.756	0.763	0.774	0.786
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.037	0.022	0.025	0.028	0.035	0.036
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	0.45	0.27	0.30	0.34	0.43	0.44
Муҳити коррозсионӣ, 0.001н-и NaOH						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.025	0.803	0.862	0.907	0.969	1.015
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.033	0.883	0.911	0.925	0.980	1.023
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.845	0.798	0.805	0.812	0.828	0.830
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.853	0.803	0.812	0.823	0.833	0.840
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.116	0.094	0.096	0.099	0.104	0.107
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	1.41	1.15	1.17	1.21	1.27	1.30

Таъсирнокии ионҳои хлор ба коррозияшавии хӯлаҳо бо адсорбсия алоқаманд аст, ки он ба зудӣ бо пайдоиши қабати берунии оксидҳои фазавии гуногуни пайвастагиҳои адсорбсияшуда-рухӣ дар сатҳ ва дар дохили намунаҳои хӯла оварда мерасонад. Хӯлае, ки дорои зиёда аз 0.5%-и Nd аст, афзоиши баланди кинетикаи коррозияшавиро зимни муқоисакунӣ дар ҳама ҳолатҳои муҳитҳои барангезанда наздиктар ба хӯлаи асосӣ нишон медиҳад (чадвал 3.17).

Тағйирёбии коррозияи электрохимиявӣ дар потенциалҳои омӯхташудаи намунаи хӯла боиси гетерогенӣ дар тағйирдиҳии таркиб бо афзоиши муқовимати анодӣ мегардад. Миқдори иловаҳо ва хусусиятҳои таъсиррасонии элементҳои таркибии муқарраршуда дар муқоисаи $Zn_{0.5}Al$ бо хӯлаи неодимдошта мутаносибан тезшавӣ ва сустшавии кинетикаи коррозияро дар ин таҷриба нишон медиҳанд (ҷадвал 3.16).

Ҷадвали 3.16. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ дар рафтори анодии бо неодим ҷавҳаронидашудаи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозсионӣ	Миқдори иловаҳои Nd дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-и HCl					
$-E_{кор.оз}, В$	1.110	0.911	0.938	0.957	0.969	0.982
$-E_{кор.}, В$	1.118	0.924	0.953	0.975	0.983	0.990
$-E_{п.х.}, В$	0.980	0.841	0.855	0.860	0.868	0.876
$-E_{реп.}, В$	0.995	0.856	0.862	0.870	0.878	0.887
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.154	0.098	0.103	0.117	0.126	0.130
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.87	1.20	1.26	1.43	1.53	1.58
Муҳити коррозсионӣ, 0.3%-и NaCl						
$-E_{кор.оз}, В$	1.007	0.783	0.839	0.880	0.915	0.994
$-E_{кор.}, В$	1.016	0.814	0.845	0.895	0.930	1.012
$-E_{п.х.}, В$	0.860	0.705	0.750	0.770	0.792	0.810
$-E_{реп.}, В$	0.866	0.720	0.776	0.791	0.812	0.835
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.050	0.024	0.027	0.029	0.037	0.039
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	0.61	0.29	0.33	0.35	0.45	0.47
Муҳити коррозсионӣ, 0.01н-и NaOH						
$-E_{кор.оз}, В$	1.048	0.915	0.937	0.959	0.967	1.044
$-E_{кор.}, В$	1.058	0.923	0.955	0.973	0.984	1.050
$-E_{п.х.}, В$	0.892	0.845	0.855	0.860	0.870	0.910
$-E_{реп.}, В$	0.900	0.848	0.861	0.871	0.884	0.927
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.127	0.101	0.105	0.107	0.112	0.114
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot соат$	1.55	1.23	1.28	1.31	1.36	1.39

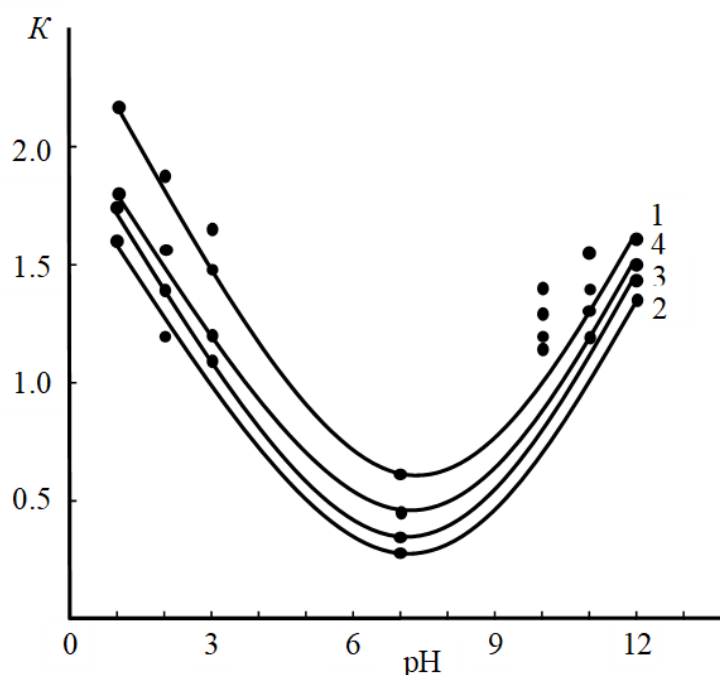
Чадвали 3.17. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозионӣ дар рафтори анодии бо неодим чавҳаронидашудаи хӯлаи Zn0.5Al

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозионӣ	Микдори иловаҳои Nd дар хӯла, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
	Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и HCl					
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.190	0.953	0.967	0.975	0.990	1.008
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.195	0.960	0.970	0.980	1.000	1.022
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	1.030	0.900	0.923	0.941	0.960	0.981
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	1.036	0.906	0.938	0.954	0.971	0.999
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.178	0.132	0.137	0.144	0.147	0.149
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	2.17	1.61	1.67	1.75	1.79	1.81
Муҳити коррозионӣ, 3%-и NaCl						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.070	0.864	0.909	0.959	1.014	1.063
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.086	0.880	0.925	0.875	1.035	1.080
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.900	0.800	0.810	0.829	0.840	0.870
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.904	0.811	0.826	0.839	0.852	0.885
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.055	0.030	0.032	0.039	0.044	0.047
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	0.67	0.37	0.39	0.47	0.54	0.57
Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и NaOH						
$-E_{\text{кор.оз}}, \text{В}$	1.210	0.963	0.977	0.985	1.000	1.018
$-E_{\text{кор.}}, \text{В}$	1.216	0.990	1.000	1.015	1.051	1.074
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	1.020	0.913	0.926	0.952	0.974	0.999
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	1.036	0.925	0.930	0.964	0.981	1.014
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.133	0.112	0.115	0.119	0.122	0.123
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$	1.62	1.36	1.40	1.45	1.49	1.50

Хусусиятҳои тағйирёбии динамикии таъсири таркибии намунаҳои хӯла дар хатҳои суръати коррозия вобаста ба pH-и муҳит дар маҳлулҳои омӯхташудаи электролитҳои гуногун инъикос гардидааст. Ҳангоми камшавии консентратсияҳои электролит бо иштироки хлорид-ионҳо ва гидроксид-ионҳои маҳлул, ҳолати пассиватсияи компонентҳои хӯла мушоҳида шуда, муқовимати зиддикоррозионии хӯлаҳои неодимдошта баланд мешавад. Афзоиши

муқовимати зиддикоррозионии хӯлаи асосии $Zn_{0.5}Al$ бо дар он иловакунии миқдорҳои то 1.0% неоним таъмин мегардад. Ҳангоми коррозия дар муҳитҳои сусти ва шадидан барангезандаи таҷрибавӣ, хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи неонимдошта нисбат ба хӯлаи асосӣ бартарии назаррас доранд. Иловаи зиёди неоним, масалан 1%, аллакай суръати коррозияи хӯларо то андозае нисбат ба иловаи ками он афзоиш медиҳад. Ҳангоми омӯختани муҳити коррозионии $NaCl$, дар муқоиса бо муҳитҳои ишқорӣ ва кислотаӣ, хурдтарин тағйирёбии потенциали коррозия ба қиматҳои мусбӣ мушоҳида мешавад (расм 3.6).

Качхатиҳои зерин, тағйироти суръати коррозия барои хӯлаҳои таҳқиқшуда вобаста аз pH-и муҳит, таъсири аёнии иловаҳои ҷавҳаронии неонимро дар камкунии суръати коррозия нисбати хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ нишон медиҳанд. Сабаби муқовимати баланди зиддикоррозионӣ бо қобилияти пайдошавии маҳсули коррозияро дар раванди коррозионӣ, инчунин дар шароити санҷишии муҳити pH шарҳ дода мешавад. Коҳишёбии бештарини суръати коррозияи хӯларо дар натиҷаи таъсири миқдорҳои 0.01 ва 0.1%-и неоним мушоҳида намудан мумкин аст (расм 3.6).

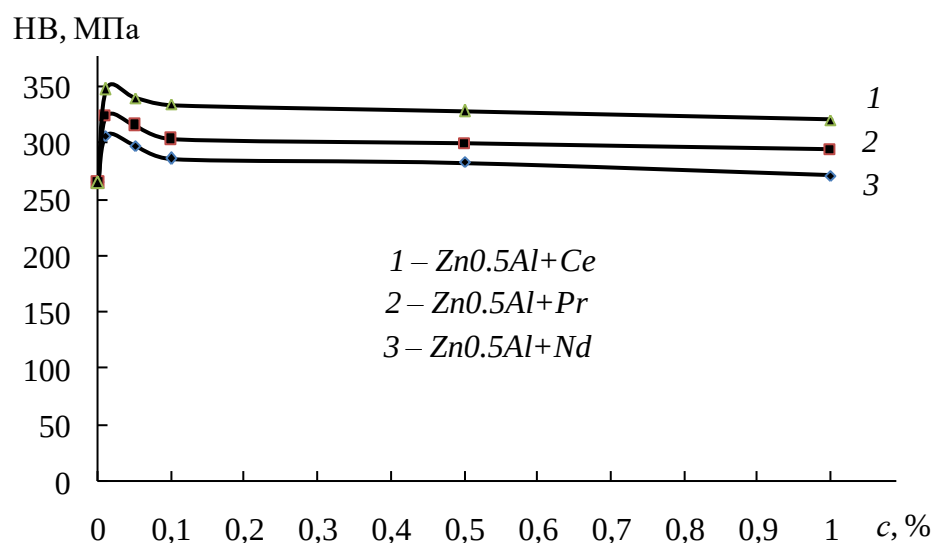


Расми 3.6. – Таъсири pH-и таркиби муҳити коррозионӣ дар тағйирёбии суръати коррозияи (K , $г/м^2 \cdot с$) хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al+Nd$. Мавҷудияти Nd (0.01%(2); 0.1%(3); 1.0%(4)) дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ (1)

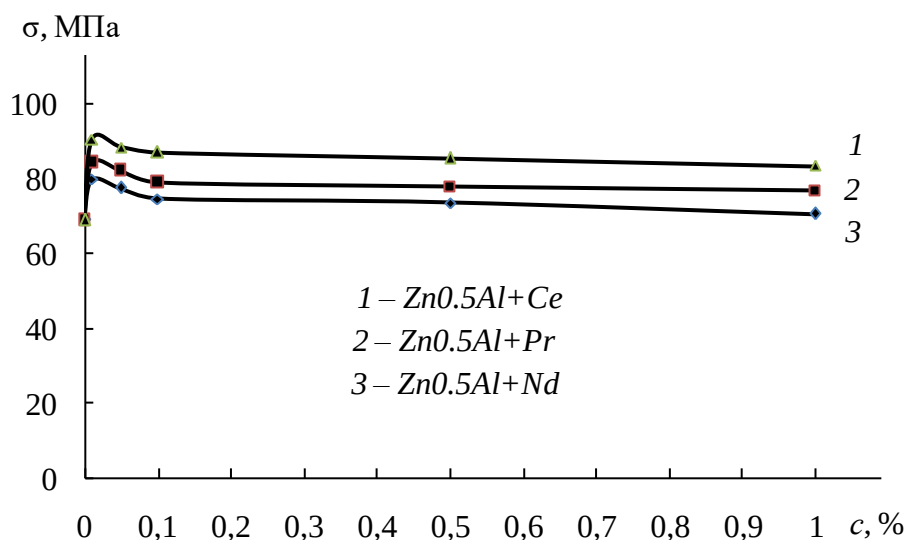
3.4. Сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда

Таҳқиқи хусусиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо ва механизми физикавии вайроншавии онҳо на танҳо барои интихоби маводи конструксионӣ, балки ҳангоми коркарди равандҳои технологияи мавод ва муайянкунии намудҳо, сохторҳо ва хусусиятҳои техникий таҷҳизоти технологияи истифодашаванда низ ниҳоят зарур аст.

Натиҷаҳои таҳқиқи хосиятҳои механикӣ – сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо концентратсияҳои гуногуни элементҳои зергуруҳи серий чавҳаронидашуда нишон медиҳанд, ки ҳангоми ба хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$ дар алоҳидагӣ воридкунии серий, празеодим ва неодим бо миқдорҳои аз 0.01 то 1.0%-и вазнӣ хосиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучанда хеле назаррас беҳтар мешавад. Махсусан, мусбӣ тағйирёбии хосиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучанда ҳангоми ба таркиби он воридкунии иловаҳои камтарини (0.01÷0.1%) металҳои зергуруҳи серий дида мешавад. Тасвири тағйирёбии хатҳои графикаи сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо мувофиқати ботартиб ҷойгиршавии элементҳои серий, празеодим ва неодимро дар зергуруҳи серий ифода мекунанд (расмҳои 3.7, 3.8).



Расми 3.7 – Тағйирёбии сахтӣ (HV, MPa) хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ҳангоми чавҳаронии он бо иловаҳои гуногуни ($c, \%$) серий, празеодим ва неодим



Расми 3.8 – Тағйирёбии мустаҳкамии (σ , МПа) хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ҳангоми ҷавҳаронии он бо иловаҳои гуногуни (с,%) серий, празеодим ва неодим

Қимати таҷрибавии сахтӣ барои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ 265.02 МПа-ро ташкил дода, барои хӯлаҳо бо 0.01%-и серий, празеодим ва неодим бошад ба қиматҳои 348.15, 324.14 ва 306.87 мутаносибан баробар мешавад. Муқоисакунии дигар таркибҳои хӯла, ки бо Ce, Pr ва Nd ҷавҳаронидашуда, низ ба афзоиши сахтии хӯлаҳо ишора мекунад. Дар ин ҳолат, бартарӣ ба хӯлаҳои камҷавҳаронидашуда нисбат ба хӯлаҳои зиёдҷавҳаронидашуда хос аст, зеро тағйирёбии сахтӣ ба самти коҳишёбии қиматҳо низ ҷой дорад. Дар умум, ҳамаи таркибҳои хӯлаҳои серий-, празеодим- ва неодимдошта баландшавии сахтиро нисбат ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ инъикос менамоянд. Дар баробари ин, қиматҳои мустаҳкамии хӯлаҳо низ ба самти мусбӣ вобаста аз консентратсияҳои компонентҳои таркибии хӯлаҳо тағйир меёбанд. Ин вобастагӣ ё қонуниятҳои тағйирёбӣ бо тағйирёбии самараноки мустаҳкамии хӯлаҳои серий-, празеодим- ва неодимдошта нисбат ба хӯлаи дучандаи рух шарҳ дода мешавад (ҷадвал 3.18).

Натиҷаҳои таҳқиқи хосиятҳои механикӣ – сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$, ки серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда, нишон медиҳанд, ки ҷавҳаронии хӯлаҳо дар ҳудуди консентратсияҳои таҳқиқшудаи (0.01÷1.0% Ce, Pr, Nd) қобилияти баландбардории хосиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучандаи рухро зоҳир менамояд. Хӯлаҳои серий ва

празеодимдошта нисбат ба хӯлаҳои неодимдошта хосиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамиро назаррас беҳтар мекунад. Қонуниятҳои тағйирёбии хосиятҳои механикӣ, яъне бо афзоиши сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо ҳангоми гузариш аз хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ба хӯлаҳо бо неодим, хӯлаҳо бо празеодим ва хӯлаҳо бо серий шарҳ дода мешавад (ҷадвал 3.18).

Ҷадвали 3.18. – Тағйирёбии сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ҳангоми ҷавҳаронии он бо серий, празеодим ва неодим

таркиби хӯла, %-и вазнӣ	сахтӣ НВ, МПа	мустаҳкамӣ, МПа
$Zn_{0.5}Al$	265.02	68.90
$Zn_{0.5}Al+0.01Ce$	348.15	90.52
$Zn_{0.5}Al+0.05Ce$	340.05	88.41
$Zn_{0.5}Al+0.1Ce$	334.42	86.95
$Zn_{0.5}Al+0.5Ce$	328.41	85.39
$Zn_{0.5}Al+1.0Ce$	320.68	83.38
$Zn_{0.5}Al+0.01Pr$	324.14	84.28
$Zn_{0.5}Al+0.05Pr$	316.24	82.22
$Zn_{0.5}Al+0.1Pr$	303.77	78.98
$Zn_{0.5}Al+0.5Pr$	299.33	77.82
$Zn_{0.5}Al+1.0Pr$	294.73	76.63
$Zn_{0.5}Al+0.01Nd$	306.87	79.79
$Zn_{0.5}Al+0.05Nd$	297.65	77.39
$Zn_{0.5}Al+0.1Nd$	286.34	74.45
$Zn_{0.5}Al+0.5Nd$	283.01	73.58
$Zn_{0.5}Al+1.0Nd$	271.22	70.52

Ҳамин тавр, ин маълумотҳо барои интихоби маснуот ва руйпӯшҳои хӯлаҳои мувофиқ буда, инчунин муайянкунии намудҳо ва хусусиятҳои таҷҳизоти технологияи дар саноат истифодашавандаро ҳосатан таъмин мекунад.

3.5. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқот

Дар амалия, коррозияи дар натиҷаи нобаробар тозашавии ҳаво бавучудода асосан ба конструкцияҳои пӯлодии карбондор, ки дар маҳлулҳои гуногуни электролитӣ истифода мешаванд, зарар мерасонад. Ин намуди коррозия дар конструкцияҳо ва иншооте, ки қисман ба маҳлул ғуттавар шуда ё қисман бо он пӯшида шудаанд ва дар онҳо омехташавӣ ё ҷараён вучуд надорад, равшан зоҳир мегардад (таҷҳизоти зарфӣ, маҳкамкунакҳои обии газголдерҳо, систернаҳо ва ғайра). Дар чунин ҳолат, пеш аз ҳама, қисмҳое, ки каме дуртар аз сатҳи об ҷойгиранд, ба коррозия дучор мегарданд ва қисми бевосита ба сатҳи об наздик буда бошад (дар ҷойҳое, ки оксиген беҳтар дастрас аст), қариб тамоман коррозия намешавад. Масалан, зарфи пӯлодие, ки пурра бо об пур нашудааст, аввал дар қисмҳои дуртар аз сатҳи об коррозияшавиро нишон медиҳад ва баъдан коррозия ба дигар қисматҳо густариш меёбад. Аммо дар ҳуди хати ғутиши сатҳи об қисме боқӣ мемонад, ки коррозия нашудааст. Маҳз бинобар ин, дар ҳамингуна конструкцияҳо осебпазиртарин ҷойҳо гардана ва поёни зарф мебошанд, ки дар ин ҷойҳо ихроҷи моеъ тезтар мушоҳида мешавад.

Коррозия дар рафтори анодии ҳӯла вобаста аз таъсироташ бисёршакл аст. Равандҳое, ки барои вайроншавии коррозионӣ масъуланд, дар баҳамтаъсирот ва шароитҳои гуногун якхел намегузаранд. Хусусан, сатҳи ҳӯла на ҳамеша ба ҳамлаи якхелаи муҳити барангехтаи коррозияи умумӣ дучор мегардад. Бисёр вақт ин раванд дар минтақаҳои алоҳида, баъзан хурд, мутамарказ шуда, ва вайроншавӣ хусусияти гуногунрангии возеҳро пайдо мекунад. Бузургии талафоти коррозионӣ, яъне миқдори ҳосилшудаи маҳсули коррозия, наметавонад ҳамчун ченаки хатари коррозия хизмат кунад. Хатарнокии намудҳои гуногуни коррозия дар алоқамандӣ бо тавсеаи назарраси навъҳои ҳӯлаҳои конструксионии ба коррозия тобовар ва шадидтаршавии шароитҳои истифодабарии онҳо хеле афзоиш ёфтааст.

Дар натиҷаи ин моҳияти равандҳои анодӣ ва катодии табдилоти химиявӣ, ки аз рӯйи механизми электрохимиявӣ ҷараён мегиранд, худро ҳамчун равандҳои электродии мустақил пешбарӣ мекунанд, вале суръати онҳо аз

концентрация компонентҳои амалкунанда ва бузургии заряди сатҳи металлӣ, ё дақиқтараш аз ҳақиқи потенциал дар қисмати сатҳии ҳӯла ва маҳлули электролит вобаста аст. Аммо ин вобастагӣҳо гуногунанд: суръати раванди анодӣ бо афзоиши потенциал зиёд шуда, вале суръати раванди катодӣ кам мешавад. Дар ин моҳияти ишорашуда инчунин имкони ҷудошавии фазоӣ дар сатҳи электродҳои ҳӯлавӣ – анод ва катодро ба вуҷуд меояд. Ҳамчунин ин равандҳо метавонанд якҷоя дар сатҳи электроди ҳӯлавӣ гузашта, услуби худро нигоҳ доранд, яъне қонуниятҳои ба ҳар кадоми онҳо хосро ҳангоми гузариши алоҳидаи онҳо амалӣ кунанд.

Дар аксари ҳолатҳо, коррозияи ҳӯлаҳои металлӣ дар электролитҳои хлориддошта ба амал меояд, ки дар он таъсири хлорид-ионҳо бо раванди коррозиянӣ, яъне коррозияи электрохимиявӣ маънидод мешавад. Дар раванди коррозиянӣ, шумораи қисматҳои анодӣ ва катодии ҳӯла-рӯйпуш доимӣ боқӣ намеронад, зеро ҳӯла дар қисматҳои анодӣ ҳал шуда, қисматҳои нави анодӣ ва катодиро пайдо мекунад. Иловазан, ҳангоми баҳодиҳии равандҳои коррозиянӣ имкони принципалии раванд аз ҷанб суръати ҳақиқии он на он қадар муҳим аст. Агар раванди коррозия имконпазир буда, вале бо суръати хеле суст гузарад, онҳо талафоти коррозиянро метавонанд нодида гирифт ва метали ҷавҳарониро химиявӣ устувор ҳисобид. Дар баъзе мавридҳо, маҳсули коррозияи ҳӯлаҳо метавонанд пардаи муҳофизатӣ ҳосил кунанд, ки ба рафти раванди коррозиянӣ таъсири назаррас мерасонад.

Суол оид ба таъсири потенциал ба суръати коррозияи электрохимиявӣ дар баррасии кинетикаи ин раванд асосӣ мебошад. Тағйири потенциали электрод, ки бо тағйирот дар сарҳади электрод-электролит алоқаманд аст, боиси вайроншавии мувозинати потенциали электрод ва ба самтҳои мусбат ё манфӣ суръатбахшии ин раванд мегардад. Барои ҳамаи он ҳӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи серий-, празеодим- ва неодимдошта вобастагии суръати ҳалшавии анодӣ аз потенциал ҳамшабеҳ аст, яъне мавҷудияти онҳо дар ҳӯла боиси мусбат тағйирдиҳии потенциалҳои коррозиянӣ мегарданд. Танҳо нишондиҳандаҳои равандҳои коррозиянӣ, ки тамоюли пасивнокии $E_{кор.оз}$ ва $E_{п.х.}$, суръати ҳалшавии анодии

$E_{кор.}$ дар ҳолати пассивнокии $E_{п.х.}$ ва ҳолати гузариш ба репассивии $E_{реп.}$ –ро дар хӯла нишон медиҳанд, тағйир меёбанд. Ин маълумотҳо барои хӯлаҳои омӯхташуда дар расмҳои 3.1, 3.3 ва 3.5 ва ҷадвалҳои 3.4, 3.5, 3.9-3.11 ва 3.15-3.17 оварда шудааст, ки таҷрибаҳои озмоишӣ дар як шароити якхелаи таҳқиқот гузаронида шудаанд.

Аз қиматҳои дар ҷадвалҳои 3.19-3.21 овардашуда ҳангоми муқоисакунии дар муҳитҳои коррозсионӣ, инчунин танҳо дар мисоли 2 таркибҳои хӯлаҳои серий-, празеодим- ва неодимдошта, чунин қонуният бармеояд, ки серий дар муқоиса бо празеодим ва неодим бештар ба таъсири коррозия муқовимат нишон медиҳад ва онро ба ҳолати фаъол табдил додан мушкил аст. Аз ду элементҳои дигари ҷавҳаронии хӯла, празеодим нисбат ба неодим муқовимати баландтарини зиддикоррозиониро зоҳир менамояд. Дар баробари серий, празеодим низ устувории хӯларо ба коррозия баланд мекунад. Хӯлаҳои неодимдошта устувории хӯларо ба коррозия камтар баланд мекунаанд. Аз рӯи таъсирнокии ин элементҳои ҷавҳаронии хӯла, ҷойгиршавии онҳо дар тартиб ба таври зайл аст: $Ce \rightarrow Pr \rightarrow Nd$, ки ин тартиби ҷойгиршавии элементҳо ба хусусиятҳои хоси онҳо мувофиқат мекунад.

Ҷавҳаронидани хӯлаи дучанда ($Zn_{0.5}Al$) бо элементҳои сеюм (Ce , Pr ва ё Nd), ки концентратсияҳои гуногун доранд ба баландкунии муқовимати хӯла ба зидди коррозия мусоидат мекунад, ки ин бо коҳиш ёфтани суръати коррозия шарҳ дода мешавад, ки дар натиҷаи он серий, празеодим ва неодим ба ҳолати пассивии устувор вобаста ба pH муҳит мегузаранд (ҷадвалҳо 3.19-3.21). Коҳиш ёфтани суръати коррозия бо тағйирёбии андозаҳои сохтори донагии микросохторҳои хӯлаҳо алоқаманд аст (нигаред ба расми 2.4, зербоби 2.1).

Потенсиали $E_{п.х.}$ нишондиҳандаи хеле арзишманди хусусияти устувории хӯла ба коррозияи питтингӣ (яксон) мебошад, аммо ду норасоӣ дорад: метавонад на танҳо аз хусусияти хӯла ва таркиби коррозсионии муҳит, балки аз ҳолати сатҳи хӯла низ хеле тағйир ёбад; питтингҳое, ки ҳангоми тағйирёбиҳо дар қиматҳои $E_{кор.} \geq E_{п.х.}$ ба вуҷуд меоянд, метавонанд ҳангоми потенциалҳои ($E_{кор.}$) нисбат ба питтингҳосилшавӣ ($E_{п.х.}$) – то потенциали репассивии ($E_{реп.}$) питтингҳо манфитар

дар умум афзоиш ёбанд, ки дар раванди ченкунии поляризатсионӣ ҳангоми ба самти баргашт майлкунии потенциалро муайян мекунанд. Ғайр аз ин, $E_{\text{реп.}}$ дар фарқият бо $E_{\text{п.х.}}$ аз ҳолати хӯла вобаста нест, ки ин онро ҳамчун хусусият барои устувории хӯла ба коррозияи гуногуннамуд муҳим месозад (ҷадвалҳо 3.19-3.21).

Ҷадвали 3.19. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозияи дар рафтори анодии хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи системаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}-\text{Ce}(\text{Pr},\text{Nd})$

Нишонди- ҳандаҳои равандҳои коррозионӣ	Миқдори иловаҳои элементҳо дар хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$, %-и вазнӣ						
	-	0.01Ce	1.0Ce	0.01Pr	1.0Pr	0.01Nd	1.0Nd
	Муҳити коррозионӣ, 0.001н-и HCl						
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	1.045	0.755	0.965	0.852	0.985	0.872	1.000
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	1.051	0.771	0.971	0.873	0.990	0.884	1.005
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.912	0.710	0.810	0.788	0.820	0.808	0.845
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.921	0.715	0.827	0.793	0.830	0.814	0.864
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.136	0.048	0.058	0.080	0.096	0.083	0.098
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	1.65	0.58	0.71	0.97	1.17	1.01	1.19
Муҳити коррозионӣ, 0.03%-и NaCl							
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	0.960	0.785	0.851	0.790	0.860	0.802	0.954
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	0.968	0.793	0.871	0.805	0.885	0.814	0.980
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.800	0.712	0.755	0.721	0.768	0.729	0.775
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.809	0.723	0.761	0.736	0.778	0.741	0.786
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.037	0.020	0.032	0.021	0.035	0.022	0.036
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	0.45	0.24	0.39	0.25	0.42	0.27	0.44
Муҳити коррозионӣ, 0.001н-и NaOH							
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	1.025	0.735	0.945	0.795	1.005	0.803	1.015
$-E_{\text{кор.оз.}}, \text{В}$	1.033	0.743	0.953	0.804	1.013	0.883	1.023
$-E_{\text{п.х.}}, \text{В}$	0.845	0.655	0.720	0.715	0.772	0.798	0.830
$-E_{\text{реп.}}, \text{В}$	0.853	0.663	0.730	0.723	0.790	0.803	0.840
$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	0.116	0.049	0.059	0.063	0.081	0.091	0.111
$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	1.41	0.60	0.72	0.77	0.99	0.111	1.35

Чадвали 3.20. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозия дар рафтори анодии хӯлаҳои чавҳаронидашудаи системаҳои Zn0.5Al-Ce(Pr,Nd)

Нишондиҳандаҳои равандҳои коррозия	Миқдори иловаҳои элементҳо дар хӯлаи Zn0.5Al, %-и вазнӣ						
	-	0.01Ce	1.0Ce	0.01Pr	1.0Pr	0.01Nd	1.0Nd
	Муҳити коррозия, 0.01Н-и HCl						
-E _{кор.оз.} , В	1.110	0.820	0.944	0.905	0.974	0.911	0.982
-E _{кор.оз.} , В	1.118	0.848	0.950	0.913	0.981	0.924	0.990
-E _{п.х.} , В	0.980	0.740	0.855	0.835	0.866	0.841	0.876
-E _{реп.} , В	0.995	0.745	0.862	0.838	0.877	0.856	0.887
$i_{кор} \cdot 10^2$, А/м ²	0.154	0.060	0.071	0.083	0.113	0.086	0.113
$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	1.87	0.73	0.86	1.01	1.38	1.05	1.38
Муҳити коррозия, 0.3%-и NaCl							
-E _{кор.оз.} , В	1.007	0.736	0.941	0.742	0.952	0.783	0.994
-E _{кор.оз.} , В	1.016	0.750	0.959	0.762	0.970	0.814	1.012
-E _{п.х.} , В	0.860	0.671	0.754	0.682	0.762	0.705	0.810
-E _{реп.} , В	0.866	0.690	0.761	0.696	0.778	0.720	0.835
$i_{кор} \cdot 10^2$, А/м ²	0.050	0.021	0.033	0.023	0.038	0.024	0.039
$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	0.61	0.25	0.40	0.28	0.46	0.29	0.47
Муҳити коррозия, 0.01Н-и NaOH							
-E _{кор.оз.} , В	1.048	0.778	0.988	0.817	1.022	0.915	1.044
-E _{кор.оз.} , В	1.058	0.788	0.998	0.826	1.035	0.923	1.050
-E _{п.х.} , В	0.892	0.690	0.865	0.737	0.894	0.845	0.910
-E _{реп.} , В	0.900	0.697	0.870	0.753	0.906	0.848	0.927
$i_{кор} \cdot 10^2$, А/м ²	0.127	0.062	0.073	0.064	0.082	0.096	0.122
$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	1.55	0.75	0.89	0.78	1.00	1.17	1.49

Тағйирёбии ҳар як потенциалҳои коррозия барои таркибҳои 0.01 ва 1.0% серий-, празеодим- ва неодимдоштаи хӯла дар ҳаргуна муҳитҳои ҳархела аз яқдигар ба кулӣ фарқ мекунад, ки ин бевосита аз компонентҳои таркиби

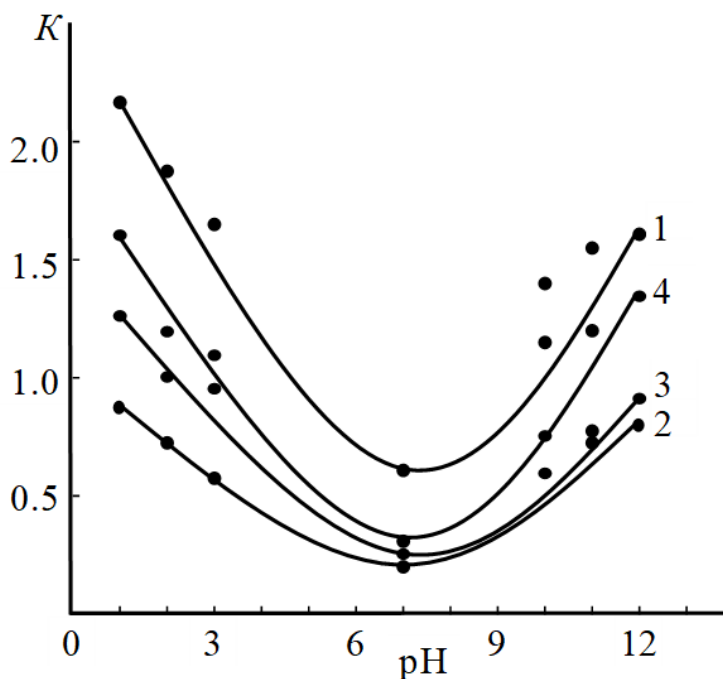
хӯлаҳо ва таркибҳои гуногуни муҳити коррозионӣ алоқаманд аст. Маҳз ҳамингуна ивазшавии қиматҳои ин потенциалҳо ҳамчун нишондиҳандаҳои равандҳои коррозионӣ хусусияти анодии ҳар як хӯлаҳои вобаста ба таркиб гуногунро нишон медиҳанд (ҷадвалҳо 3.19-3.21).

Ҷадвали 3.21. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои коррозионӣ дар рафтори анодии хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи системаҳои $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr,Nd)$

Нишонди- ҳандаҳои равандҳои коррозионӣ	Миқдори иловаҳои элементҳо дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, %-и вазнӣ						
	-	0.01Ce	1.0Ce	0.01Pr	1.0Pr	0.01Nd	1.0Nd
	Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и HCl						
$-E_{кор.оз.}, В$	1.190	0.900	0.980	0.942	0.995	0.953	1.008
$-E_{кор.оз.}, В$	1.195	0.905	0.985	0.951	1.000	0.960	1.022
$-E_{п.х.}, В$	1.030	0.790	0.925	0.888	0.946	0.900	0.981
$-E_{реп.}, В$	1.036	0.775	0.938	0.898	0.959	0.906	0.999
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.178	0.072	0.081	0.104	0.123	0.105	0.123
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot с$	2.17	0.88	0.99	1.27	1.50	1.28	1.50
Муҳити коррозионӣ, 3%-и NaCl							
$-E_{кор.оз.}, В$	1.070	0.813	0.908	0.822	1.032	0.864	1.063
$-E_{кор.оз.}, В$	1.086	0.820	0.924	0.844	1.052	0.880	1.080
$-E_{п.х.}, В$	0.900	0.700	0.771	0.704	0.784	0.800	0.879
$-E_{реп.}, В$	0.904	0.712	0.789	0.722	0.800	0.811	0.885
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.055	0.024	0.036	0.028	0.040	0.030	0.047
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot с$	0.67	0.29	0.44	0.34	0.48	0.37	0.57
Муҳити коррозионӣ, 0.1н-и NaOH							
$-E_{кор.оз.}, В$	1.210	0.920	0.983	0.952	1.000	0.963	1.018
$-E_{кор.оз.}, В$	1.216	0.926	0.992	0.984	1.050	0.990	1.074
$-E_{п.х.}, В$	0.920	0.735	0.775	0.900	0.990	0.913	0.999
$-E_{реп.}, В$	0.936	0.748	0.795	0.911	1.002	0.925	1.014
$i_{кор.} \cdot 10^2, А/м^2$	0.133	0.073	0.082	0.067	0.087	0.110	0.126
$K \cdot 10^3, г/м^2 \cdot с$	1.62	0.89	1.00	0.82	1.06	1.34	1.54

Суръати коррозия дар электролити кислотагии фаъоли (0.1н) HCl вобаста аз таркиби коррозиянии рН-и (1) муҳит барои Zn0.5Al – 2.17 г/м²·соатро ташкил дода, ин бузургӣ барои ҳулаҳои 0.01 ва 1.0% серий-, празеодим- ва неодимдошта чунин қиматҳоро мутаносибан нишон медиҳад: 0.88, 0.99 г/м²·с (расмҳо 3.2, 3.7); 1.27, 1.50 г/м²·с (расмҳо 3.4, 3.7); 1.28, 1.50 г/м²·с (расмҳо 3.6, 3.7). Дар электролити ишқории фаъоли (0.1н) NaOH вобаста аз таркиби коррозиянии рН-и (12) муҳит бузургии мазкур мутаносибан бо чунин қиматҳо тағйир меёбад: Zn0.5Al – 1.62 г/м²·с; Ce – 0.89, 1.00 г/м²·с (расмҳо 3.2, 3.7); Pr – 0.82, 1.06 г/м²·с (расмҳо 3.4, 3.7); Nd – 1.34, 1.54 г/м²·с (расмҳо 3.6, 3.7). Дар муҳитҳои (0.03; 0.3%) нейтралӣ NaCl бошад қиматҳои камтарини минималии суръати коррозия барои ҳамаи таркибҳои намунаҳои ҳула хос аст (расмҳо 3.2-3.7).

Ҳамин тавр, самаранокии баланди зиддикоррозионӣ ва хусусияти анодии намунаҳои ҳулаи чавҳаронидашуда дар муҳитҳои кислотай, нейтрал ва ишқорӣ дар ҳудуди рН=3-10 мушоҳида мегардад. Чавҳаронии ҳулаи Zn0.5Al бо иловагӣҳои (0.01÷0.1%) Ce, Pr ва Nd қобилияти камкунии суръати коррозияи онро то 1,5–3 маротиба нишон медиҳад (ҷадвалҳо 3.19-3.21, расм 3.9).



Расми 3.9. – Таъсири рН-и таркиби муҳити коррозиянӣ дар тағйирёбии суръати коррозияи (K , г/м²·с.) ҳулаи бо 0.01%-вазнии Ce (2), Pr (3) ва Nd (4) дар алоҳидагӣ чавҳаронидашудаи Zn0.5Al(1)

Дар чараёни истеҳсоли маснуот, металл ё хӯла ба коркарди технологии гуногун – механикӣ, ҳароратӣ ва ғайра – дучор мешавад, ки дар натиҷаи он сохт ва хосиятҳои механикии он тағйир меёбанд. Аз ин рӯ, назорати хосиятҳои механикӣ дар марҳилаҳои гуногуни истеҳсоли маснуот хеле зарур аст. Ҳангоми истифодаи маснуот зерӣ таъсири омилҳои гуногун – ҳарорати баланд ё паст, фишор, муҳити агрессивӣ ва ғайра – сохт ва хосиятҳои механикии он тағйир меёбанд, ки бо гузашти вақт боиси вайроншавии он мешаванд. Ин зарурати назорати хосиятҳои механикиро ба миён меорад, то ки ҷузъҳои осебпазири конструксияҳо муайян карда шуда, аз садамаҳо пешгирӣ карда шавад.

Таҳқиқи хосиятҳои механикии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки дар алоҳидагӣ бо иловаҳои гуногуни серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда, гузаронида шудааст. Иловаҳои ҷавҳаронии элементҳои зергуруҳи серий дар ҳудуди концентратсияҳои таҳқиқшуда ($0.01 \div 1.0\%$ -и вазнӣ) хосиятҳои механикӣ, бахусус сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ -ро афзоиш медиҳанд. Махсусан, иловаҳои камтарини ($0.01 \div 0.1\%$) Ce, Pr ва Nd ба хусусиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$ таъсири мусбӣ мерасонанд. Иловаҳои бештарини (беш аз 0.1%) ин металҳо дар хӯла каме хосиятҳои механикии онро коҳиш медиҳад, ки дар ниҳоят хусусиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$ мусбӣ тағйир меёбад. Концентратсияҳои муносиби таркиби хӯлаҳо муайян карда шуд. Зиёдшавии назарраси сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо бо серий, нисбат ба хӯлаҳо бо празеодим ва неодим аниқ карда шуд (расмҳо 3.7, 3.8 ва ҷадвали 3.18).

Ҳамин тавр, натиҷаҳои амалан таҷрибавӣ аниққунии хосиятҳои механикӣ, хусусиятҳои устувории хӯлаҳои нави коркардшуда ва механизми физикавӣ беҳтаршавӣ ё вайроншавии онҳо барои мутахассисони корхонаҳои саноатӣ заминаи муҳими назариявӣ хоҳад буд. Ин маълумотҳо на танҳо барои интиҳоби маснуот ва руйпӯшҳои хӯлавӣ мувофиқ буда, инчунин барои мақсаднок ҷустуҷӯи роҳҳои оқилонаи ташаккули хосиятҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ дар онҳо ва коркарди равандҳои технологии коркарди маснуот, муайянқунии намудҳо ва хусусиятҳои таҷҳизоти технологии дар саноат истифодашавандаро хосатан таъмин мекунанд.

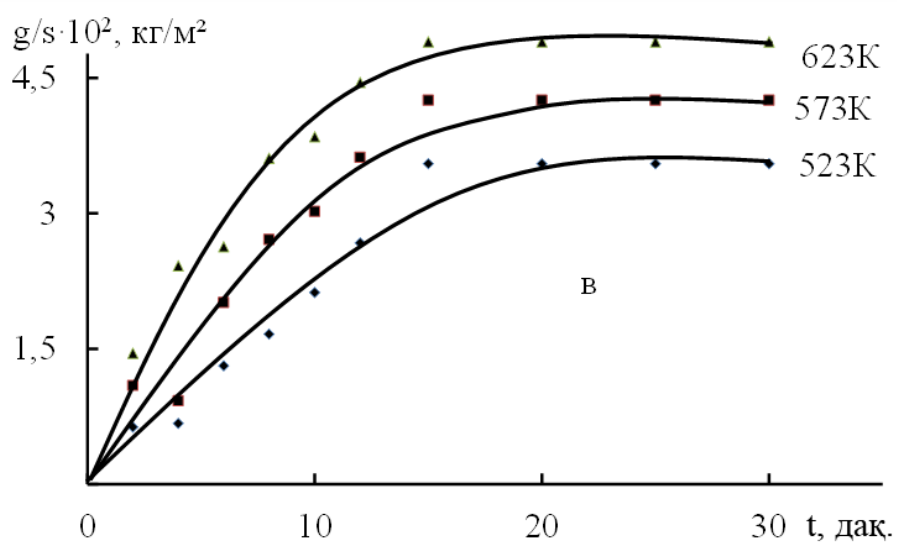
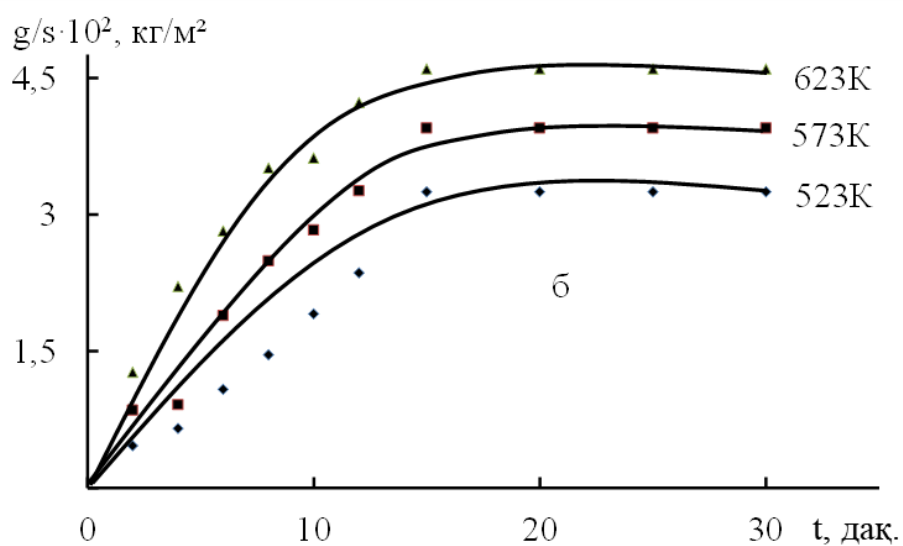
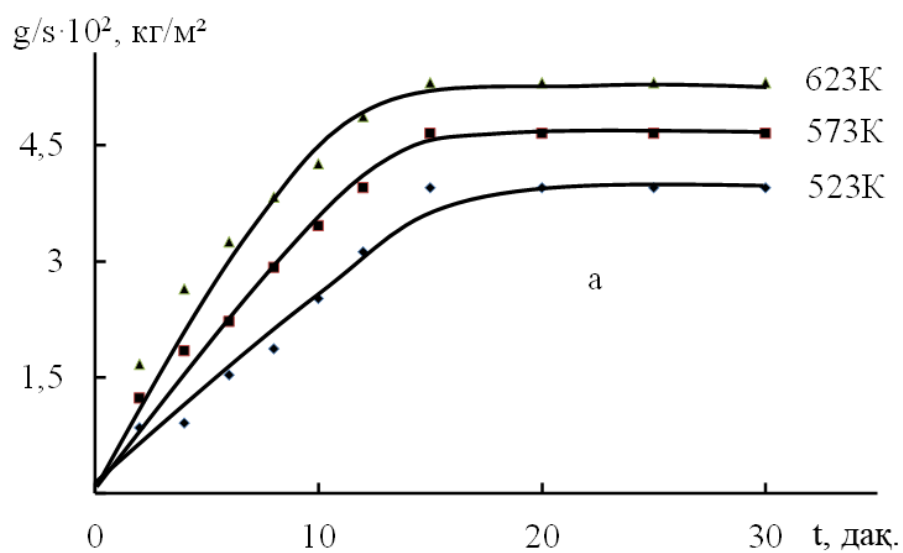
БОБИ 4. ОКСИДШАВИИ БАЛАНДҲАРОРАТИИ ХҶЛАИ $Zn_{0.5}Al$, КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ ВА НЕОДИМ ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

4.1. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо серия чавҳаронидашуда

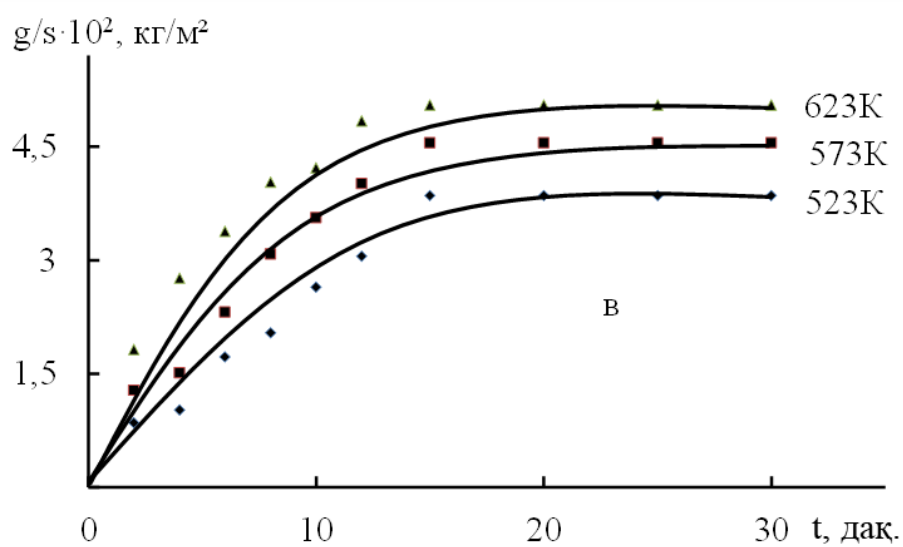
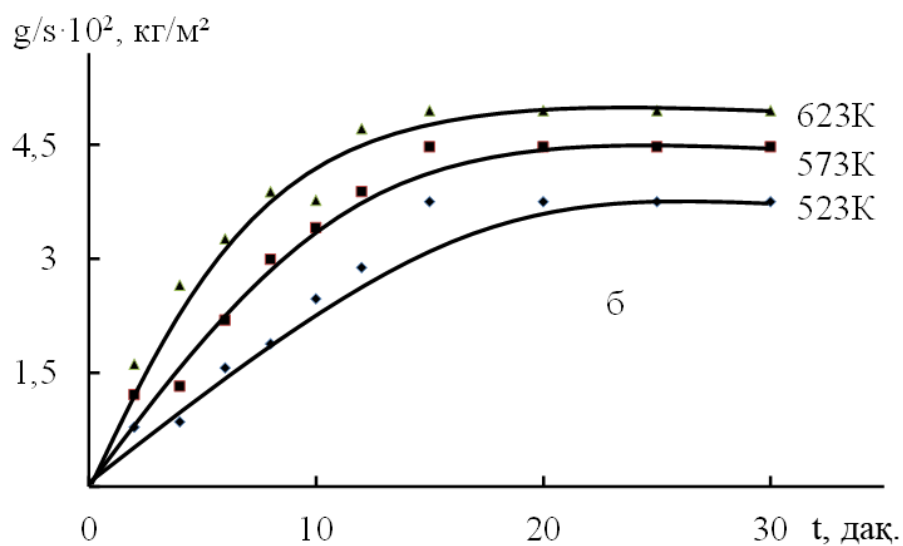
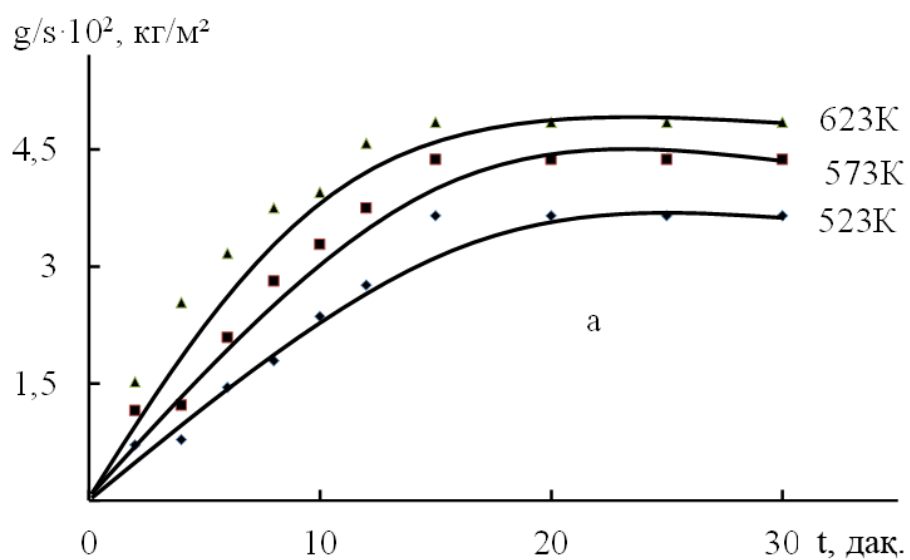
Таҳқиқоти кинетикаи раванди оксидшавии хӯлаҳои сахти $Zn_{0.5}Al$ бо серия дар шароити изотермӣ ва муҳити ҳаво бо истифодаи методи термогравиметрӣ гузаронида шуд. Вазни намунаҳои ин хӯлаҳо дар раванди оксидшавӣ дар давоми 1 соат дар ҳароратҳои 523, 573 ва 623K мунтазам сабт шуда, дар графикҳои таҳқиқот танҳо 30 дақиқаи он нишон дода шуда аст. Одатан, барои гузаронидани таҳқиқот ҳароратҳои интихоб карда шуданд, ки ба ҳарорати худозиши ин хӯлаҳо наздик бошад. Барои муайянкунии афзоиши вазни хос, сатҳи намунаҳои оксидшаванда дар лаҳзаҳои вақтҳои муайян омӯхта шуд. Дар асоси ин таҳқиқот, қачхатиҳои кинетикии оксидшавӣ ва вобастагиҳои графикаи афзоиши вазни хос аз таркиби намунаҳо, вақти таҳқиқот ва ҳарорати таҳқиқот сохта шуданд. Миқдори серия дар ҳар як намунаи хӯла аз 0.01 то 1.0%-и вазнро ташкил дод.

Муқовимати хӯлаҳо ба оксидшавӣ дар ҳароратҳои гуногуни баланд аз хосиятҳои муҳофизатии пардаҳое, ки компонентҳои таркибии хӯлаҳоро мепошонанд, вобаста аст. Барои зиёдкунии хосиятҳои муҳофизатии он, хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо серия чавҳаронида шуд. Дар марҳилаи оғозшавии оксидшавии намунаҳои хӯлаи бо серия чавҳаронидашуда, вобастагии ҳароратӣ чандон намоён нест, аммо пас аз 12-15 дақиқаи оксидшавӣ ихтилофи назарраси тағйирёбии ин қачхатҳо дар рафти оксидшавӣ барои ҳамаи ҳароратҳои гуногуни таҳқиқот дида мешавад. Баъдан, дар фосилаи аз 20 то 30 дақиқаи раванди таҳқиқот суръати оксидшавӣ доимӣ бетағйир мемонад (расмҳо 4.1, 4.2).

Қиматҳои аниқкардашуда, аз рӯи рафти қачхатҳои равандҳои оксидшавӣ, фарқияти назарраси суръати оксидшавиро вобаста аз ҳарорат барои хӯлаҳои зикршуда тасдиқ мекунанд. Дар марҳилаҳои аввали оксидшавӣ тибқи ҳароратҳои таҳқиқшуда дар сатҳи намунаи хӯла қабатҳои оксидии тунук ташаккул ёфтаанд, ки таъсири равандҳои диффузионӣ, ки ба ҳарорат вобастаанд,



**Расми 4.1. – Қачхатҳои суръати оксидшавии ҳӯлаи Zn_{0.5}Al (а),
ки бо 0.01 (б) ва 0.05% (в) серий ҷавҳаронидашуда**



Расми 4.2. – Қачхатҳои суръати оксидшавии ҳулаи Zn_{0.5}Al, ки бо 0.1 (а), 0.5 (б) ва 1.0% (в) сериї чавҳаронидашуда

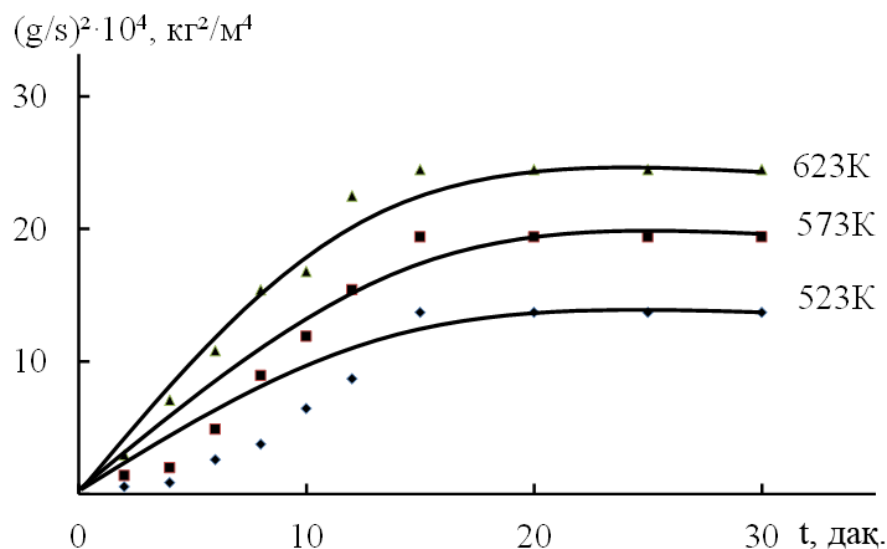
ба ингуна ташаккулёбии ин қабатҳо ночиз аст. Қонуни хаттӣ дар раванди оксидшавӣ ва ташаккулёбии пардаи оксидии сатҳӣ дар хӯлаҳо дар марҳилаҳои аввал то давомнокии 15 дақиқаи таҳқиқот ҳолати худро нигоҳ дошта, сипас коҳишёбии раванди оксидшавӣ амалӣ гардида, қонуниятӣ афзоиш дар пурра ташаккулёбии пардаҳои муҳофизатии сатҳӣ назаррас ба намуди гиперболий тағйир меёбад (расмҳо 4.1, 4.2).

Қиматҳои константаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи дучандаи $Zn_{0.5}Al$ (расм 4.1а) зимни муқоиса бо хӯлаҳои серийдошта дар ҳама ҳароратҳо хеле баландтар аст (расмҳо 4.1б,в). Вобастагии суръати оксидшавӣ аз ҳарорат барои хӯлаҳои 0.5 ва 1.0% серийдошта равшантар зоҳир мегардад, зеро афзоиши вазн ба воҳиди сатҳ назар ба хӯлаи дучанда як дараҷа камтар аст (расмҳо 4.1а, 4.2б,в). Таъсири мусбии иловаҳои серий дар ҳамаи консентратсияи он ба коҳишдиҳии оксидшавии хӯлаи дучанда назаррас аст. Хӯлаҳои $0.01 \div 0.1\%$ серийдошта суръати ҳадди ақалли раванди оксидшавиро дар ин системаҳои хӯла нишон медиҳанд (расмҳо 4.1, 4.2).

Барои тасдиқи механизми оксидшавӣ, қачхатҳои мураббаъ бо қиматҳои кинетикӣ раванди оксидшавӣ сохта шуданд. Аппроксиматсияи полиномиалии қачхатҳо далели мавҷудияти механизми гиперболаро дар раванди оксидшавӣ тасдиқ мекунад. Ҳангоми иловакунии Се ба хӯлаи металли дучандаи $Zn_{0.5}Al$ камшавии оксидшавӣ мушоҳида гардид. Нуқтаҳои таҷрибавӣ дар ҳамагуна қачхатиҳои мураббаъи оксидшавӣ барои таркиби таҳқиқшудаи хӯла хатҳои ростро дар координатаҳои $(g/s)^2-t$ нишон надоданд, яъне ба қонуниятӣ парабола мувофиқат накарданд, ки ин аз қонуниятӣ гиперболии механизми мураккаби оксидшавии хӯлаҳо шаҳодат медиҳад. Ин механизми оксидшавӣ аз дараҷаи тағйирёбӣ барои ҳар як таркиби хӯлаи таҳқиқшаванда вобаста аст (расм 4.3).

Бо зиёдшавии консентратсияҳои серий дар хӯла қимати суръати оксидшавӣ то андозае афзоиш меёбад ва амалан аз ҳарорат вобаста нест. Аз тарафи дигар, иловакунии микдорҳои гуногуни серий ба хӯла боиси зиёдкунии қиматҳои натиҷавии энергияи фаъолкунии ин раванд ва коҳишдиҳии константаи суръати оксидшавии он мегардад. Вале ин таври зиёдкунии суръати оксидшавӣ

дар мавриди хӯлаи асосӣ тамоман фарқ мекунад, зеро суръати оксидшавии ин хӯла ниҳоят баланд аст, ки иловаҳои серӣ онро паст мекунад (ҷадвал 4.1).



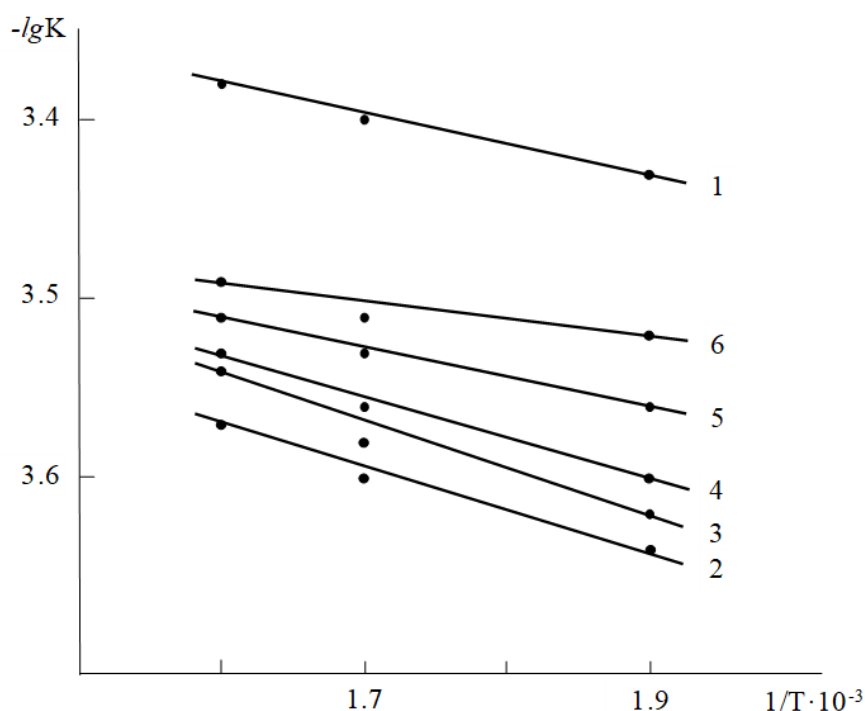
Расми 4.3. – Качхатҳои мураббаъи суръати оксидшавии хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{1.0}\text{Ce}$

Ҷадвали 4.1. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои оксидшавӣ дар хӯлаи бо серӣ ҷавҳаронидашудаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$

Нишондиҳандаҳои равандҳои оксидшавӣ	Иловаҳои серӣ дар хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Ҳарорат, К	523	523	523	523	523	523
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	3.68	2.27	2.41	2.50	2.75	2.99
Ҳарорат, К	573	573	573	573	573	573
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	3.91	2.48	2.63	2.73	2.93	3.11
Ҳарорат, К	623	623	623	623	623	623
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	4.11	2.66	2.87	2.91	3.02	3.26
Энергияи фаъолкунӣ $Q, \text{ кҶ}/\text{мол}$	168.4	186.9	184.0	180.7	176.8	175.0

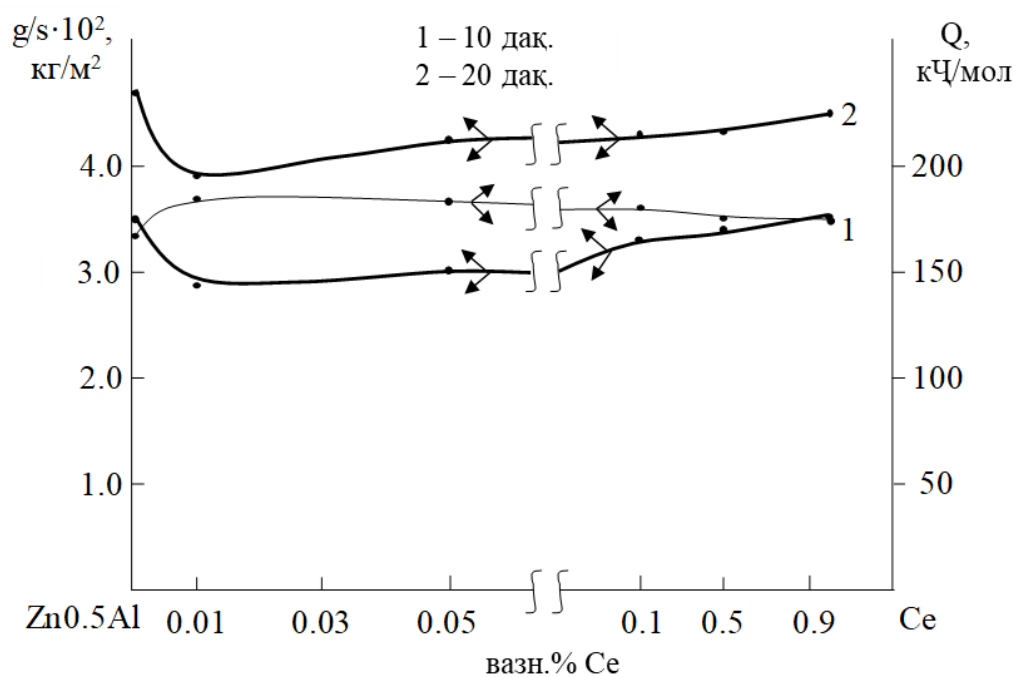
Муқоисаи қиматҳои энергияи фаъолкунӣ барои гузариши раванди оксидшавӣ, ки аз рӯйи кунҷи афтиши қачхатиҳои кинетикӣ ҳисоб карда шудаанд, барои ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ қимати 168.4 кҶ/молро ва барои ҳӯлаи 0.01% серийдошта қимати 186.9 кҶ/молро нишон медиҳад. Тамоюли коҳишёбии энергияи фаъолкунии ин раванд бо афзоиши консентратсияҳои серий дар ҳӯла мушоҳида мешавад, вале дар ниҳоят қиматҳои ин бузургӣ нисбати ҳӯлаи серийнадошта кам намешавад (ҷадвал 4.1).

Дар муқоиса қачхатиҳои дар расми 4.4 бо рақамҳои аз 1 то 6 ишорашуда бо қачхатиҳои оксидшавии рақамҳои 1 ва 2 дар изохрони сохташудаи расми 4.5 ишорашуда мувофиқати механизми тағйирёбии оксидшавии ҳӯлаҳоро хуб нишон медиҳанд. Камшавии суръати оксидшавиро бо ташаккулёбии пардаҳои ғафси муҳофизатӣ, ки дар сатҳи ҳӯлаҳо ҳосил шудаанд, асоснок кардан бамаврид аст. Ин ҳолати баёншуда бо таҳлили рентгенофазаӣ аз рӯйи натиҷаҳои таҳқиқи маҳсули оксидшавии ҳӯлаҳо тасдиқ шудааст. Натиҷаҳо ҳосилшавии пардаҳои оксидии муҳофизатии оддӣ ва мураккаби зеринро нишон медиҳанд: ZnO , Al_2O_3 , Ce_2O_3 , $Al_2O_3 \cdot Ce_2O_3$ ва $ZnAl_2O_4$ (расми 4.6).

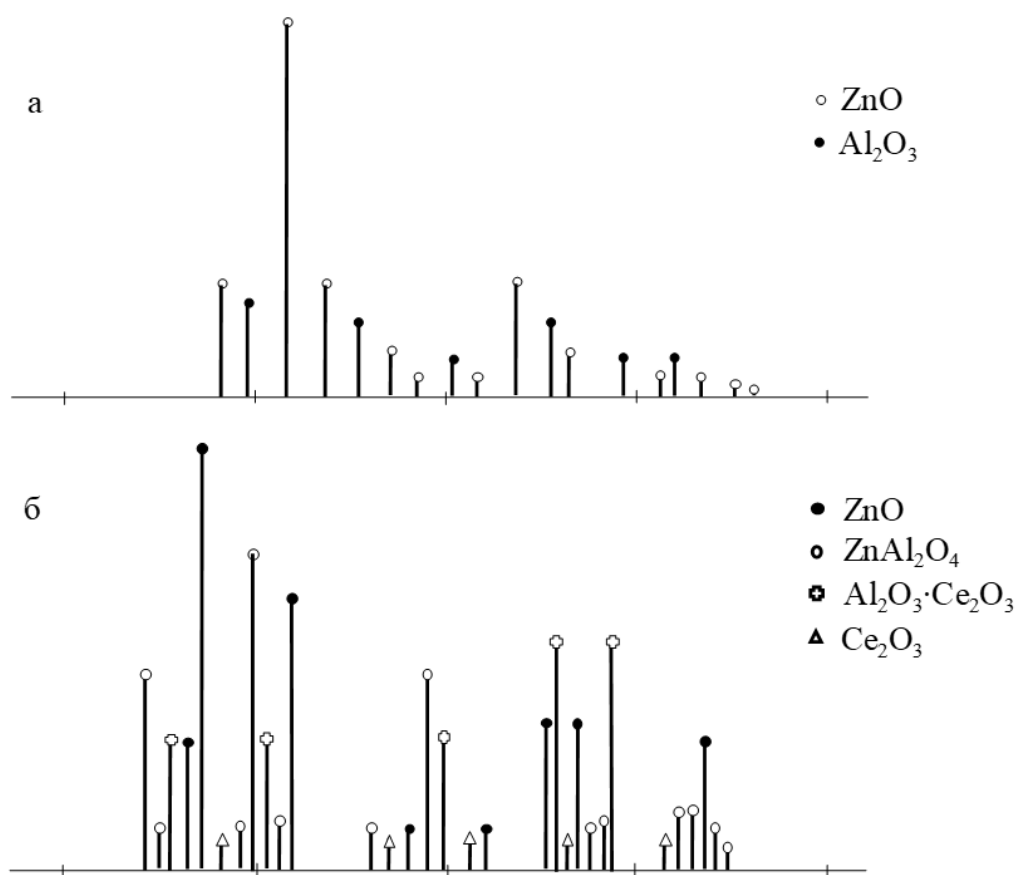


Расми 4.4. – Қачхатҳои $-lgK$ аз $1/T \cdot 10^{-3}$ барои ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al+Ce$, %-и вазн:

1 – $Zn_{0.5}Al$; 2 – 0.01Ce; 3 – 0.05Ce; 4 – 0.1Ce; 5 – 0.5Ce; 6 – 1.0Ce



Расми 4.5. – Графики изохронаи оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al-Ce



Расми 4.6. – Штрихрентгенограммаи оксидҳои содда ва мураккаб
ҳангоми оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al(а) бо 0.01%-и Ce(б)

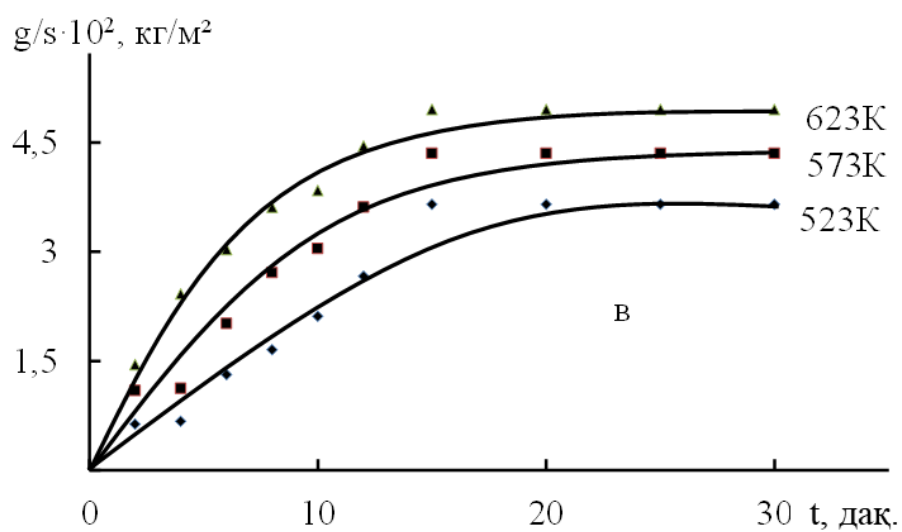
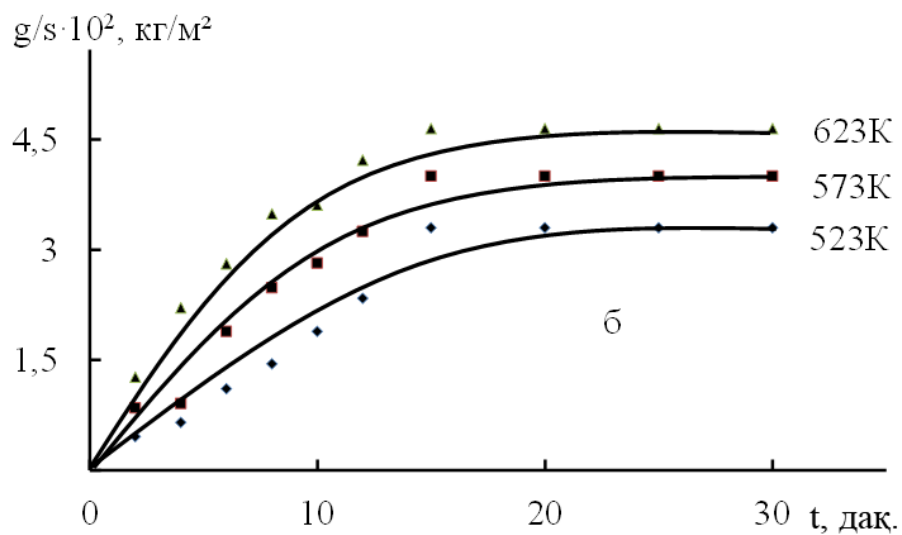
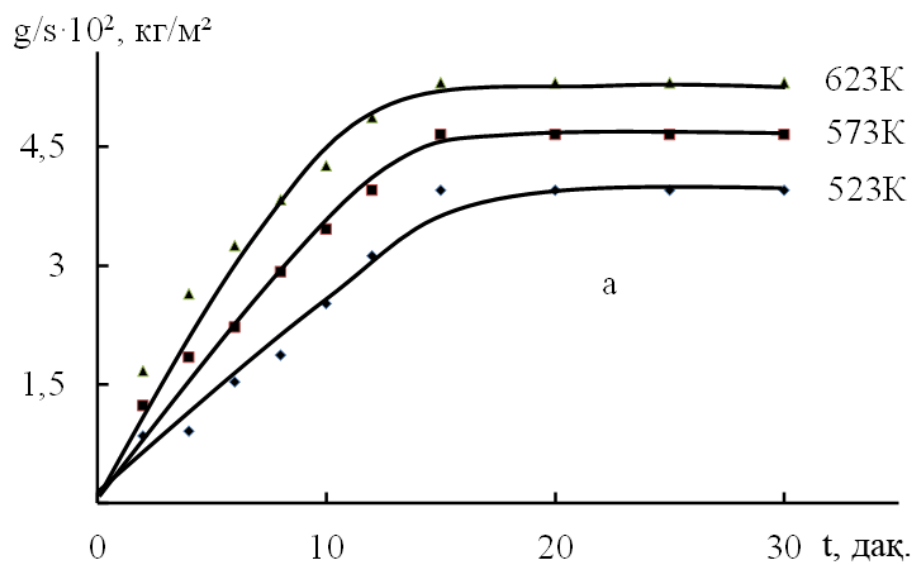
4.2. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо празеодим чавҳаронидашуда

Дар ин зербоб оид ба натиҷаҳои марбут ба таҷрибавӣ аниқкунии суръати раванди оксидшавӣ ва энергияи фаъолкунии ин раванд барои хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al$ -Pr, ки миқдорҳои прazeодим дар ин хӯла гуногун аст, вобаста ба вақти таҷрибагузаронӣ ва ҳарорати таҳқиқот пешниҳод шудаанд. Аз рафти оксидшавии ин хӯлаҳо дар ҳудудҳои ҳароратии таҳқиқот бармеояд, ки оксидшавии хӯлаҳои прazeодимдошта дар 12 дақиқаи оғозшавии раванди оксидшавӣ ба қонуниятҳои хаттӣ иттилоат мекунанд. Баъдан, оксидшавии хӯлаҳои прazeодимдошта механизми гиперболии оксидшавиро дар ин қатъҳои нишондодашуда таъкид мекунанд. Пас аз гузашти вақт (наздики 20 дақиқа), бо устуворшавии пардаҳои муҳофизатии ғафс зимни ташаккули бӯй дар сатҳ тағйирнаёбии оксидшавиро дар ҳаҷми рост барои ин хӯлаҳо нишон медиҳанд (расмҳо 4.7, 4.8).

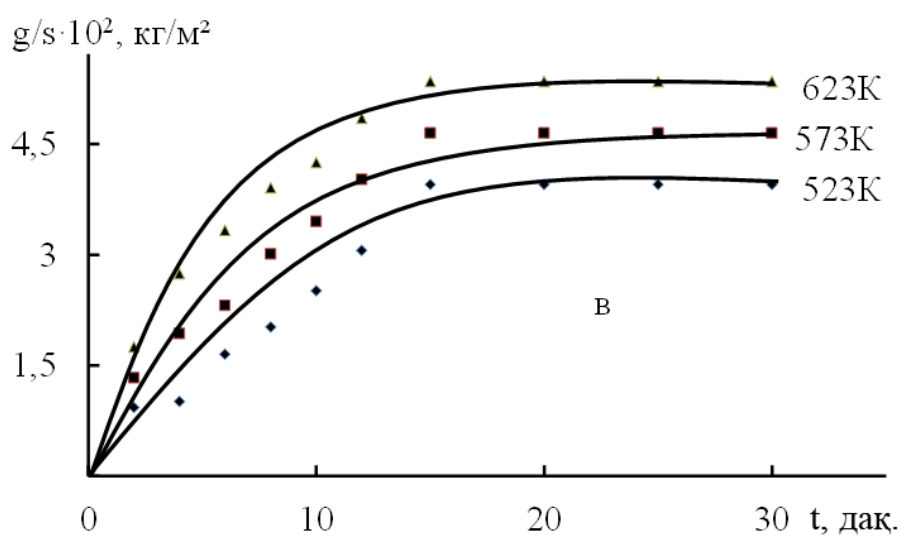
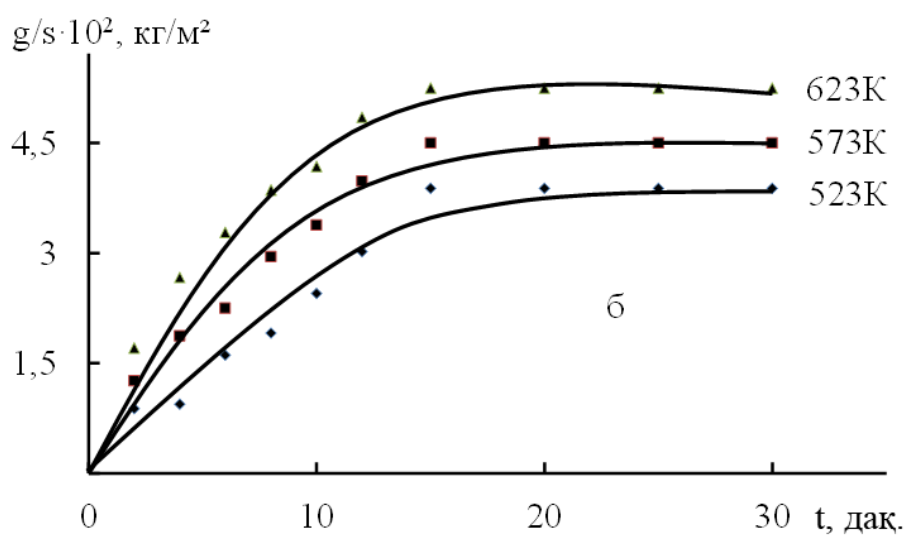
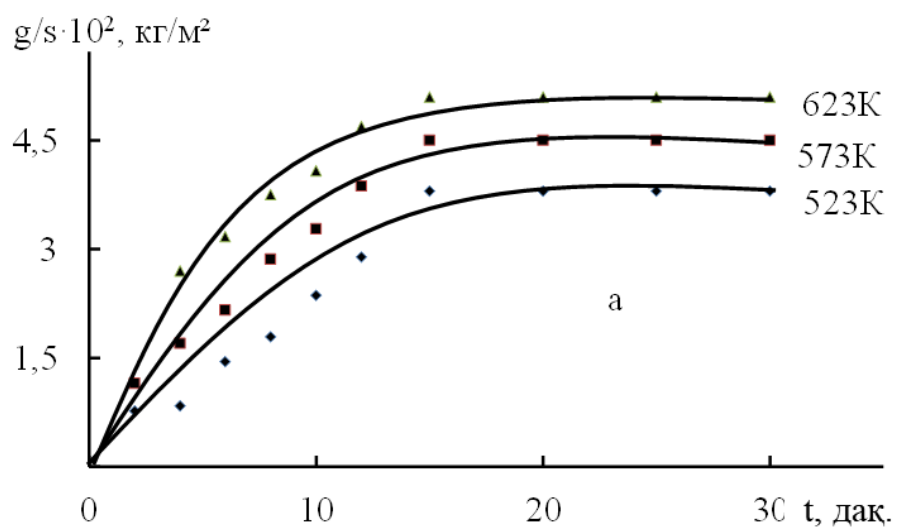
Ҳангоми таҳқиқоти хӯлаҳои прazeодимнадошта ва прazeодимдошта бо баландшавии ҳарорат афзоиши суръати оксидшавӣ ва тағйирёбии энергияи фаъолкунии раванд аз 168.4 то 183.6 кҶ/мол мушоҳида гардид. Тамоюли каме коҳишёбии ин энергия ба хӯлаи 0.5% прazeодимдошта хос аст. Аммо, суръати оксидшавии хӯлаи 1.0% прazeодимдошта аз суръати оксидшавии хӯлаи асосӣ зиёдтар аст, ки ин бевосита ба камшавии энергияи фаъолкунии раванд мусоид аст (ҷадвал 4.2).

Барои муайянкунии механизми оксидшавӣ графики оксидшавӣ дар қиматҳои мураббаъи ин раванд сохта шуд. Дар мисоли як хӯла дидан мумкин аст, ки механизми гиперболӣ дар қатъҳои мураббаъӣ зимни гузариши раванди оксидшавӣ барои ин хӯла инъикос меёбад (расм 4.9).

Дар изоҳроии оксидшавӣ қатъҳои 1 ва 2 вақтҳои 10 ва 20 дақиқаи оксидшавиро дар ҳарорати 573K аз рӯи таркибҳои хӯла нишон медиҳанд. Суръати оксидшавӣ дар хӯлаи 1.0% прazeодимдошта ба ҳадди аксар ва дар хӯлаи 0.01%Pr он ба ҳадди ақал мерасад. Чавҳаронии хӯла бо прazeодим оксидшавии хӯлаи асосиро дар ҳароратҳо ва вақтҳои таҷрибавӣ коҳиш медиҳад (расм 4.10).



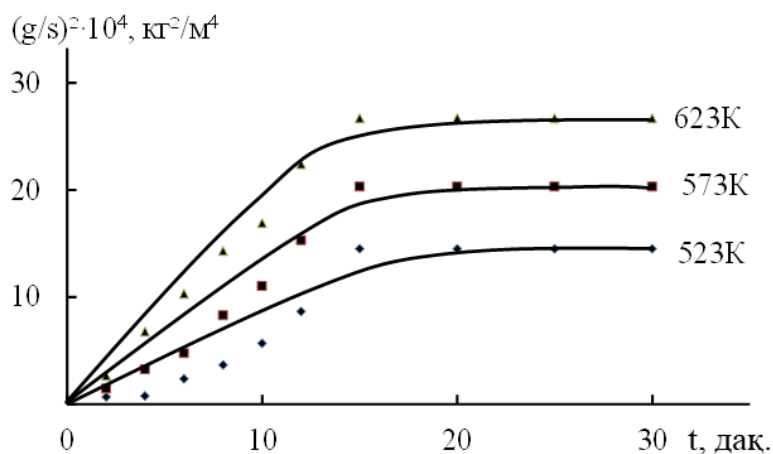
Расми 4.7. – Қачхатҳои суръати оксидшавии ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ (а),
ки бо 0.01 (б) ва 0.05% (в) празеодим чавҳаронидашуда



Расми 4.8. – Качхатҳои суръати оксидшавии ҳӯлаи Zn_{0.5}Al, ки бо 0.1 (а), 0.5 (б) ва 1.0% (в) празеодим чавҳаронидашуда

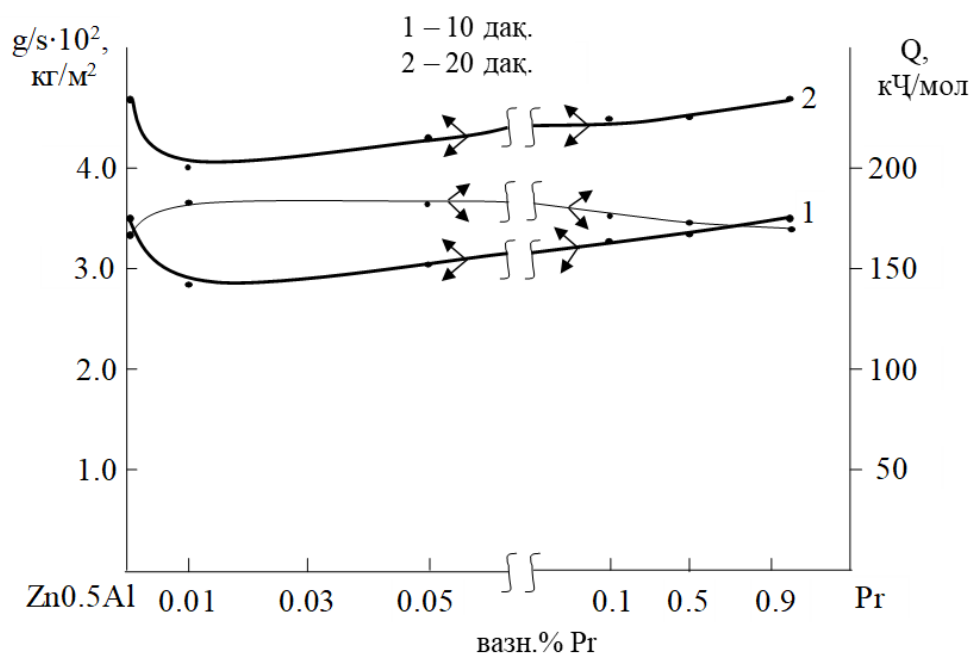
Ҷадвали 4.2. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандро оксидшавӣ дар хӯлаи бо празеодим ҷавҳаронидашудаи $Zn_{0.5}Al$

Нишондиҳандаҳои равандро оксидшавӣ	Иловаҳои празеодим дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Ҳарорат, К	523	523	523	523	523	523
Суръати ҳақиқӣ $K \cdot 10^4$, $кг/м^2 \cdot с$	3.68	2.42	2.51	2.72	3.06	3.26
Ҳарорат, К	573	573	573	573	573	573
Суръати ҳақиқӣ $K \cdot 10^4$, $кг/м^2 \cdot с$	3.91	2.62	2.71	3.00	3.29	3.51
Ҳарорат, К	623	623	623	623	623	623
Суръати ҳақиқӣ $K \cdot 10^4$, $кг/м^2 \cdot с$	4.11	2.77	2.86	3.10	3.44	3.76
Энергияи фаъолкунӣ Q , кҶ/мол	168.4	183.6	180.3	177.4	172.0	169.8

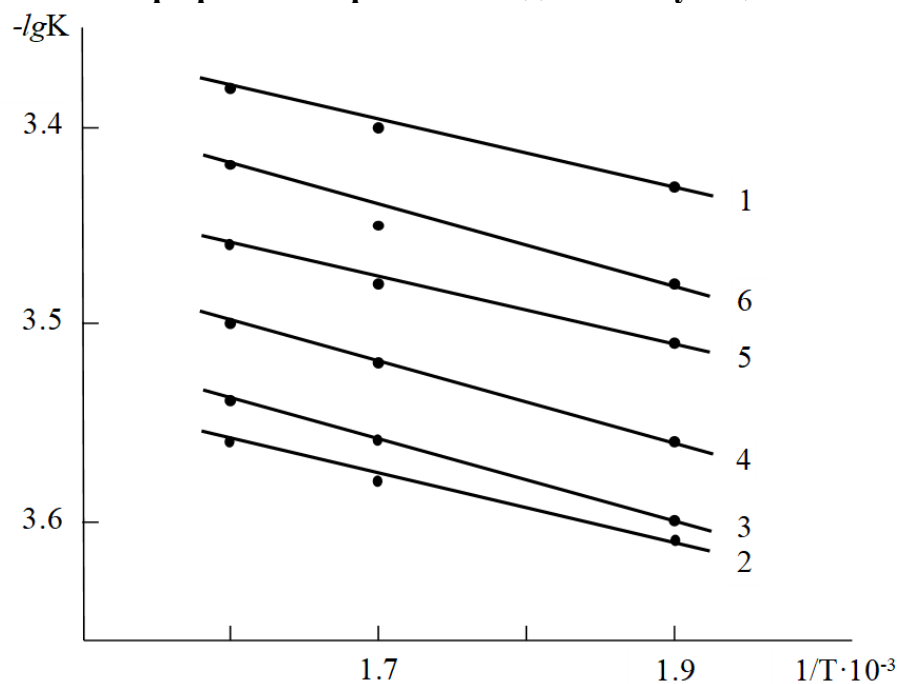


Расми 4.9. – Қачхатҳои мураббаъи суръати оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al_{1.0}Pr$

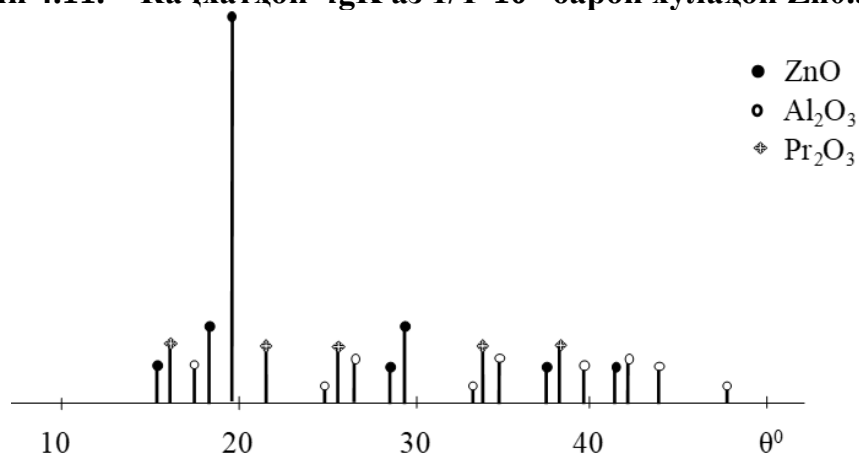
Хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бидуни празеодим қимати максималии суръати оксидшавӣ ва қимати минималии энергияи фаъолкунии ин равандро нишон медиҳад. барои гузариши раванди оксидшавӣ энергияи зиёди фаъолкунии ин раванд зарур аст (расмҳо 4.10, 4.11). Дар сатҳи хӯлаи 0.05% празеодимдошта маҳсули оксидшавӣ аз оксидҳои зерин иборат аст: ZnO , Al_2O_3 ва Pr_2O_3 (расм 4.12).



Расми 4.10. – Графики изохронаи оксидшавии хӯлаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al-Pr}$



Расми 4.11. – Қачхатҳои $-lgK$ аз $1/T \cdot 10^{-3}$ барои хӯлаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al-Pr}$



Расми 4.12. – Штрихтенограммай маҳсули оксидшавии хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.05}\text{Pr}$

Ҳамин тавр, дар кинетикаи чараёни оксидшавӣ ҳолати дисперсионӣ ва таркиби фазавии намунаҳои таҳқиқшавандаи хӯлаҳо нақши муҳим мебозанд. Баландбардории дараҷаи дисперсионӣ дар хӯлаҳои таҳқиқшаванда боиси афзоиши фаъолиии реаксионии онҳо мегардад, ки ин дар пастшавии ҳарорати оғози оксидшавии баландҳарорат ва коҳиш ёфтани саҳми энергияи фаъолкунии раванд чиддӣ зоҳир мешавад.

Майл ба оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо асосан аз рӯйи энергияи озод, ташаккулёбии оксидҳои мувофиқ, фаъолшавии сатҳӣ, суръати диффузияи компонентҳо дар таркиби хӯла ва дигар омилҳо муайян карда мешавад. Азбаски барои фаъолнокии самарани чунин рӯйпушҳои муҳофизатии хӯлагӣ дар ҳароратҳои баланди корӣ маълумот дар бораи кинетика ва энергияи самараноки раванди оксидшавӣ зарур аст. Ин хусусиятҳо имкон медиҳанд, ки речаи ҳароратии истифодабарии муносиби ҳар як хӯла-рӯйпуш дар соҳаи галваникунонии «гарм»-и пӯлоди карбондошта муайян шавад.

Мавриди қайд аст, ки диффузия дар тӯли ҳудуди донаҳо дар хӯлаҳо ҳамчун функцияи ҷобачошавии донаҳо амал мекунад, бинобар ин, ҳангоми омӯзиши оксидшавӣ, ҷобачошавии донаҳои оксид дар қабат ё пардаи оксидӣ низ бояд ба назар гирифта шавад. Ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо ва афзоиши қабати зичии оксидӣ, диффузия дар тӯли ҳудуди донаҳо бо пастшавии ҳарорат аҳамияти бештар пайдо мекунад. Инро бо чанд сабаб шарҳ додан мумкин аст: энергияи фаъолкунии диффузия дар тӯли ҳудуди донаҳо назар ба энергияи фаъолкунии диффузияи ҳаҷмӣ камтар аст; бо пастшавии ҳарорат, андозаи кристаллитҳои оксидҳо хурдтар мешавад, ки дар натиҷа масоҳати умумии ҳудуди донаҳо зиёд мегардад. Яке аз омилҳои дигари таъсиррасон ин миқдори празеодим дар хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ мебошад, ки ҳангоми оксидшавӣ метавонад ба афзоиш ё коҳиши суръати оксидшавӣ оварда расонад. Дар ин маврид, раванди оксидшавӣ ба қонуни кинетикии расмии гипербола итоат мекунад, ки марҳилаи муайянкунандаи он чараёни диффузионӣ дар дохили қабати оксидӣ мебошад. Ин қонуниятро тавассути таҳлили тағйироти энергияи фаъолкунӣ омӯхтан мумкин аст, зеро он баръакс мутаносиб ба суръати оксидшавии хӯлаҳо вобаста аст.

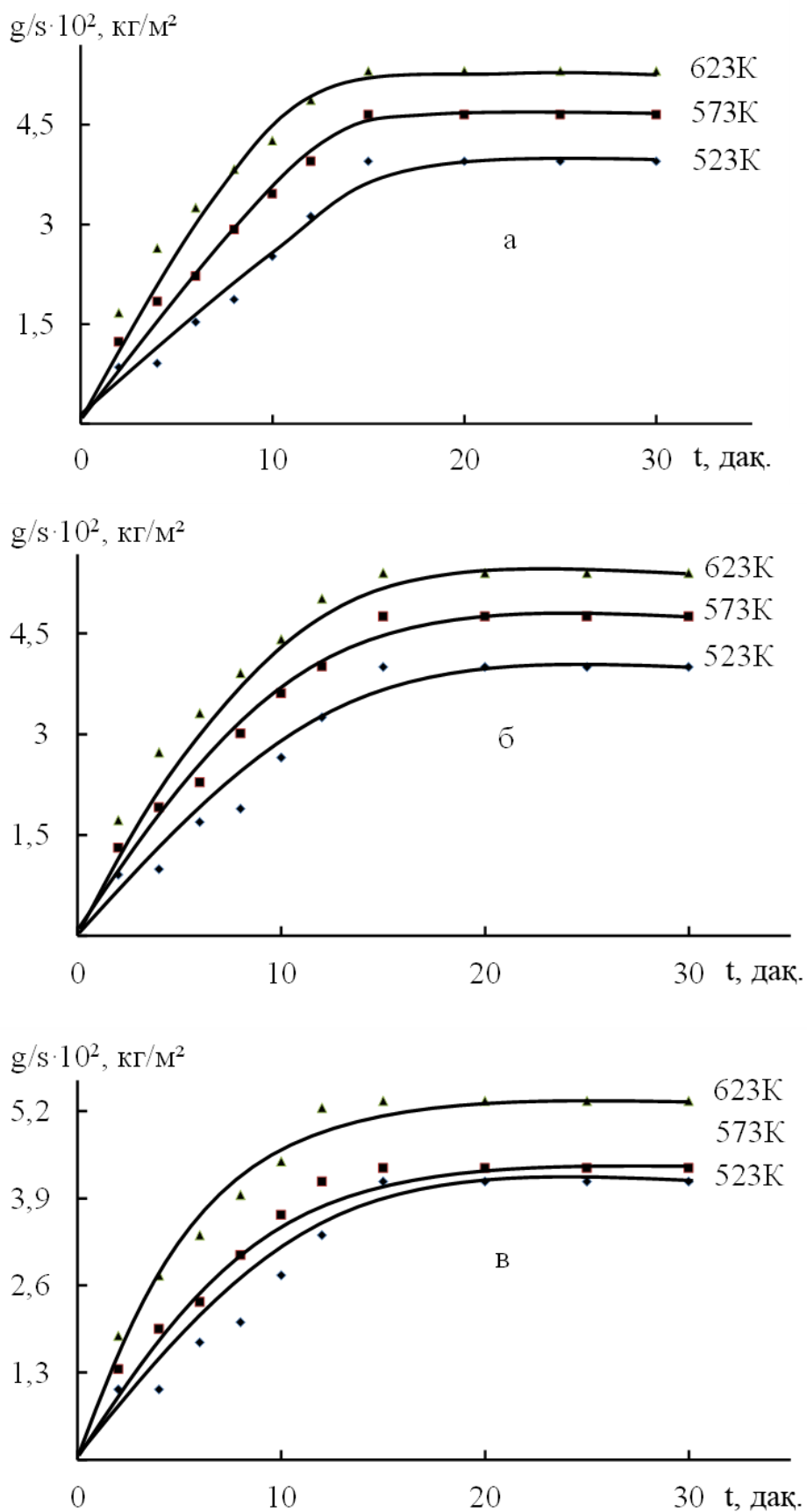
4.3. Оксидшавии баландҳароратии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо неодим чавҳаронидашуда

Хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ -ро бо неодим чавҳаронӣ карда, оксидшавии ин хӯлаҳоро дар ҳудудҳои ҳароратии 523-623K таҳқиқ намудем. Марҳилаҳои ибтидоии раванд бо ташаккули пардаҳои тунук дар сатҳи хӯлаҳо оғоз гардида, ин нуқтаҳои таҷрибавӣ дар хати рост бо қонуниятҳои хаттӣ ба речаи кинетикии оксидшавӣ мувофиқ мебошанд. Суръати оксидшавӣ ҳангоми баҳамтаъсирии хӯлаҳои таҳқиқшаванда бо ҳаво миёни хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ва хӯлаҳои неодимдошта дар ҳама ҳароратҳо фарқ мекунад, ки барои хӯлаҳои неодимдошта каме баландтар аст. Бо баландшавии ҳарорат вазни сатҳии намунаҳои хӯла дар марҳилаи 15 дақиқаи аввал афзоиш меёбад. Бо ғафсшавии қабати муҳофизатии оксидӣ ин раванд зудтар қатъ мегардад. Качхатиҳои оксидшавӣ барои ҳар як намунаи хӯла хусусияти гиперболии равандро нишон доданд (расм 4.13, 4.14).

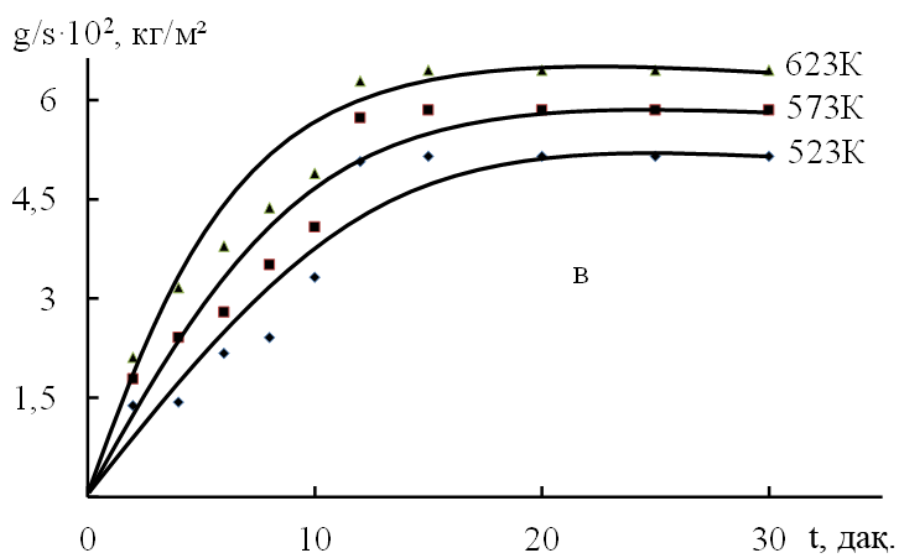
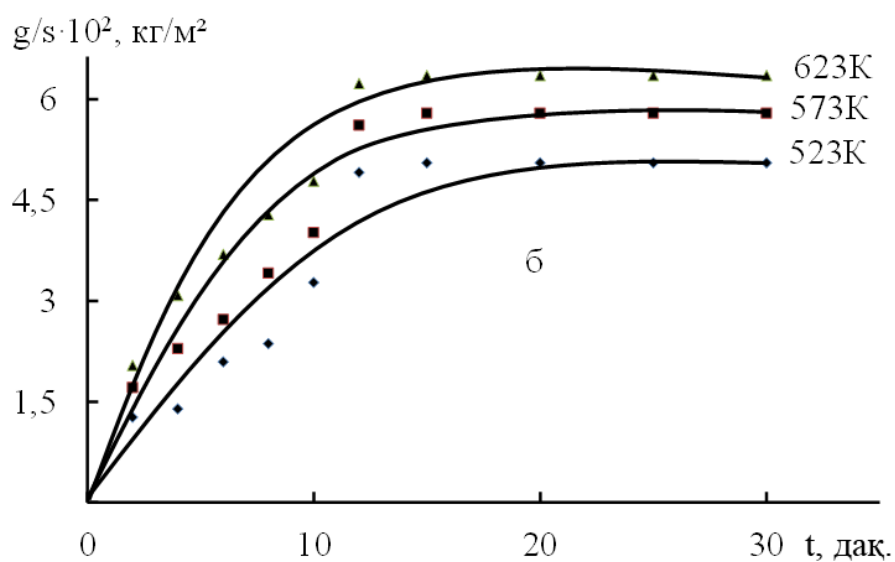
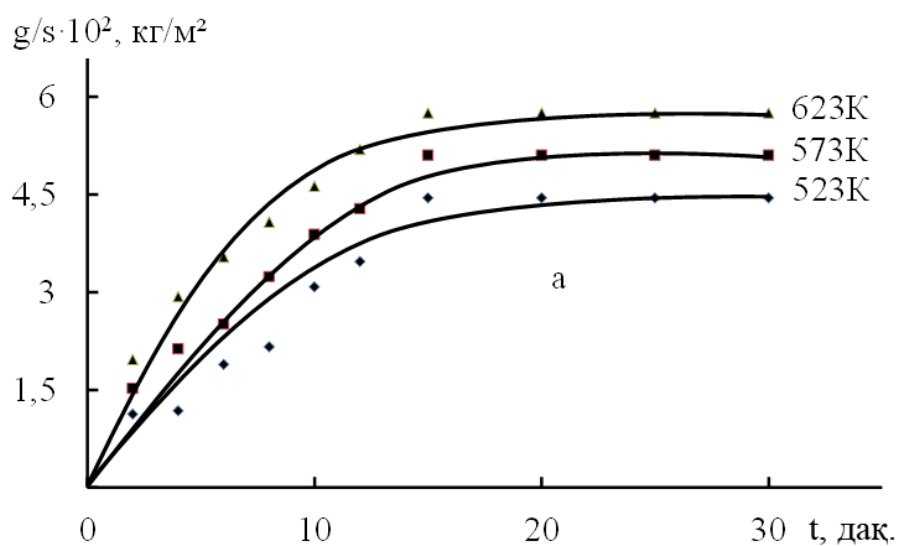
Баландшавии ҳарорат ба афзоиши суръати оксидшавии ҳамаи хӯлаҳои таҳқиқшуда оварда мерасонад, ки ин ҳолат дар афзоиши миқдорҳои неодими дар хӯла буда низ дида мешавад (расмҳо 4.13, 4.14). Инро инчунин вобастагии миёни энергияи фаъолкунии раванд ва суръати оксидшавии он тасдиқ мекунад. Ин қонуниятро метавон бо хусусияти сохтори қабати сатҳӣ ва қобилияти адсорбсионии элементи чавҳаронӣ низ шарҳ дод.

Качхатиҳои оксидшавии хӯлаи мазкур дар координатаҳои графики мураббаъи ин раванд хатҳои ростро нишон намедиханд (расм 4.15), ки ин мувофиқати механизми раванд ба гипербола хос аст. Ин вобастагӣ инчунин барои дигар хӯлаҳо низ хос мебошад. Муодилаҳои математикии полиномҳои ин қатъҳо дар ҷадвали 4.6 оварда шудааст.

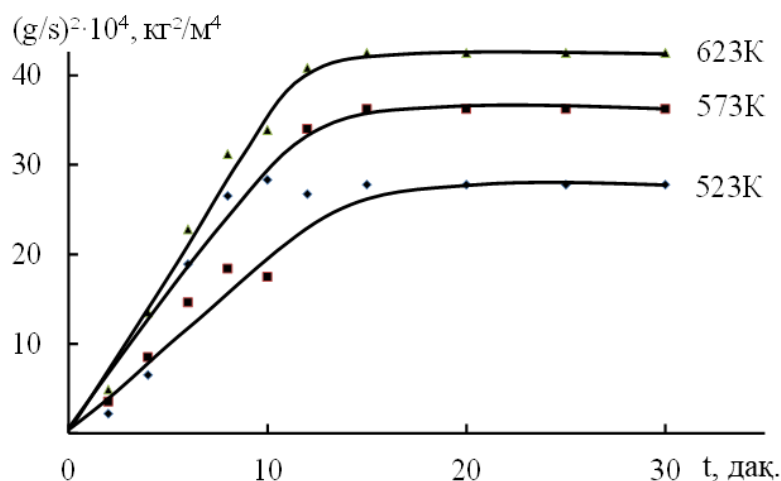
Аз муқоисаи нишондиҳандаҳои равандҳои оксидӣ бармеояд, ки ҳар қадар миқдори неодим дар хӯлаи асосӣ зиёд бошад, ҳамон қадар суръати оксидшавии он баландтар ва энергияи фаъолкунии раванд пасттар мешавад. Ин махсусан дар мавриди хӯлаи 1.0% неодимдошта возеҳ мушоҳида мегардад. Ҳам барои хӯлаи асосӣ ва ҳам барои хӯлаҳои неодимдошта суръати оксидшавӣ бо баландшавии ҳарорат меафзояд (ҷадвал 4.3, расм 4.16).



Расми 4.13. – Качхатҳои суръати оксидшавии хӯлаи Zn_{0.5}Al (а),
ки бо 0.01 (б) ва 0.05% (в) неодим ҷавҳаронидашуда



Расми 4.14. – Қачхатҳои суръати оксидшавии ҳўлаи Zn_{0.5}Al, ки бо 0.1 (а), 0.5 (б) ва 1.0% (в) неодим ҷавҳаронидашуда

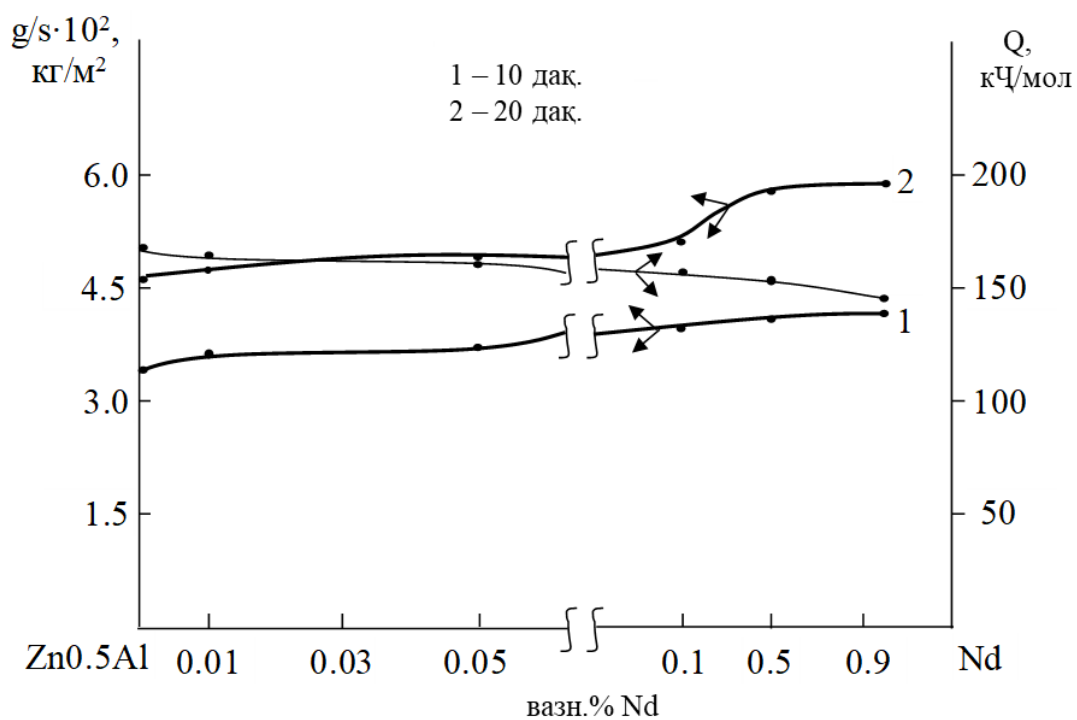


Расми 4.15. – Качхатҳои мураббаъи суръати оксидшавии хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{1.0}\text{Nd}$

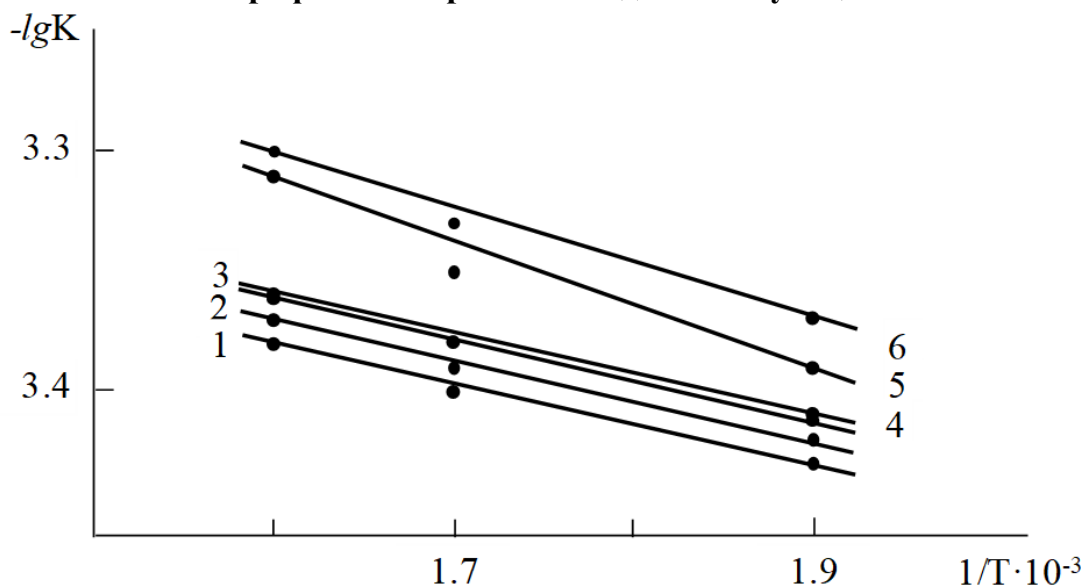
Ҷадвали 4.3. – Тағйирёбии нишондиҳандаҳои равандҳои оксидшавӣ дар хӯлаи бо неодим чавҳаронидашудаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$

Нишондиҳандаҳои равандҳои оксидшавӣ	Иловаҳои неодим дар хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$, %-и вазнӣ					
	-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Ҳарорат, К	523	523	523	523	523	523
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	3.68	3.72	3.83	3.87	4.07	4.18
Ҳарорат, К	573	573	573	573	573	573
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	3.91	3.99	4.04	4.16	4.50	4.67
Ҳарорат, К	623	623	623	623	623	623
Суръати ҳақиқӣ $\text{К} \cdot 10^4, \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	4.11	4.17	4.28	4.35	4.91	5.00
Энергияи фаъолкунӣ $Q, \text{кҶ}/\text{мол}$	168.4	165.3	160.6	157.2	152.0	145.9

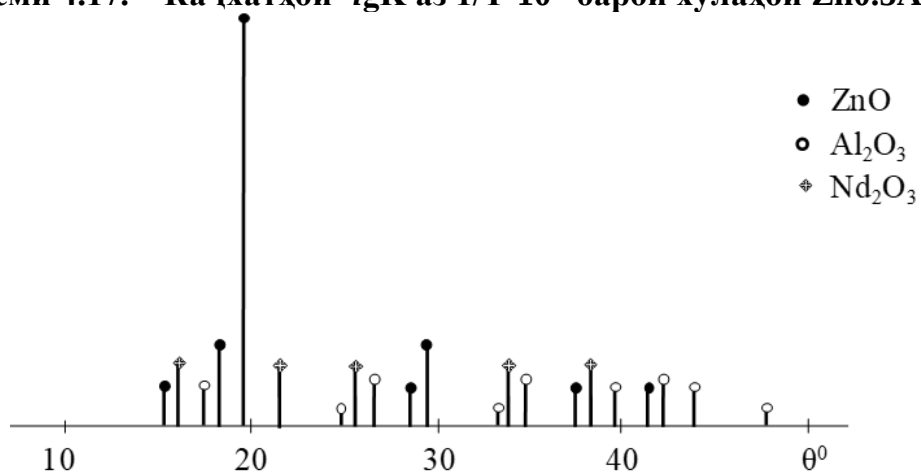
Качхатҳои 2-6 энергияи фаъолкунии раванди оксидшавиро барои хӯлаҳои гуногуни неодимдошта нишон медиҳанд. Качхати 1 бошад ба $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ хос аст. Барои хӯлаҳои неодимдошта коҳишёбии энергияи фаъолкунии ин раванд дида шуда (расм 4.17), маҳсули оксидшавӣ: ZnO , Al_2O_3 ва Nd_2O_3 (расм 4.18).



Расми 4.16. – Графики изохронаи оксидшавии хӯлаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al-Nd}$



Расми 4.17. – Качхатҳои $-lgK$ аз $1/T \cdot 10^{-3}$ барои хӯлаҳои $\text{Zn}_{0.5}\text{Al-Nd}$



Расми 4.18. – Штрихрентгенограммаи маҳсули оксидшавии хӯлаи $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{Nd}$

Умуман, дар сатҳи хӯла ҳангоми ҳароратҳои баландтарин қабатҳои оксидии миёнамустаҳкам ташаккул меёбанд, ки онҳоро бо хурдтарин қимати тавсеаи ҳаттӣ тавсиф мекунанд. Яке аз далелҳои муҳимро метавон дар мисоли таъсири як қатор омилҳо ва шиддатҳои дохилӣ ба шикасти қабати оксидӣ ва ташаккули шароит барои ҷараёни реаксияи оксидшавии баландҳароратӣ нишон дод. Далели дигар ин дараҷаи тозагии ҳар як компоненти таркиби хӯлаҳо мебошад, зеро дар системаҳои бисёркомпонентӣ механизми ҷараёни оксидшавӣ хеле мураккаб аст. Дар ин ҳолат, муҳим аст, ки аввал равандҳои синтези хӯлаҳоро ҳангоми ташаккули маҳлули саҳт, эвтектика ё дигар пайвастагиҳо таҳлил кунем. Ҳамзамон, нақши муҳими безътирозро маҳсули гуногуни оксидшавии хӯлаҳо, концентратсияи металлҳо дар хӯла, хусусияти онҳо ва таъсири онҳо ба O_2 ва ғайра мебозанд.

Таҳлили шабоҳати натиҷаҳои афзоиши вазн (расм 4.13-4.15) ва афзоиши оксидҳо (расм 4.18) нишон медиҳад, ки раванди оксидшавӣ асосан ба афзоиши қабати оксидҳо баробар аст. Дар ҷараёни афзоиш, ки суръати он бо суръати диффузия муайян карда мешавад, ғафсии қабатҳои гуногун аз суръати нисбии диффузия дар онҳо ва градиенти концентратсияи химиявӣ вобаста аст. Агар диффузия тавассути як қабат бо суръати баланд ҷараён гирад, он қабат нисбатан ғафс мешавад. Баръакс, агар суръати диффузия дар қабат нисбат ба суръати он дар фазаҳои ҳамсоя хеле хурд бошад, ғафсии қабат метавонад чунон ночиз бошад, ки онро таҷрибавӣ муайян кардан мушкул аст. Илова бар ин, агар вобастагии ҳароратии афзоиши қабатҳои гуногун яксон набошад, ғафсии нисбии қабатҳо ҳамчун функцияи ҳарорат амал мекунад.

Дар мисоли оксиди ZnO бояд қайд кард, ки буғҳои ноустувори руҳ бо оксиген вокуниш карда, зарраҳои ZnO ҳосил мекунанд, ки онҳо дар оксиди ковокии неодим таҳшин шуда, ба он ворид мешаванд. Бо ташаккули ZnO , ковокиҳо ва тарқишҳо тадриҷан пур мешаванд, ки дар натиҷа як қабати зичи берунии ZnO ташаккул меёбад. Баъди анҷоми ин марҳила, қабати ZnO ҳамчун пардаи муҳофизатӣ амал карда, суръати оксидшавӣ минбаъд бо суръати диффузияи руҳ тавассути қабати ZnO муайян карда мешавад.

4.4. Таҳлили натиҷаҳои таҳқиқот

Маълумот оид ба устувории пайвастагиҳои металлӣ шаҳодат аз он медиҳад, ки амалан ҳеҷ як металл ё ҳӯла дар муҳити газӣ комилан инертӣ боқӣ наместонад. Пайгириро, назарияи кинетикӣ пеш аз ҳама суолот оиди рафти реаксияро дар тӯли вақт баррасӣ мекунад, яъне вазифаи аввал ба ҷустуҷӯи баҳамалоқамандӣ байни суръати оксидшавӣ ва вақт равона шудааст. Вазифаи дуввум ба баррасии суол оиди дар кадом дараҷаи руйпӯш, ки ҳангоми таъсири мутиақобилаи металлҳо ё ҳӯлаҳо бо газ ба вуҷуд меоянд, қобилиятнокии муҳофизатии он мавҷуд аст, бахшида шудааст. Ба ибораи дигар, дар ин ҷо метавон ба суол оиди механизм ва суръати афзоиши ташаккули қабати оксидӣ дучор шуд.

Механизми оксидшавӣ хусусиятҳои оксидшавии қабатҳои оксидиро барои ҳамагуна ҳамгириҳои металл-газ; таркиб ва сохтори пайвастагиҳои устуворе, ки дар чунин ҳамгирӣ ташаккул меёбанд; ҳолати энергетикӣ дар сатҳи марз; ҳолати энергетикӣ дар дохили мавод ва пайвастагиҳои металиро дар сатҳ, ки дар шароити оддӣ дар дохили мавод ноустувор мебошанд, дар бар мегирад.

Дар раванди оксидшавии баландҳарорат, хусусият ва суръати оксидшавӣ аз омилҳои зиёде вобаста мебошанд. Аз байни омилҳо муҳимтарини онҳо ин коркарди сатҳ, таркиби муҳит, сохтор, ҳарорат, вақт ва таркиби компонентҳои ҳӯла мебошанд. Азбаски оксидшавӣ дар асл як ҳодисаи сатҳӣ аст, зарур аст, ки ба омодагии сатҳи намунаҳо ҳангоми гузаронидани таҷрибаҳо диққати зиёд дода шавад. Одатан барои ингуна таҷрибаҳо намунаҳои зиёде лозиманд, бинобар ин муҳим аст, ки усули омодагии онҳо содда ва такроршавандагии натиҷаҳо таъмин кунад. Барои санҷиши бунёдӣ, дар ҳолати идеалӣ бояд чунин шароите мавҷуд бошад, ки зимни тайёркунии намунаҳо набояд пардаҳои оксидӣ дар сатҳи онҳо ҳосил шаванд, ки ба равиши оксидшавӣ ҳангоми гузаронидани таҷрибаҳо таъсиррасон бошанд. Суръати оксидшавии сатҳи бодикқат коркардшудаи ҳӯла (махсусан дар марҳилаи ибтидоӣ) нисбат ба сатҳи ноҳамвор камтар аст.

Қаҷхатиҳои вобастагии суръати оксидшавӣ аз вақт ва ҳароратро метавон бо як муодилаи соддаи логарифмӣ, кубӣ, параболӣ, хаттӣ, гиперболӣ ё асимптотӣ

тавсиф намуд. Намуди вобастагӣ бо ғафсии оксидҳо муайян мешаванд, яъне вақт ва ҳарорат, зеро изотермаи додашударо метавон зимни гузариш аз як вобастагии вақт ба дигараш мушоҳида кард. Барои пардаҳои тунук вобастагиҳои логарифмӣ ва кубии суръати оксидшавӣ аз вақт бартарӣ доранд. Барои пардаҳои ғафс вобастагиҳои параболӣ, хаттӣ ва гиперболӣ хосанд. Дар ин маврид, натиҷаҳои оксидшавӣ зимни таҳқиқи хӯлаҳои ҷавҳаронишуда нишон медиҳанд, ки нуқтаҳои таҷрибавӣ дар қачхатиҳои мураббаъии кинетикӣ хатҳои ростро дар координатаҳои $(g/s)^2-t$ нишон надоданд (расмҳо 4.3, 4.9, 4.15), яъне ба қонуни парабола мутобиқат намекунанд, ки ин аз вобастагии гиперболии оксидшавии хӯлаҳо дар тӯли вақт шаҳодат медиҳад. Раванди оксидшавӣ аз дараҷаи n мувофиқи $y=Kt^n$ барои ҳар як хӯлаи таҳқиқшуда вобаста аст (ҷадвал 4.4).

Ҷадвали 4.4. – Полиномҳои қачхатҳои кинетикии аппроксиматсияшудаи оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои Ce , Pr ва Nd

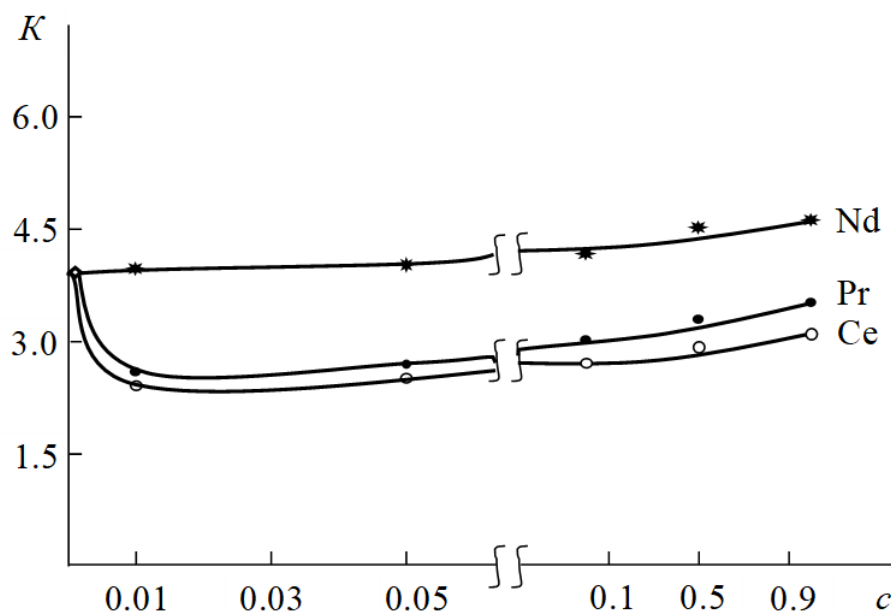
Иловаи металл дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорат, К	Муодилаи полиномиалии қачхатҳои оксидшавии намунаҳои хӯла	Зариби регрессия, R^2
-	523	$g_s = -0.001t^4 - 0.001t^3 + 0.010t^2 - 0.176t$	0.9870
	573	$g_s = -0.001t^4 - 0.001t^3 + 0.020t^2 - 0.471t$	0.9854
	623	$g_s = -0.001t^4 - 0.001t^3 + 0.044t^2 - 0.786t$	0.9813
1.0Ce	523	$g_s = -0.001t^4 - 0.011t^3 + 0.237t^2 - 0.244t$	0.9962
	573	$g_s = -0.001t^4 - 0.015t^3 + 0.268t^2 - 0.687t$	0.9941
	623	$g_s = -0.001t^4 - 0.018t^3 + 0.307t^2 - 0.899t$	0.9980
1.0Pr	523	$g_s = -0.001t^4 - 0.021t^3 + 0.359t^2 - 0.330t$	0.9970
	573	$g_s = -0.001t^4 - 0.023t^3 + 0.370t^2 - 0.759t$	0.9955
	623	$g_s = -0.001t^4 - 0.024t^3 + 0.381t^2 - 0.968t$	0.9983
1.0Nd	523	$g_s = -0.001t^4 - 0.024t^3 + 0.272t^2 - 0.422t$	0.9974
	573	$g_s = -0.001t^4 - 0.028t^3 + 0.338t^2 - 0.612t$	0.9950
	623	$g_s = -0.001t^4 - 0.033t^3 + 0.354t^2 - 0.931t$	0.9971

Ҳангоми баррасии оксидшавии таркибҳои хӯла, пеш аз ҳама мақсаднок аст, ки муқоисаи энергияи фаъолкунии ташаккули пайвастагӣҳо дар шакли пардаҳои муҳофизатии зимни оксидшавӣ бавучудоянда ва мавҷудияти онҳо дар баррасии ҳарорати муайян имконпазир бошад, муайян карда шавад, ки кадом аз таркиб ё компонентҳои хӯла назар ба дигараш бо шиддат оксид мешавад. Илова ба ин, барои баҳодиҳии сифатии дараҷаи тағйирёбии консентратсияи компонентҳои хӯла дар сатҳ метавон аз қиматҳои муқоисавии суръати оксидшавӣ ва энергияи фаъолкунии тамоми раванд истифода намуд. Барои маълумкунии ин қонуният изохрон сохта шуд, ки тағйироти динамикиро дар қиматҳои таҷрибавӣ ҳосилшудаи суръати оксидшавӣ ва энергияи фаъолкунӣ дар давоми вақт (10 ва 20 дақиқа) ва ҳарорати миёна (573K) нишон медиҳад. Тибқи маълумоти изохрони сохтасуда, таъсири Ce, Pr ва Nd ба оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо консентратсияҳои $0.01 \div 0.1\%$ самаранок аст. Бо ин консентратсияҳо инчунин энергияи фаъолкунии раванди оксидшавӣ низ самаранок тағйир меёбад. Гарчанде, ки таркибҳои дигари хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда низ равиши раванди оксидшавиро мусбӣ тағйир медиҳанд, вале аз рӯи қиматҳои аниқшудаи мутлақи худ ба таркиби $Zn_{0.5}Al$ наздик мебошанд (расмҳо 4.5, 4.10, 4.16).

Таҳлили қиматҳо, ки аз рӯи қиматҳои ҳисобшудаи K ва Q ҷамъбандӣ шудаанд, баҳодиҳии устувории хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ -ро, ки бо Ce ва Pr ҷудоғона ҷавҳаронида шудааст, ба оксидшавӣ имконпазир мекунад. Ҳамингуна қиматҳои мутлақи нишондиҳандаҳои равандҳои оксидшавӣ, ки гуногунанд, новобаста аз он, ки дар шароити таҷрибавии якхела аниқ шудаанд, ба таври назаррас фарқ мекунанд. Хӯлаҳои бо Nd ҷавҳаронидашуда хусусияти ноустуворро ба оксидшавӣ нишон медиҳанд. Энергияи зарурии фаъолкунии раванд барои хӯлаҳо мувофиқи схема зиёд мешавад: $Nd \rightarrow Pr \rightarrow Ce$ (расм 4.19, ҷадвал 4.5).

Дар пайдарҳамии элементҳои зергурӯҳи серий радиусҳои атомӣ ва ионҳои онҳо зиёд мешаванд; потенциалҳои ионизатсия ва гармии ташаккули оксидҳо коҳиш меёбанд. Натиҷаҳои оксидшавии хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи сечанда баландшавии оксидшавиро тибқи гузариш аз серий ба празеодим ва неодим нишон медиҳанд. Мушоҳида шудааст, ки суръати оксидшавии хӯла

мутаносибан бо афзоиши консентратсияи ин элементҳо меафзояд. Серий ва празеодим оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ -ро ба таври назаррас коҳиш медиҳанд, аммо дар мавриди неодим бошад, баръакси ин ҳолат оксидшавии хӯлаҳои неодимдошта зиёдтар мешавад (расми 4.19).



Расми 4.19. – Графики суръати оксидшавии ($K \cdot 10^4$, кг/м²·с) ҳангоми муқоисаи хӯлаҳои чавҳаронидашудаи $Zn_{0.5}Al$ -Ce(Pr,Nd) (c , %-и вазн)

Дар ин таҳқиқот, пас аз марҳилаҳои ибтидоӣ, қонунҳои хаттии оксидшавӣ асосан ба вобастагиҳои гиперболикӣ мегузаранд. Суръати раванд каме кам мешавад (ҷадвал 4.1, 4.2), ки ин бо ташаккулёбии қабати оксидҳои содда ва мураккаби таҷрибавӣ муайяншуда (расми 4.20) ба раванди оксидшавии баландҳароратӣ алоқаманд аст. Дар ин ҳолат, суръати раванд аллақай бо суръати диффузия маҳдуд мешавад. Коҳиши суръат ва гузариши марҳилаи ибтидоии хаттӣ ба гиперболикӣ, аз қачхатҳо (расмҳо 4.1, 4.2, 4.7, 4.8) дида мешавад, бо ташаккулёбии як қатор оксидҳо (расм 4.20) шарҳ дода мешавад.

Натиҷаҳои таҷрибавии гузаронидашуда бо маълумоти [53], ки дар шароити якхела (523–623K, 1 соат) барои хӯлаҳои гуногуни Zn-Al, ки дар таркибашон Ce, Pr ва Nd доранд, муқоиса карда шуд. Таҳлили маълумоти пешниҳодшуда нишон медиҳад, ки аз ҳамаи элементҳои чавҳаронии хӯлаҳои гуногуни Zn-Al, элементҳои серий ва празеодим дорои баландтарин қимати энергияи фаъолкунии

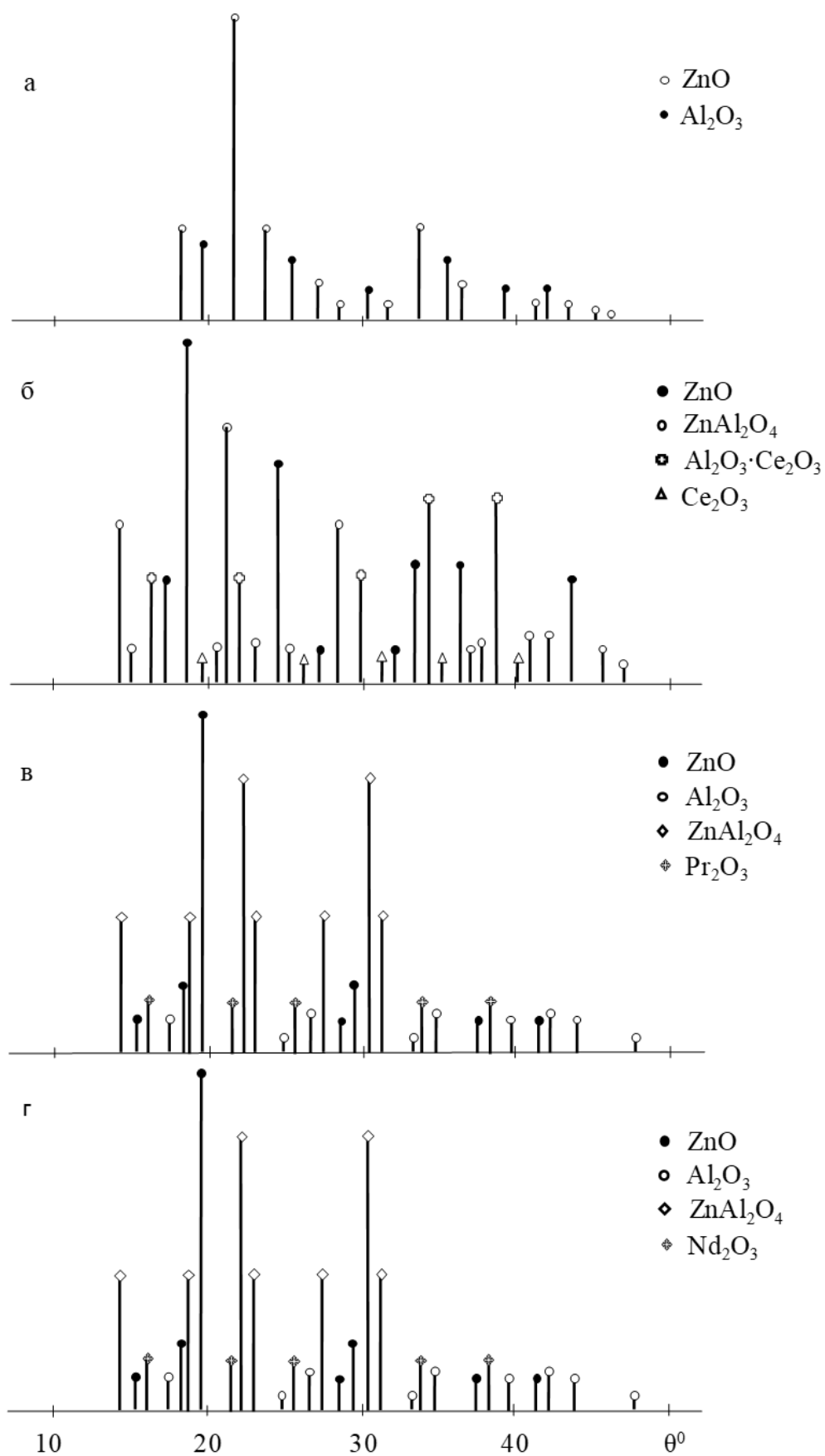
раванди оксидшавӣ буда, ба элементи неодим бошад пасттарин қимати ин бузургӣ хос аст. Бар асоси ин бузургии муқоисашуда тартиби ҷойгиршавии ҳӯлаҳои гуногуни Zn-Al: $\text{Zn}_{55}\text{Al} \rightarrow \text{Zn}_{0.5}\text{Al} \rightarrow \text{Zn}_5\text{Al}$ ва элементҳои ҷавҳаронии ҳӯла чунин аст: $\text{Ce} \rightarrow \text{Pr} \rightarrow \text{Nd}$ (ҷадвал 4.5).

Ҷадвали 4.5. – Қиматҳои ҳисобкардашудаи энергияи фаъолкунии раванди оксидшавии ҳӯлаҳои бо Ce, Pr ва Nd ҷавҳаронидашудаи Zn-Al

Ҳӯлаҳои Zn-Al бо иловаҳои Ce, Pr ва Nd %-и вазнӣ	Элементҳои ҷавҳаронии ҳӯла			
	-	Ce	Pr	Nd
	Энергияи фаъолкунии раванди оксидшавӣ Q, кҶ/мол			
Zn _{0.5} Al(1)	168.4	-	-	-
1+0.01	-	186.9	183.6	165.3
1+0.05	-	184.0	180.3	160.6
1+0.1	-	180.7	177.4	157.2
1+0.5	-	176.8	172.0	152.0
1+1.0	-	175.0	169.8	145.9
Zn ₅ Al(2) [53]	128.4	-	-	-
2+0.01	-	170.3	160.2	156.0
2+0.05	-	173.4	162.6	159.3
2+0.1	-	163.6	144.1	136.0
2+0.5	-	142.9	138.9	133.9
2+1.0	-	-	-	-
Zn ₅₅ Al(3) [53]	154.4	-	-	-
3+0.01	-	186.0	180.9	177.5
3+0.05	-	192.5	190.9	188.0
3+0.1	-	175.2	170.0	162.0
3+0.5	-	168.4	164.5	160.0
3+1.0	-	-	-	-

Назарияи оксидшавии муосир асосан механизмҳоро, ки интиқоли компонентҳои ҳулаҳоро тавассути қабатҳои сатҳии якхела ва когерентӣ муайян мекунанд, баррасӣ мекунад. Дар раванди оксидшавии баландҳароратӣ як механизм метавонад тадриҷан ба механизми дигар гузарад, ки он аз ғафсии парда, вақт ва ҳарорат вобаста аст. Ин механизм ғафсшавии пардаҳоро пешбинӣ мекунад, ки онро диффузия дар натиҷаи мавҷудияти градиенти консентратсионӣ муайян мекунад. Азбаски пардаи сатҳӣ аз катионҳо ва анионҳо иборат аст, чунин диффузия тавассути ин парда бояд ҳамзамон бо диффузияи электронҳо дар ҳамон самте, ки диффузияи катионҳо, ё дар муқобилсамтии диффузияи анионҳо амалӣ шавад. Бо ғафсшавии пардаҳое, ки ҳангоми оксидшавии системаҳои металли хулаҳо ба вучуд меоянд, вобастагии гиперболий як қонуниятӣ муваққатӣ мешавад, ки бештар дар амалия дучор меояд. Механизми ин оксидшавӣ нисбат ба дигар механизмҳо беҳтар фаҳмида шуда, муҳимтар аз механизмҳои гуногуни оксидшавӣ дар амалия буда, асосноктар боқӣ мемонад, зеро он барои бисёр ҳулаҳои техникӣ дар шароити истифодабарӣ мувофиқ аст.

Таҳқиқотҳо нишон доданд, ки қонуниятҳои хаттии ибтидоӣ ва гиперболии минбаъдаи марҳилавии оксидшавӣ афзоиши қабатҳои оксидҳоро берун аз андозаҳои аввалияи намунаҳои ҳула, асосан дар натиҷаи диффузияи ионҳои металлӣ ва диффузияи дутарафа, инъикос мекунанд. Ҳосилшавии қабати муҳофизатии пардаи оксидӣ ҳангоми оксидшавӣ дар ҳаво нисбат ба оксидшавӣ дар муҳити оксигени тоза хеле сусттар мегузарад. Гузариш ба марҳилаи ниҳони оксидшавӣ, ки дар фосилаи ҳароратҳои таҳқиқшуда бо пайдоиш ва афзоиши қабати дохилии оксид дар сатҳи ибтидоии ҳула, ба қонуни гиперболии суръат хос аст. Ташаккулёбии ин қабат бо камшавии тадриҷии нақши диффузияи ионҳои металлӣ дар раванди оксидшавии баландҳароратӣ, ки дар натиҷаи ташаккули холигии назаррас, ки ҷараёни катионҳоро дар як марҳилаи муайян пурра қатъ карда, бо афзоиши диффузия ва воридшавии оксиген тавассути оксид ба асоси металлӣ шарҳ дода мешавад. Афзоиши қабати дохилӣ дар фосилаи ҳароратҳои таҳқиқшуда тибқи қонуни гипербола амалӣ мегардад. Дар вақти оксидшавии ҳулаҳо пардаҳои оксидии гуногун ҳосил мешаванд (расм. 4.20).



Расми 4.20. – Штрихрентгенограммай оксидҳои сода ва мураккаб ҳангоми оксидшавии хӯлаи Zn_{0.5}Al(а) бо 0.1%-и Ce(б), Pr(в) ва Nd(г)

Кинетикаи умумии оксидшавӣ аз маҷмӯи пурраи марҳилаҳо иборат аст, ки хусусияти гуногун доранд. Мутобиқ ба натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда қонуниятҳои зерин мушоҳида карда шуданд: дараҷаи иштироки элементҳои ҷавҳаронии хӯла дар ташаккули пардаи муҳофизатии оксидӣ аз фаъолияти онҳо вобаста аст; ингуна элементҳо ба гуруҳи металлҳои фаъол мансубанд, ки ҳатто бо концентратсияҳои камтари худ дар сатҳи хӯла пардаҳои муҳофизатии оксидиро ташкил медиҳанд; ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо, чунин оксидҳои ZnO , Al_2O_3 , Ce_2O_3 , Pr_2O_3 , Nd_2O_3 ва навъи шпинелӣ ZnAl_2O_4 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$ дар сатҳи хӯлаҳо ҳосил шуданд (расм 4.20).

Барои фаҳмидани ҳамаатарафаи равандҳои оксидшавӣ ва механизмҳои онҳо бо истифода аз усулҳои гуногун чиҳатҳои гуногуни оксидшавиро омӯختан лозим аст. Омӯзиши суръати раванд ва кинетика дар бораи механизми раванд ва он марҳилаҳои раванд, ки суръати он суръати тамоми раванди оксидшавиро маҳдуд мекунад, маълумоти арзишманд медиҳад. Андозагирии суръат одатан барои тавсифи ададии миқдории хусусияти раванд замина фароҳам меорад, ки дар муқоиса бо моделҳои назариявӣ нақши бебаҳо дорад. Бо вучуди ин, танҳо истифодаи суръати раванд ва кинетика барои шарҳи механизмҳои раванди оксидшавӣ заминаи кофӣ намедиҳад ва бинобар ин муайянкунии маҳсули оксидшавии хӯлаҳои коркардшуда ҳатман зарур аст.

Дар умум, сохтори хӯлаҳо низ метавонад ба гармитобоварии онҳо якҷанд таъсир расонад, гарчанде, ки суръати оксидшавӣ то ба дараҷае аз намуди панҷараи кристаллии хӯла вобаста аст. Андозаи дона низ метавонад ба гармитобоварии хӯлаҳо таъсир расонад. Дар муқоисаи микросохтор бо оксидшавии хӯлаҳо чунин қонуният маълум карда шудааст: ҳар қадаре, ки андозаи донаи хӯлаҳои серий- ва празеодимдошта хурдтар бошад, ҳамон қадар муқовимати онҳо ба оксидшавӣ нисбат ба хӯлаҳои неодимдошта баландтар аст (расм 2.4). Азбаски раванди оксидшавӣ аксар вақт байни донаҳо мегузарад, гузариши он дар сохтори майдадонагӣ мушкилтар мешавад. Аз ин рӯ, бо пешгирии афзоиши донаҳо дар шароити истифодабарии маснуот ва конструксияҳо, муқовимати хӯлаҳоро ба оксидшавӣ беҳбуд кардан мумкин аст.

ХУЛОСАҲО

1. Бо таҳлили металлографӣ микросохторҳои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда, омӯхта шудааст. Ҷавҳаронии хӯлаи дучанда ($Zn_{0.5}Al$) бо компоненти сеюм (Ce, Pr, Nd) ба тағйирёбии андозаи донаҳои сохтори хӯлаҳо самаранок таъсир мерасонад.

2. Бо методи потенциостатикӣ рафтори анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо серий, празеодим ва неодим таҳқиқ шудааст. Иловаҳои компоненти сеюм ($0.01 \div 1.0\%$ Ce, Pr, Nd) суръати коррозияи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро дар муҳитҳои гуногуни HCl, NaCl ва NaOH то 1.5–3 маротиба кам мекунанд [1-М, 2-М, 3-М, 6-М, 14-М].

3. Потенциалҳои коррозия, пitting-ҳосилшавӣ ва репассивии хӯлаҳои бо элементҳои зергуруҳи серий ҷавҳаронидашуда ба самти мусбӣ майл мекунанд. Гузариш ба ҳолати устувори ғайрифазол барои хӯлаҳои сечандаи таҳқиқшуда хос аст [1-М, 2-М, 3-М, 5-М, 16-М].

4. Қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ аз миқдори элементҳои зергуруҳи серий ва pH-и муҳит аниқ карда шудааст. Иловаҳои серий, празеодим ва неодим устувории хӯлаи анодии $Zn_{0.5}Al$ –ро ба коррозия дар ҳудуди pH-и муҳит аз 3 то 10 баланд мекунанд [2-М, 4-М, 6-М, 15-М].

5. Бо методи Бринелл саҳтии хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al$ -Ce(Pr, Nd) таҳқиқ шудааст. Бо истифода аз қиматҳои саҳтии аниқкардашуда, мустаҳкамии ин хӯлаҳо ҳисоб карда шудааст. Иловаҳои ҷавҳаронии элементҳои зергуруҳи серий дар ҳудуди консентратсияҳои таҳқиқшуда ($0.01 \div 1.0\%$) саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро афзоиш медиҳанд. Иловаҳои камтарини ($0.01 \div 0.1\%$) Ce, Pr ва Nd ба хусусиятҳои саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ таъсири мусбӣ мерасонанд. Зиёдшавии назарраси саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаҳо бо серий, нисбат ба хӯлаҳо бо празеодим ва неодим аниқ карда шудааст [7-М, 17-М].

6. Бо методи термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳои саҳти системаҳои $Zn_{0.5}Al$ -Ce(Pr, Nd) таҳқиқ шудааст. Раванди оксидшавӣ аз рӯи механизми гипербола мегузарад, суръати ҳақиқӣ дорои тартиби 10^{-4} ҳаст [8-М, 10-М].

7. Иловаҳои серий ва празеодим оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро кам мекунанд. Воридкунии неодим ($0.01 \div 1.0\%$) ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ кинетикаи оксидшавиро афзоиш медиҳад, ки ба оксидшавии хӯлаҳо манфӣ таъсир мекунад [9-М, 11-М, 18-М, 19-М, 20-М, 21-М].

8. Бо таҳлили рентгенофазавӣ маҳсули оксидшавӣ, ки дар сатҳи хӯлаҳои мазкур ҳосил мешаванд, омӯхта шудааст. Ҳангоми оксидшавӣ оксидҳои соддаи ZnO , Al_2O_3 , Ce_2O_3 , Pr_2O_3 , Nd_2O_3 ва мураккаби $ZnAl_2O_4$ и $Al_2O_3 \cdot Ce_2O_3$ ҳосил мешаванд [8-М, 19-М].

9. Таркибҳои муносиби коркардшудаи хӯлаҳои сечанда бо ду патентҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон (№ТJ1079, 1081) ҳифз карда шудааст. Хӯлаҳо ба сифати рӯйпӯшҳои анодӣ барои баландбардории устувории маснуот аз пӯлоди карбондор ва чӯян ба зидди коррозия тавсия мешаванд [12-М, 13-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

Натиҷаҳои таҳқиқоти санҷишии иҷрокардашуда барои мутахассисон дар соҳаҳои маводшиносӣ ва муҳофизат аз коррозия, галванотехника, металлургия, инчунин барои маводшиносон ва коргарон, ки ба масъалаҳои муҳофизати маснуоти пӯлодӣ ва конструксияҳо аз вайроншавии коррозсионӣ машғуланд, тавсия мешаванд.

Хӯлаҳои нави коркардшудаи $Zn_{0.5}Al$ бо серий, празеодим ва неодим ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устуворӣ ба коррозия ва зиёдкунии муҳлати хизмати конструксияҳо, иншоот ва маснуоти пӯлодии карбондор ва чӯян тавсия мешаванд.

РҶҶҲАТИ АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА

1. Абраимов, Н.В. Авиационное материаловедение и технология обработки материалов / Н.В. Абраимов, В.С. Елисеев, В.В. Крымов. – Москва: Высшая школа, 1998. – 444 с.
2. Циммерман, Р. Металлургия и материаловедение / справ. изд., пер. с нем., Р. Циммерман, К. Гюнтер. – Москва: Metallurgiya, 1982. – 480 с.
3. Титов, Н.Д. Технология литейного производства / Н.Д. Титов, Ю.А. Степанов. – Москва: Машиностроение, 1978. – 432 с.
4. Туфанов, Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: справочник / Д.Г. Туфанов. – Москва: Metallurgiya, 1982. – 352 с.
5. Шестопал, В.Н. Литейное производство за рубежом / В.Н. Шестопал, В.С. Шумихин, П.Н. Бурман. – Киев: Наукова думка, 1983. – 264 с.
6. Мровец, С. Современные жаростойкие материалы / С. Мровец, Т. Вербер. – Москва: Metallurgiya, 1986. – 360 с.
7. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, Б.А. Ливанов, В.И. Елагин. – Москва: Metallurgiya, 1981. – 416 с.
8. Винарский, М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975. – 315 с.
9. Соломин, Н.В. Высокотемпературная устойчивость материалов и элементов конструкций / Н.В. Соломин. – Москва: Машиностроение, 1980. – 128 с.
10. Умарова, Т.М. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах: монография / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев. – Душанбе: Дониш, 2007. – 258 с.
11. Рахимов, Ф.А. Свойства сплава Zn5Al с хромом, марганцем и молибденом: монография / Ф.А. Рахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов. – Душанбе: Донишварон, 2020. – 134 с.
12. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов систем Zn5Al-ЩЗМ и Zn55Al-ЩЗМ: монография / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Берлин: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. – 156 с.

13. Амини, Р.Н. Анодные защитные цинк-алюминиевые покрытия с бериллием и магнием: монография / Р.Н. Амини, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Берлин: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2012. – 178 с.
14. Амини Р.Н., Обидов З.Р., И.Н Ганиев. Цинк-алюминиевый сплав / Патент Исламской Республики Иран № IR 27467 // Приоритет изобретения от 18.12.2014 г.
15. Lin, K.L. Correlation of microstructure with corrosion and electrochemical behaviours of the bath-type hot-dip Al-Zn coatings: Part 2. 55% Al-Zn coatings / K.L. Lin, C.F. Yang, J.T. Lee // Corrosion. – 1991. – V. 47. – N 4. – P. 17-30.
16. Гусева, Н.Е. Развитие производства листового проката с защитными покрытиями: обзорная информация / Н.Е. Гусева. – Москва: Черметинформация, 1985. – 42 с.
17. Берукштис, Г.К. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях / Г.К. Берукштис, Г.Б. Кларк. – Москва: Наука, 1971. – 159 с.
18. Проскуркин, В.Е. Диффузионные цинковые покрытия / В.Е. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – Москва: Металлургия, 1972. – 248 с.
19. Беняковский, М.А. Производство оцинкованного листа / М.А. Беняковский, Д.Л. Гринберг. – Москва: Металлургия, 1973. – 256 с.
20. Огинский, М.И. Руководство по горячему цинкованию / пер. с нем., М.И. Огинский. – Москва: Металлургия, 1975. – 376 с.
21. Картер, В.И. Металлические противокоррозионные покрытия / пер. с англ., В.И. Картер. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 168 с.
22. Тарасова, А.А. Особенности цинкования кремнийсодержащих сталей / А.А. Тарасова. – Москва: Металлургия, 1984. – 72 с.
23. Бокштейн, С.З. Строение и свойства металлических сплавов / С.З. Бокштейн. – Москва: Металлургия, 1971. – 496 с.
24. Курц, В. Направленная кристаллизация эвтектических материалов / пер. с нем., В. Курц, П.Р. Зам. – Москва: Металлургия, 1980. – 272 с.

25. Захаров, А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем / А.М. Захаров. – Москва: Металлургия, 1978. – 292 с.
26. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган, т.3. – Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1976. – 814 с.
27. Григорович, В.К. Металлическая связь и структура металлов / В.К. Григорович. – Москва: Наука, 1988. – 296 с.
28. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. / Л.Ф. Мондольфо. – Москва: Металлургия, 1979. – 604 с.
29. Шиврин, Г.Н. Металлургия свинца и цинка / Г.Н. Шиврин. – Москва: Металлургия, 1982. – 352 с.
30. Торопов, Н.П. Диаграмма состояния силикатных систем: справочник / Н.П. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева. – Ленинград: Наука, 1969. – 337 с.
31. Ганиев, И.Н. Сплавы алюминия с редкоземельными металлами: монография / И.Н. Ганиев, Х.М. Назаров, Х.О. Одинаев. – Душанбе: Маориф, 2004. – 190 с.
32. Ганиев, И.Н. Система Al-Zn-Al₂Pr / И.Н. Ганиев, А.З. Икромов, Х.М. Назаров, Х.О. Одинаев // Металлы РАН. – 1995. – № 5. – С. 170-173.
33. Рачев, Х. Справочник по коррозии / Х. Рачев, С. Стефанова. – Москва: Мир, 1982. – 520 с.
34. Кечин, В.А. Цинковые сплавы / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. – Москва: Металлургия, 1986. – 247 с.
35. Проскуркин, Е.В. Цинкование / Е.В. Проскуркин, В.А. Попович, А.Т. Мороз. – Москва: Металлургия, 1988. – 528 с.
36. Мальцев, М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М.В. Мальцев. – Москва: Металлургия, 1970. – 364 с.
37. Дасоян, М.А. Технология электрохимических покрытий / М.А. Дасоян, И.Я. Пальмская, Е.В. Сахарова. – Ленинград: Машиностроение, 1989. – 391 с.

38. Труфанова, А.И. Защита металлов от разрушений / А.И. Труфанова, С.А. Хлебникова. – Тула: Приокск. кн. изд., 1981. – 88 с.
39. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии / Р. Ангал. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2014. – 344 с.
40. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – Москва: Машиностроение, 1979. – 296 с.
41. Ройх, И.Л. Защитные вакуумные покрытия на стали / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова. – Москва: Машиностроение, 1971. – 280 с.
42. Ройх, И.Л. Нанесение защитных покрытий в вакууме / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, С.Н. Федосов. – Москва: Машиностроение, 1976. – 367 с.
43. Кудрявцев, Н.Т. Электролитические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. – Москва: Химия, 1979. – 351 с.
44. Слэндер, С.Д. Коррозионная стойкость цинка / С.Д. Слэндер, У.К. Бойд; пер. с англ. – под. ред. Е.В. Проскуркина. – Москва: Металлургия, 1976. – 200 с.
45. Постников, Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы / Н.С. Постников. – Москва: Металлургия, 1976. – 301 с.
46. Синявский, В.С. Коррозия и защита алюминиевых сплавов / В.С. Синявский, В.Д. Волков, В.Д. Калинин. – Москва: Металлургия, 1986. – 640 с.
47. Окулов, В.В. Цинкования. Техника и технология / под ред. В.Н. Кудрявцева. – Москва: Глобус, 2008. – 252 с.
48. Ворошнин, Л.Г. Антикоррозионные диффузионные покрытия / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Наука и техника, 1981. – 296 с.
49. Вишенков, С.А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий / С.А. Вишенков. – Москва: Машиностроение, 1975. – 312 с.
50. Жарский, И.М. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования / И.М. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидунович. – Минск: Высш. шк., 2012. – 303 с.
51. Строкана, Б.В. Коррозионная стойкость оборудования химических производств / Б.В. Строкана, А.М. Сухотина. – Ленинград: Химия, 1987. – 280 с.
52. Амонова, А.В. Физико-химические свойства цинк-алюминиевых

сплавов, легированных скандием, иттрием и эрбием: дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Амонова Азиза Валиевна. – Душанбе, 2016. – 156 с.

53. Алиханова, С.Дж. Коррозия сплавов Zn_{5Al} и Zn_{55Al} с церием, празеодимом и неодимом: дисс. ... канд. хим. наук: 05.17.03 / Алиханова Сурайё Джамшедовна. – Душанбе, 2017. – 135 с.

54. Поздеева, Н.А. Изучение коррозионно-электрохимического поведения алюминия, легированного цинком и оловом для использования в качестве протектора стали: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.14 / Поздеева Наталья Александровна. – Москва, 2000. – 128 с.

55. Обидов, З.Р. Коррозия цинк-алюминиевых сплавов нового поколения: дисс. ... докт. хим. наук: 05.17.03 / Обидов Зиёдулло Рахматович. – Душанбе, 2017. – 300 с.

56. Хакимов, И.Б. Влияние добавок хрома на анодное поведение сплава Zn_{22Al} в нейтральной среде / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (ТНУ). – 2020. – № 1. – С. 120-125.

57. Рахимов, Ф.А. Влияния молибдена на коррозионно-электрохимические свойства сплава Zn_{5Al} , в нейтральной среде / Ф.А. Рахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Т.М. Умарова, В.Д. Абулхаев // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2017. – № 3 (168). – С. 70-75.

58. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn_{5Al} и Zn_{55Al} , легированных барием / З.Р. Обидов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета). – 2015. - № 31(57). – С. 51-54.

59. Amini, R.N. Anodic behavior of Zn-Al-Be alloys in the NaCl solution and the influence of Be on structure / R.N. Amini, Z.R. Obidov, I.N. Ganiev, R. Mohamad // Journ. of Surface Eng. Mat. and Adv. Technology. – 2012. - V.2. - №2. - P. 127-131.

60. Obidov, Z.R. Effect of pH on the anodic behavior of beryllium and magnesium doped alloy Zn_{55Al} / Z.R. Obidov // Russ. Journ. of Applied Chemistry. – 2015. – V.88. - N.9. – P. 1451-1457.

61. Рахимов, Ф.А. Влияния марганца и молибдена на потенциал коррозии сплава Zn5Al, в нейтральной среде / Ф.А. Рахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник современных исследований. – 2017. – № 7-1 (10). – С. 170-175.

62. Obidov, Z.R. Anodic behavior of Zn5Al and Zn55Al alloys alloyed with calcium in NaCl solutions / Z.R. Obidov, I.N. Ganiev, Dzh.N. Aliev, N.I. Ganieva // Russ. Journ. of Applied Chemistry, 2010, vol. 83, No.6, p.1015-1018.

63. Amini, R.N. Galfan I and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys / R.N. Amini, M.B. Irani, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov // Oriental Journ. of Chemistry. – 2014. - V.30. - №3. - P. 969-973.

64. Obidov, Z.R. Influence of the pH of the medium on the anodic behavior of scandium – doped Zn55Al alloy / Z.R. Obidov, A.V. Amonova, I.N. Ganiev // Russ. Journ. of Non-Ferrous Metals. – 2013. - V.54. - N3. - P. 234-238.

65. Amini, R.N. Potentiodynamical research of Zn-Al-Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure / R.N. Amini, Z.R. Obidov, I.N. Ganiev, R.B. Mohamad // Journ. of Surface Engineered Materials and Advanced Technology. – 2012. – V.2. - №2. - P. 110-114.

66. Obidov, Z.R. Anodic behavior and oxidation of strontium-doped Zn5Al and Zn55Al alloys / Z.R. Obidov // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2012. - V.48. - N3. - P. 352-355.

67. Иброхимов, П.Р. Анодное поведение сплава Zn0.5Al, легированного молибденом, в кислой среде / П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Ф.А. Рахимов, З.Р. Обидов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.- мат., хим., геол. и техн. наук. – 2019. – № 4 (177). – С. 89-92.

68. Хакимов, И.Б. Влияние добавок марганца на анодное поведение сплава Zn22Al, в нейтральной среде / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 4. – С. 132-135.

69. Иброхимов, П.Р. Влияние добавок хрома на анодное поведение сплава Zn0.5Al, в щелочной среде / П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Ф.А. Рахимов, З.Р. Обидов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.- мат., хим., геол. и

техн. наук. – 2020. – № 1 (178). – С. 49-53.

70. Одинаева, Н.Б. Коррозия сплава $Zn+0.5\% Al$ с галлием, индием и таллием: дисс. ... канд. хим. наук: 05.17.03 / Одинаева Насиба Бекмуродовна. – Душанбе, 2018. – 121 с.

71. Сафарова, Ф.Р. Влияние элементов подгруппы галлия на коррозионное поведение сплавов $Zn5Al$ и $Zn0.5Al$: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.03 / Сафарова Фарзона Раджабалиевна. – Душанбе, 2019. – 146 с.

72. Клячко, Ю.А. Прогрессивная технология приборостроения / Ю.А. Клячко, Л.Л. Кунин. – М.: Машгаз., 1983. – 260 с.

73. Назаров, Х.М. Лёгкие алюминиевые сплавы, содержащие щёлочноземельные металлы: автореф. дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.04 / Назаров Холмурод Марипович. – Душанбе, 2003. – 55 с.

74. Алиев, Д.Н. О влиянии щелочноземельных металлов на коррозионно-электрохимические свойства цинк-алюминиевых покрытий / Д.Н. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Н.И. Ганиева // Вестник Таджикского технического университета. – 2011. - № 2 (14). – С. 14-17.

75. Ганиев, И.Н. Влияние добавок кальция на анодное поведение цинк-алюминиевого покрытия $Zn5Al$ в среде $NaCl$ / И.Н. Ганиев, Д.Н. Алиев, З.Р. Обидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. – Т. 51. - № 9. – С. 691-695.

76. Алиев, Д.Н. Анодное поведение сплава $Zn55Al$, легированного кальцием, в среде электролита $NaCl$ / Д.Н. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др. // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук.- 2009. - №1(134).- С.55-58.

77. Алиев, Д.Н. Кинетика окисления и анодное поведение цинк-алюминиевых сплавов, легированных щелочноземельными металлами: дисс... канд. техн. наук: 02.00.04 / Алиев Джамшед Насридинович. – Душанбе, 2010. – 159 с.

78. Лепинских, Б.М. Окисление жидких металлов и сплавов / Б.М. Лепинских, А.А. Китаев, А.А. Белоусов. – М.: Наука, 1979. – 116 с.

79. Эшов, Б.Б. Окисления сплавов системы алюминий-цинк / Б.Б. Эшов, Н.И. Ганиева, Ф.У. Обидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2002. – Т. XIV. – № 11-12. – С. 50-55.

80. Эшов, Б.Б. Высокотемпературная и электрохимическая коррозия алюминиевых сплавов с цинком, кадмием, галлием и индием: автореф. дис... канд. хим. наук: 02.00.04 / Эшов Бахтиёр Бадалович. – Душанбе, 1998. – 25 с.

81. Ганиев, И.Н. Окисление двойных сплавов алюминия с некоторыми элементами второй группы периодической системы Д.И. Менделеева / И.Н. Ганиев, Л.Т. Джураева, Б.Б. Эшов // Известия РАН. – 1995. – № 2. – С. 38-42.

82. Кубашевский, О. Окисление металлов и сплавов / О. Кубашевский, Б. Гопкинс. – Москва: Металлургия, 1975. – 365 с.

83. Амини, Р.Н. Физико-химические свойства цинк-алюминиевых сплавов, легированных бериллием и магнием: дисс... канд. техн. наук: 02.00.04 / Амини Резо Наджафободи. – Душанбе, 2012. – 186 с.

84. Иброхимов, П.Р. Анодное поведение и окисление цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного хромом, марганцем и молибденом: дисс... канд. техн. наук: 05.17.03, 05.02.01/Иброхимов Пайрав Рустамович. – Душанбе, 2021. – 136 с.

85. Рахимов, Ф.А. Физико-химические свойства сплава $Zn_{0.5}Al$ с хромом, марганцем и молибденом: дисс... канд. техн. наук: 02.00.04 / Рахимов Фируз Акбарович. – Душанбе, 2019. – 140 с.

86. Иброхимов, П.Р. Кинетика окисления сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного молибденом, в твёрдом состоянии / П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Ф.А. Рахимов, З.Р. Обидов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2020. – № 2 (179). – С. 49-55.

87. Хахимов, И.Б. Кинетика окисления сплава $Zn_{22}Al$, легированного хромом, в твёрдом состоянии / И.Б. Хахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2021. – № 2 (168). – С. 31-35.

88. Обидов, З.Р. Кинетика окисления сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного хромом, в твердом состоянии / З.Р. Обидов, П.Р. Иброхимов, Ф.А. Рахимов, И.Н.

Ганиев // Журнал физической химии. – 2021. – Т. 95. – № 1. – С. 152-154.

89. Нарзуллоев, З.Ф. Хосиятҳои ҳулаҳои рӯҳӣ-алюминийи $Zn5Al$, $Zn55Al$ бо оҳан ва никел: дисс... н.и.т.: 05.16.02 / Нарзуллоев Зубайдулло Файзуллоевич. – Душанбе, 2021. – 142 с.

90. Хакимов, И.Б. Кинетика окисления и анодное поведение сплава $Zn22Al$, легированного никелем / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. (Scopus). – 2021. – Т. 64. – Вып. 6. – С. 35-40.

91. Рахимов, Ф.А. Кинетика окисления сплава $Zn5Al$, легированного хромом, в твёрдом состоянии / Ф.А. Рахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. – № 9-10. – С. 783-787.

92. Obidov, Z.R. Effect of scandium doping on the oxidation resistance of $Zn5Al$ and $Zn55Al$ alloys / Z.R. Obidov, A.V. Amonova, I.N. Ganiev // Russ. Journ. of Physical Chemistry A. – 2013. – V.87. – N 4. - P. 702-703.

93. Ганиев, И.Н. Окисление сплава $Zn5Al$, легированного барием, кислородом газовой фазы / И.Н. Ганиев, Д.Н. Алиев, Н.И. Ганиева, З.Р. Обидов // ДАН РТ. – 2011. - Т. 54. - №5. - С. 381-385.

94. Алиев, Д.Н. Окисление сплава $Zn55Al$, легированного стронцием, кислородом газовой фазы / Д.Н. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Н.И.Ганиева // Вестник ТУТ. – 2014. - Т.1 (22). – С. 8-11.

95. Одинаева, Н.Б. Окисление сплава $Zn+0.5\%Al$, легированного галлием / Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.Э. Бердиев // Матер. Респ. науч.-практ. конф. «Перспективы развития естественных наук». – Российско-Таджикский(Славянский) университет. – 2018. – С. 72-75.

96. Амонова, А.В. Кинетика окисления сплава $Zn55Al$, легированного иттрием кислородом газовой фазы / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, С.Д. Алиханова, З.Р. Обидов // Матер. Респ. науч.-практ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан». – Душанбе, 2012. – С. 8-9.

97. Mazilkin, Gradual softening of Al-Zn alloys during high-pressure torsion / A.A. Mazilkin, A.A., Straumal B.B., Borodachenkova M.V., Valiev R.Z., Kogtenkova

О.А., Baretzky B. // Materials Letters. - 2012. - 84. - 63–65.

98. Сафарова, Ф.Р. Кинетика окисления сплава Zn_5Al , легированного галлием, в твёрдом состоянии / Ф.Р. Сафарова, И.Н. Ганиев, Н.Б. Одинаева, З.Р. Обидов // Доклады АН Республики Таджикистан.- 2018. - Т.61. - №3.- С. 258-264.

99. Амонова, А.В. Влияния иттрия на кинетику окисления сплава Zn_5Al / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др.// Матер. Респ. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроение и методика их преподавания».– Таджикский Государственный педаг. универс. им. С. Айни.– 2012.– С. 20-24.

100. Одинаева, Н.Б. Высокотемпературное окисление сплава $Zn+0.5\% Al$, легированного галлием, в твёрдом состоянии / Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.Р. Сафарова, М. Максудов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2018. – Т. 61. – № 2. – С. 165-171.

101. Иброхимов, П.Р. Окисление сплава $Zn_0.5Al$, легированного молибденом / П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Ф.А. Рахимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». Горно-металлургический институт Таджикистана. – Бустон. – 2019. – С. 43-45.

102. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплавов Zn_5Al , $Zn_{55}Al$, легированных стронцием / З.Р. Обидов // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 3. – С. 305-308.

103. Одинаева, Н.Б. Высокотемпературное окисление сплава $Zn+0.5\% Al$, легированного индием, в твёрдом состоянии / Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.Р. Сафарова, И. Латипов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2017.– № 4(169). – С. 90-98.

104. Обидов, З.Р. Кинетика окисления сплавов Zn_5Al и $Zn_{55}Al$, легированных скандием / З.Р. Обидов, А.В. Амонова, И.Н. Ганиев // Журнал физической химии. – 2013. – Т.87. – № 4. – С. 717-719.

105. Одинаева, Н.Б. Высокотемпературное окисление сплава $Zn+0.5\% Al$, легированного таллием, в твердом состоянии / Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.Р. Сафарова // Политехнический вестник. Серия: Инженерные

исследования. – Таджикский технический университет им. М.С. Осими. – 2018. – № 1 (41). – С. 113-119.

106. Обидов, З.Р. Кинетика окисления сплавов $Zn_{50}Al$ и $Zn_{55}Al$, легированных эрбием / З.Р. Обидов, А.В. Амонова, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2012. – Т.55. – № 5. – С. 403-406.

107. Иброхимов, П.Р. Окисление цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного марганцем / П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – 2020. – С. 116-117.

108. Солнцев, С.С. Защитные технологические покрытия и тугоплавкие эмали / С.С. Солнцев. – Москва: Машиностроение, 1984. – 256 с.

109. Войтович, Р.Ф. Высокотемпературное окисление титана и его сплавов / Р.Ф. Войтович, Э.И. Головкин. – Киев: Наук. думка, 1984. – 256 с.

110. Пахомов, В.С. Коррозия металлов и сплавов: справочник / в двух кн., кн.1. - В.С. Пахомов. – Москва: Наука и технологии, 2013. – 448 с.

111. Аносов, В.Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков. – Москва: Наука, 1976. – 504 с.

112. Гоулдстейн, Дж. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ / Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин и др.; в 2 кн. – пер. с англ. – Москва: Мир, 1984. – 303 с.

113. Брандон, Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан. – Москва: Техносфера, 2004. – 384 с.

114. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

115. Колотыркин, Я.М. Металл и коррозия / Я.М. Колотыркина. – Москва: Металлургия, 1985. – 88 с.

116. Фрейман, Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите / Л.И. Фрейман, В.А. Макаров, И.Е. Брыксин; под ред. акад. Я.М. Колотыркина. – Ленинград: Химия, 1972. – 240 с.

117. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ. / Г.Г. Улиг, Р.У. Рев; под ред. А.М. Сухотина. – Ленинград: Химия, 1989. – 456 с.
118. Обидов, З.Р. Анодные защитные цинк-алюминиевые покрытия с элементами II группы: монография / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Берлин: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2012. – 288 с.
119. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин, В.С. Гаврилкж, В.С. Соколов и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 638 с.
120. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: Металлургия, 1983. – 351 с.
121. Лахтин, Ю.М. Материаловедение /Ю.М. Лахтин.– М.: Машиностроение, 1993. – 448 с.
122. Кнорозов, Б.В. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьякова и др. – М.: Металлургия, 1987. – 800 с.
123. Марковец, М.П. Определение механических свойств металлов по твердости / М.П. Марковец. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
124. Биркс, Н. Введение в высокотемпературное окисление металлов / Н. Биркс, Дж. Майер. – Москва: Металлургия, 1987. – 184 с.
125. Обидов, З.Р. Физикохимия цинк-алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами: монография / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Душанбе: ООО «Андалеб-Р», 2015. – 334 с.
126. Васильев, Е.К. Качественный рентгеноструктурный анализ / Е.К. Васильев, М.С. Назмансов.– Новосибирск: Наука. Сибирское отд., 1986. – 200 с.
127. Миркин, Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л.И. Миркин. – Москва: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1979. – 863 с.
128. Уманский, Я.С. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский и др. – Москва: Металлургия, 1982. – 632 с.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия
Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и
назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:

[1-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Таъсири неодим ба хусусияти анодии ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$, дар муҳити нейтралӣ / Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ғаниев, З.Р. Обидов // Илм ва инноватсия. Бахши илмҳои геологӣ ва техникӣ. ДМТ. РИНЦ. – 2025. – № 3. – С. 217-222.

[2-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Влияние добавок церия на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, в нейтральной среде / Ф. Ҳамроқул, З.Р. Обидов, И.Н. Ғаниев, М.Ч. Ширинов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. ТНУ. РИНЦ. – 2022. – № 1. – С. 164-169.

[3-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$ // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. РИНЦ. – 2022. – № 2/1 (96). – С. 75-79.

[4-М]. **Firuzi Hamroqul**. Anodic behavior of $Zn_{0.5}Al$ zinc alloy doped with neodymium / F. Hamroqul, U.R. Jobirov, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov // UNIVERSUM – технические науки. Crossref, Ulrichsweb. – 2022. – № 3-6 (96). – С. 47-49.

[5-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, в кислой среде / Ф. Ҳамроқул, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов, И.Н. Ғаниев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. РИНЦ. – 2021. – № 3-4 (11-12). – С. 334-338.

[6-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Влияние добавок неодима на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, в щелочной среде / Ф. Ҳамроқул, З.Р. Обидов, И.Н. Ғаниев, М.Ч. Ширинов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. РИНЦ. – 2021. – №2-2(87). – С. 46-52.

[7-М]. **Фирузи Ҳамроқул**. Таҳқиқи хосиятҳои механикии ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда / Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ғаниев,

З.Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. ДТТ. РИНЦ. – 2025. – № 3 (71). – С. 59-63.

[8-M]. **Фирузи Ҳамроқул**. Таъсири неодим ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ / Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. ДТТ. РИНЦ. – 2025. – № 3 (71). – С. 54-58.

[9-M]. **Firuzi Hamroqul**. Effect of Neodymium and Erbium on the Kinetics Oxidation of $Zn_{0.5}Al$ Zinc Alloy, in Solid State / F. Hamroqul, U.R. Jobirov, Z.R. Obidov // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. Web of Science. – 2022. – V. 15. – No 5. – P. 561-568.

[10-M]. Джобиров, У.Р. Кинетика окисления цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного иттрием и празеодимом / У.Р. Джобиров, **Фирузи Ҳамроқул**, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Узбекский химический журнал. EBSCO. – 2022. – № 3. – С. 9-14.

[11-M]. **Фирузи Ҳамроқул**. Кинетика окисления цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного неодимом и эрбием / Ф. Ҳамроқул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник СПГУТД. Серия 1. Естественные и технические науки. РИНЦ. – 2022. – № 3. – С. 126-130.

Ихтироот:

[12-M]. Малый патент Республики Таджикистан №TJ1079. Цинк-алюминиевый сплав / **Фирузи Ҳамроқул**; заявители и патентообладатели: У.Р. Джобиров, Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др. / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

[13-M]. Малый патент Республики Таджикистан №TJ1081. Цинк-алюминиевый сплав / **Фирузи Ҳамроқул**; заявители и патентообладатели: Ф. Ҳамроқул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др. / №2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

Мақолаҳои дар маводи конференсро нашршуда:

[14-M]. **Фирузи Ҳамроқул**. Анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$ с церием, в среде $NaCl$ / Ф. Ҳамроқул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. III Межд.

науч.-практ. конф. «Развитие химической науки и области их применения». Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2021. – С. 66-70.

[15-М]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние неодима на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, в щелочной среде / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2021. – С. 22-26.

[16-М]. **Фирузи Хамрокул.** Потенциалҳои коррозияи озоди хӯлаҳои $Zn_{0.5}Al$ -Ce дар муҳити NaCl / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Маводҳои конференсияи байналмиллалӣ илмӣ-амалӣ «Муаммоҳо ва дурнамои рушди илми физика». Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи акад. Б. Гафуров. – Хучанд. – 2025. – С. 473-475.

[17-М]. **Фирузи Хамрокул.** Таҳқиқи саҳтӣ ва мустаҳкамӣ хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо празеодим ҷавҳаронидашуда / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Маводҳои конфронси ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ «Муаммоҳои муосири физикаи фундаменталӣ ва амалӣ». Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи акад. Б. Гафуров. – Хучанд. – 2025. – С. 23-25.

[18-М]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние церия на окисляемость сплава $Zn_{0.5}Al$ / Ф. Хамрокул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Роль естественных, точных и математических наук в подготовке современных научных кадров, инженеров и преподавателей». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2021. – С. 208-209.

[19-М]. **Фирузи Хамрокул.** Оксидшавӣи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо празеодим ҷавҳаронидашуда / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Маводҳои конфронси ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ «Муаммоҳои муосири физикаи фундаменталӣ ва амалӣ». Донишгоҳи давлатии Хучанд ба номи акад. Б. Гафуров. – Хучанд. – 2025. – С. 57-59.

[20-М]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние празеодима на кинетику окисления сплава $Zn_{0.5}Al$ / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Сб.

матер. Респ. науч.-практ. конф. «Подготовка технических кадров в условиях индустриализации страны». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2020. – С. 15-16.

[21-М]. **Фирузи Хамрокул**. Окисление цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного неодимом, в твердом состоянии / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2020. – С. 277-278.

ЗАМИМАҲО

ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН		ИДОРАИ ПАТЕНТӢ
ШАҲОДАТНОМА		
Шахрванд	Фирузи Ҳамрокул	
муаллифи ихтирои	<i>Хулаи рух-алюминий</i>	
Ба ихтироъ нахустватенти	№ ТҶ 1079	дода шудааст.
Дорандаи нахустватент	Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни	
Сарзамин	Ҷумҳурии Тоҷикистон	
Ҳаммуаллиф(он)	Ҷобиров У.Р., Ғаниев И.Н., Рахимов Ф.А., Олимов Н.С., Ширинов М.Ч. Обидов З.Р.	
Аввалияти ихтироъ	20.01.2020	
Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза	20.01.2020	
Аризаи №	2001387	
Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон	16 апрели с. 2020 ба қайд гирифта шуд	
Нахустватент	эътибор дорад аз 20 январи с. 2020 то 20 январи 2030 с.	
Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку тиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад		
ДИРЕКТОР		М. Исмоилзода

ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд *Фирӯзи Ҳамроқул*

муаллифи ихтирои *Ҳулаи руҳ-алюминий*

Ба ихтироъ
нахустиатенти № Т.1 1081 дода шудааст.

Дорандаи
нахустиатент Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣи Тоҷикистон
ба номи С. Айни

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон
Ҳаммуаллиф(он) Назаров О.Н., Ҳақимов И.Б., Ҷобиров У.Р.
Обидов З.Р., Ғаниев И.Н., Олимов Н.С., Амонова А.В., Ҷайлоев Ҷ.Х.,
Ширинов М.Ч., Раҳимов Ф.А.

Аввалияти ихтироъ 20.01.2020

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 20.01.2020

Аризаи № 2001388

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

16 апрели с. 2020 ба қайд гирифта шуд

Нахустиатент
этибор дорад аз 20 январи с. 2020 то 20 январи 2030 с.

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку
тиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо конулузория
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

М. Исмоилзода



«Согласовано»

Директор Института технологии
и инновационного менеджмента

в городе Куляб



А.Н. Шоев

2022г.

«Утверждаю»

Главный инженер

ООО «Нокили ТАЛКо»

Кенджаев Х.Х.



«22» 2022г.

АКТ

опытно-промышленного испытания «Цинк-алюминиевый сплав»

на основе патентов № TJ 1081 от 20.01.2020г. и № TJ 1116 от 10.04.2020г.

Мы, нижеподписавшимся комиссия в составе: начальника технического отдела ООО «Нокили ТАЛКо» Олимова Ф.Х. с одной стороны и д.х.н., профессора Обидова З.Р. и старшего преподавателя Института технологии и инновационного менеджмента в городе Куляб Хакимова И.Б., докторантов (PhD) Института химии им. В.И. Никитина НАНТ Джобирова У.Р., Фирузи Хамрокул и Сироджидинова М.Э. составили настоящий акт о том, что в период январь-март месяцев 2022г. проводили испытания изобретённых новых цинк-алюминиевых сплавов в качестве защитных покрытий стали от коррозии на предмет их пригодности как оцинкованно-алюминизированный сталь для изготовления кабельных лотков различного типа, используемого для монтажа и прокладки кабельно-проводниковой продукции.

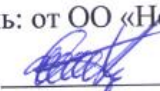
По результатам испытаний было установлено, что равномерное покрытие стальной кабельных лотков с плотным слоем цинк-алюминиевого сплава защищает кабельные лотки различного типа от коррозии и увеличивает продолжительность их срока службы до 10 лет по сравнению с оцинкованной стали. Преимуществом оцинкованно-алюминизированной стали как кабельного лотка является хорошая антикоррозионная защита, свето- и жароотражаемость, а также визуальная и влагоустойчивость и через

многие годы. Для экологического класса С1-С3 гарантия 20 лет, а для экологического класса С4 гарантия 10 лет.

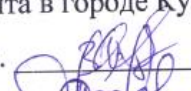
Разработанные изделия, выполненные из оцинкованно-алюминизированной стали применяются для прокладки кабельных линий в зданиях жилого, коммерческого и промышленного назначения, что обеспечивает изделиям антикоррозионную стойкость, длительный срок эксплуатации и высокие прочностные характеристики всей кабельной трассы.

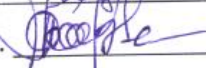
При расчёте технико-экономических показателей выявлено, что экономический эффект от использования данных изобретений в качестве защитных покрытий на стальных изделиях из кабельных лотков различного типа составляет 9.4\$ (112 сомони 70 дирам) на 1м² защищаемой поверхности.

Представитель: от ОО «Нокии ТАЛКо»

Олимов Ф.Х. 

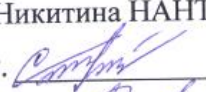
Представители: от Института
технологии и инновационного
менеджмента в городе Куляб

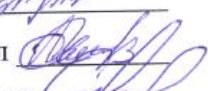
Обидов З.Р. 

Хакимов И.Б. 

от Института химии имени

В.И. Никитина НАНТ

Джобиров У.Р. 

Фирузи Хамрокул 

Сиродждинов М.Э. 

Заверю
Начальник

Шокиров 

