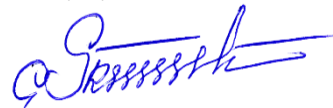


АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»

Бо ҳуқуқи дастнавис



САЙДАҲМАДЗОДА РАЧАБАЛӢ САЙДАҲМАД

ТАЪСИРИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ БА ХОСИЯТҲОИ
ФИЗИКАВӢ-МЕХАНИКӢ ВА ХИМИЯВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИ
 $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНИИ

ДИССЕРТАСИЯ

барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи
ихтисоси: 2.5.16. Маводшиносӣ дар саноати металлургия

Рохбари илмӣ:

доктори илмҳои химия, профессор,
академики АМИТ, **Ғаниев И.Н.**

Душанбе, 2026

МУНДАРИЧА

МУҚАДДИМА	4
БОБИ 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАҲОИ	
АЛЮМИНИИ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНИИ (Шарҳи адабиёт)	14-44
1.1. Сохтор ва хосиятҳои хӢлаҳои алюминии навӢи дюралюминий	14
1.2. Хосиятҳои гармофизикии хӢлаҳои алюминий ва металлҳои ишқорзаминӣ	25
1.3. Хусусиятҳои кинетикаи оксидшавии хӢлаҳои алюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ	31
1.4. Рафтори зангзании алюминий ва хӢлаҳои он бо металлҳои ишқорзаминӣ дар муҳитҳои гуногун	38
Хулосаи баррасии адабиёт ва гузоштани ҳадафи таҳқиқот	45
БОБИ 2. МАВОД ВА УСУЛҲОИ ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ	
ФИЗИКАВИЮ ХИМИЯВИИ ХӢЛАҲО	46-65
2.1. Дастгоҳ ва усулҳои таҳқиқи хосиятҳои механикӣ ва гармофизикии хӢлаҳо	47
2.2. Усули гармогравиметрии омузиши кинетикаи оксидшавии хӢлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навӢи дюралюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ	53
2.3. Дастгоҳ ва усулҳои таҳқиқи хосиятҳои электрохимиявии хӢлаҳо	61
БОБИ 3. ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ, ГАРМОФИЗИКӢ ВА	
ГАРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИ $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВӢИ	
ДЮРАЛЮМИНИИ БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ	66-90
3.1. Таъсири иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба микросохтор ва хосиятҳои механикии хӢлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навӢи дюралюминий	66
3.2. Таъсири иловаи калсий ба гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои гармодинамикии хӢлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навӢи дюралюминий	70
3.3. Гармиғунҷоиш ва функцияҳои гармодинамикии хӢлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навӢи дюралюминий бо стронсий	78

3.4. Гармигунҷоиш ва функсияҳои гармодинамикии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий	84
Хулосаи боби 3	90
БОБИ 4. ТАҲҚИҚИ ТАЪСИРИ ИЛОВАҲОИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ БА КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ҲҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНИЙ, ДАР ҲОЛАТИ САХТӢ	92-124
4.1. Кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий, дар ҳолати сахтӣ	92
4.2. Таъсири стронсий ба кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, дар ҳолати сахтӣ.....	101
4.3. Кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ	111
Хулосаи боби чорум.....	121
БОБИ 5. ТАҲҚИҚИ ПОТЕНСИОСТАТИКИИ ҲҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНИЙ БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ ҶАВҲАРОНИДАШУДА	125-149
5.1. Таъсири иловаи калсий ба рафтори зангзанӣ-электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий дар муҳити электролити $NaCl$	125
5.2. Таҳқиқи потенциостатикии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо стронсий, дар муҳити электролити $NaCl$	132
5.3. Таъсири иловаи барий ба устувории анодии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий.....	138
Хулосаи боби панҷум	147
ХУЛОСА	150
Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот.....	154
АДАБИЁТ	155
Интишорот аз рӯи мавзуи диссертатсия.....	173
ЗАМИМА	176

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзуи таҳқиқот. Солҳои охир талабот ба маводди металлӣ ва маснуоти аз онҳо истеҳсолшаванда ба таври назаррас афзоиш ёфтааст. Ин ҳолат ба рушди босуръати соҳаҳои саноат вобаста буда, металлҳо барои истеҳсоли унсурҳои сохторӣ, корпусҳо ва чузъҳои гуногуни техникӣ васеъ истифода мешаванд. Имрӯз илова ба хосиятҳои асосии хӯлаҳои металлӣ, инчунин устуворӣ ба шароити номусоиди муҳити зист, тағйирёбии ҳарорат, сабуквазнӣ ва арзон будани онҳо талаб карда мешавад. Дар амал бисёр чузъҳои металлӣ дар шароити сарбории зиёди механикӣ, ҳарорати баланд ва таъсири муҳитҳои кимиёвии ғайрифаврид сохта мешаванд. Чунин шароит ба устуворӣ ва муҳлати хизмати онҳо таъсири манфӣ мерасонад. Аз ин рӯ, беҳтар намудани хосиятҳои хизмати хӯлаҳо яке аз масъалаҳои муҳимтарини маводшиносии муосир ба шумор меравад, зеро он ба беҳатарию васлкуниҳо, бозғирмоии дастгоҳҳо ва самаранокии иқтисодии истеҳсолот таъсири мустақим мерасонад. Бе коркарди усулҳои нави истеҳсоли мавод ва такмили технологияҳои истеҳсоли пешрафти минбаъдаи илму техника ғайриимкон аст [10].

Алюминий дар байни маводди дар саноат истифодашаванда мавқеи махсус дорад. Алюминий ва хӯлаҳои аз он ҳосилшуда, ба тӯфайли хосиятҳои мусоидашон, маводди муҳимтарини даврони муосир ба ҳисоб рафта, дар аксарияти соҳаҳои саноату техника татбиқи васеъ доранд. Такмили пайвасти хӯлаҳои алюминий аҳамияти бузурги илмӣ ва амалӣ дорад. Аҳамияти ин гуна таҳқиқот барои Ҷумҳурии Тоҷикистон боз ҳам бештар мегардад, зеро дар мамлакати мо корхонаи бузурги истеҳсоли алюминий ғайрифаврид мекунад, ки маҳсулоти тайёру нимтайёрро ҳам барои истифода дар саноат, сохтмон ва техникаю технологияи ватанӣ ва ҳам барои содирот ба ҳориҷи кишвар омода мекунад. Ҳаҷми зиёди алюминийи истеҳсолшаванда ва имконияти истифодаи он барои тавлиди хӯлаҳои нав метавонад дар амалисозии ҳадафи стратегии кишвар-саноатикунории босуръат саҳми назаррас гузорад [70, с. 168].

Дар таҳқиқоти мо хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ мавриди омузиш қарор дода шудааст, ки ба гурӯҳи дюралюминий мансуб аст. Ин хӯлаҳо бо сабаби зичии паст ва хосиятҳои баланди механикӣ дар амалия васеъ истифода мешаванд. Бо вуҷуди ин, камбудии асосии онҳо муқовимати паст ба зангзанӣ мебошад. Аз ин лиҳоз, дар кори мазкур кӯшиш карда шудааст, ки бо илова намудани миқдори ками элементҳои ишқорзаминӣ - калсий, стронсий ва барий - хосиятҳои хӯла беҳтар гарданд [3].

Ҳангоми тарҳрезии иншоот ва конструксияҳои муҳандисӣ интихоби мавод нақши ҳалкунанда мебозад. Хосиятҳои механикӣ, таркиби химиявӣ, микросохтор ва устуворӣ ба зангзанӣ омилҳои асосие мебошанд, ки боэътимодӣ ва муҳлати хизмати конструксияҳоро муайян мекунанд. Аз ҳамин сабаб, имрӯз дар сохторҳое, ки зери таъсири сарбории зиёд ва муҳитҳои зангзананда қарор доранд, истифодаи хӯлаҳои алюминий, аз ҷумла дюралюминий, бештар ба назар мерасад [4].

Қайд кардан зарур аст, ки «истифодаи дастовардҳои илму техника ва инчунин омузишу ба эътибор гирифтани хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣ хӯлаҳо барои соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ аҳамияти бузург дорад» [8]. Коркард ва ҷорӣ намудани равандҳои самарабахши технологӣ имкон фароҳам меорад, ки конструксияҳои боэътимод, камхарҷ ва баландсифати мошинсозӣ таҳия ва истеҳсол карда шаванд.

«Ин равандҳо ба баланд бардоштани нишондиҳандаҳои хосиятҳои хизмати онҳо, коҳиш додани масрафи металл дар конструксияҳо ва дароз намудани муҳлати истифодаи онҳо мусоидат менамоянд» [5].

Бо мақсади ба даст овардан ва беҳтар намудани хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣ хӯлаҳои алюминий, ки дар соҳаҳои гуногун васеъ истифода мешаванд, коркард ва татбиқи технологияҳои наву самаранок зарур мебошад. Омили асосии ноил гардидан ба ин ҳадаф ва истеҳсоли маводди нав анҷом додани таҳқиқоти илмӣ дар самти мазкур ба шумор меравад.

Гузариши равандҳои гуногуни кимиёвӣ ва таъсири омилҳои беруна метавонанд боиси вайроншавӣ ва коҳиш ёфтани сифати маҳсулоти

истеҳсолшуда гарданд. Аз ин лиҳоз, омузиши параметрҳои электрохимиявӣ аҳамияти хоса дорад. Дар сатҳи ваннаи металлӣ мумкин аст пастшавии сифати маҳсулот ва вайрон шудани якхелагии сохтори он ба назар расад. Ин ҳолат асосан ба он вобаста аст, ки ҳангоми омехта кардан ё рехтани металл ғашҳои ғайриметаллӣ ба массаи ғудохта дохил мешаванд. Ин ғашҳо одатан дар шакли қабатҳои (пардаҳои) оксидӣ ё дигар пайвастагиҳои химиявӣ пайдо шуда, метавонанд ба сохтори металл таъсири манфӣ расонанд ва сифати умумии маҳсулотро коҳиш диҳанд.

Яке аз омилҳои муҳим таъсири оксиген мебошад, ки сабаби асосии ҳосилшавии оксидҳо дар сатҳи металлҳо ба ҳисоб меравад. Аз ин рӯ, омузиши таркиб ва хусусиятҳои онҳо аҳамияти калон дорад. Ҳамзамон, бо мақсади беҳтар намудани сифат ва коҳиш додани хароҷоти истеҳсолот, анҷом додани таҳқиқоти илмӣ, аз ҷумла дар самти равандҳои оксидшавӣ ва электрохимиявӣ, зарур ва манфиатбахш мебошад [6].

Дастовардҳои назарраси илм дар ҳамаи соҳаҳои техника бидуни рушди технологияҳои нави истеҳсоли маводди ояндадор ғайриимкон мебошанд. Ба чунин маводди ояндадор ҳулаҳои системаи Al-Be мансубанд, ки бо дарназардошти хусусиятҳои зерин фарқ мекунанд: зичии паст ($2,0-2,4 \text{ г/см}^3$), модули чандирӣ ($140-220 \text{ ГПа}$) ва устуворӣ (мустаҳкамӣ) ($450-600 \text{ МПа}$). Маҳз ҳамин маҷмӯи нишондиҳандаҳо онҳоро бо хосиятҳои баланди механикӣ таъмин менамояд. Бо дарназардошти сабукӣ ва мустаҳкамии баланд, чунин ҳулаҳо махсусан дар соҳаи ҳавопаймосозӣ васеъ истифода мешаванд. Бо вучуди ин, бо мақсади такмил додани хосиятҳои физикавӣ-механикии онҳо, ҳулаҳои мазкур бо дигар элементҳои металлӣ легиронида (чавҳаронида) мешаванд, ки ин ба беҳтар гардидани нишондиҳандаҳои истифодабарии онҳо мусоидат менамояд.

Аз сарчашмаҳои илмӣ маълум аст, ки хосиятҳои гармофизикии ҳулаҳои системаҳои Al-Cu, Al-Cu-Mg ва Al-Cu-Mg-Ag, инчунин равандҳои чавҳаронидани онҳо, мавриди омузиши васеи муҳаққиқон қарор гирифтаанд [7].

Вобаста ба шароити истифода ва муҳити корбурд, махсусият, қонуниятҳои ҷараёни равандҳои кимиёвӣ дар коркарди алюминий муайян, ва аз ҷиҳати илмӣ асоснок карда мешаванд. Ин таҳқиқот ба омузиши нақши металлҳои ишқорзаминӣ -калсий, стронсий ва барий - ҳамчун иловаҳои ҳавҳаркунанда бахшида шудааст. «Дар рафти кор таъсири онҳо ба хосиятҳои механикӣ, гармофизикӣ ва гармодинамикии хӯла, инчунин ба кинетикаи раванди оксидшавӣ ва рафтори электрохимиявии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий мавриди омузиш қарор мегирад» [11, с. 43].

Баъд аз таҳлили сарчашмаҳои илмӣ муайян гардид, ки маълумоти мушаххас оид ба ҷавҳаронидани хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо унсурҳои ишқорзаминӣ дастрас нест. Аз ин рӯ, масъалаи мазкур ҳамчун объекти таҳқиқоти илмӣ интихоб гардида, ба таркиби хӯла ба миқдори кам унсурҳои калсий (Ca), стронсий (Sr) ва барий (Ba) илова карда шуданд. Натиҷаҳои бадастомада барои ғанӣ гардонидани маълумоти илмӣ оид ба хосиятҳои ин хӯла ва асоснок намудани интиҳоби он ҳамчун маводди сохторӣ аҳамияти муҳими назариявӣ ва амалӣ доранд.

Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омӯзиш. Масъалаҳои таъсири элементҳои гуногун ба хосиятҳои физикавӣ-механикӣ ва химиявии хӯлаи алюминийи дар корҳои олимони тоҷик ва рус З. Низомов [106], И.Н. Ғаниев [154], З.Р. Обидов [12], Т.Д. Джураев [36], Ф.И. Квасов [21], И.Н. Фридляндер [48], И.Ф. Колобнев [26], Р.Л. Петров [113], Е.Ф. Чирков [123], В.Г. Шевченко [128], Н.Е. Стручева [111], И.В. Семёнов [43], Л.Ф. Мондольфо [34], Б.М. Лепинских [10] инчунин муҳаққиқони хориҷӣ, аз ҷумла А.А. Alekseev [133], Е.Ф. Chirkov [134], Е.Ф. Chirkov [138], N. Stanford [147], Yang Y. [151] ва дигарон мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд. Аммо таҳлили сарчашмаҳои илмӣ нишон медиҳад, ки оид ба таъсири иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ — калсий, стронсий ва барий — ба хосиятҳои физикавӣ-химиявии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ маълумоти мукамал мавҷуд нест. Дастрас набудани маълумоти кофӣ оид ба

хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва электрохимиявӣ ин система зарурати гузаронидани таҳқиқотро ба миён овард.

Дар ҳамин замина, ҳадафи асосии таҳқиқот муайян намудани хосиятҳои гармодинамикии ҳӯлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми илова намудани металлҳои ишқорзаминӣ (Ca, Sr, Ba), инчунин омузиши кинетикаи оксидшавӣ вобаста ба ҳарорат ва таҳқиқи хосиятҳои зангзанӣ ва электрохимиявӣ он дар муҳити маҳлули хлориди натрий бо концентратсияҳои гуногун мебошад.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ. Таҳқиқоти мазкур дар доираи татбиқи ҳадафҳо ва самтҳои афзалиятноки ҳуҷҷатҳои стратегии давлатӣ, аз ҷумла Барномаи саноатикунории босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон, Стратегияи рушди илм ва технология барои солҳои 2020–2025, инчунин Барномаи миёнамуҳлати рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021–2025 амалӣ гардидааст. Татбиқи ин барномаҳо ба иҷрои ҳадафҳои санади асосии стратегии кишвар Стратегияи рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 равона шудааст. Мутобиқи муқаррароти ин стратегия, Ҷумҳурии Тоҷикистон марҳала ба марҳала аз амсилаи аграрию саноатӣ ба амсилаи саноатӣ-аграрии рушд мегузарад. Дар ин замина, натиҷаҳои таҳқиқоти пешниҳодшуда ба тақвияти заминаи илмӣ-технологии раванди саноатикунории кишвар ва истифодаи самараноки иқтидорҳои ашёи хоми ватанӣ мусоидат мекунанд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот. Ҳадафи асосии ин таҳқиқот омузиши таркиби ҳӯлаҳои нави алюминийи навъи дюралюминий бо сохтори тағйирёфта мебошад, ки дар асоси системаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ таҳия шудаанд. Ҳамзамон дар доираи кор тағйирёбии функцияҳои муҳими гармодинамикӣ ва гармиғунҷоиш (иқтидори гармӣ)-и ин ҳӯлаҳо вобаста ба тағйири ҳарорат, инчунин омузиши кинетикаи оксидшавӣ дар ҳолати сахтӣ ва қонуниятҳои зангзании электрохимиявӣ ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми ҷавҳаронӣ бо калсий, стронсий ва барий мавриди таҳлил ва арзёбӣ қарор дода мешавад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

♦ омузиши функсияҳои асосии гармодинамикӣ ва гармиғунҷоиши хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ вобаста ба ҳарорат ва миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда;

♦ муайян намудани механизми оксидшавӣ дар ҳолати саҳт ва параметрҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи дюралюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ ҳангоми иловаи миқдори ками Ca, Sr ва Ba;

♦ омузиши раванди зангзании электрохимиявии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дар муҳити электролити NaCl ва муайян намудани вобастагии нишондиҳандаҳои зангзанӣ аз миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда ва консентратсияи ионҳои хлорид дар муҳит;

♦ анҷом додани таҳлили микросохтории хӯлаҳои ҳосилшуда ва арзёбии таъсири ҷавҳаронӣ ба тағйироти хосиятҳои механикӣ.

Объекти таҳқиқот: хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ (Al + 4,5 % вазн Cu + 1,0 % вазн Mg) ва металлҳои ҷавҳаркунанда: калсий (Ca), стронсий (Sr) ва барий (Ba).

Мавзӯи (предмети) таҳқиқотро омузиши маҷмуи хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣ, гармодинамикӣ, электрохимиявӣ ва механикии хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо миқдори ками Ca, Sr ва Ba ҷавҳаронида шуда ташкил медиҳад.

Навгони илмӣ

♦ бори аввал қонуниятҳои тағйирёбии ҷузъҳои микросохтории хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ ҳангоми илова намудани миқдори ками металлҳои ишқорзаминӣ Ca, Sr ва Ba муайян ва асоснок карда шуданд;

♦ саҳтӣ ва нишондиҳандаҳои устувории хӯлаҳои нави дюралюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо Sr, Ba ва Ca ҷавҳаронида шудаанд, ба таври таҷрибавӣ муайян ва арзёбӣ гардиданд;

♦ дар раванди таҳқиқот муайян карда шуд, ки иқтидори гармӣ ва дигар функсияҳои асосии гармодинамикии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ вобаста ба тағйири ҳарорат ва миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда, аз ҷумла калсий, барий ва стронсий, тағйир меёбанд;

♦ дар асоси озмоиш, хусусиятҳои кинетикӣ, нишондиҳандаҳои энергетикӣ чараёни оксидшавии дюралюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо иловаи калсий, барий ва стронсий ҷавҳаронида шудааст, муайян гардида, механизми эҳтимолии ин раванд пешниҳод ва тавсиф гардид;

♦ устувории анодӣ ва хусусиятҳои электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминийи бо Sr, Ba ва Ca дар муҳити маҳлули NaCl муайян ва арзёбӣ гардиданд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Аҳамияти назариявии таҳқиқот дар густариши донишҳои илмӣ оид ба қонуниятҳои таъсири металлҳои ишқорзаминӣ (Sr, Ba ва Ca) ба сохтор, хосиятҳои гармодинамикӣ, кинетикӣ оксидшавӣ ва рафтори электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий ифода меёбад. Натиҷаҳои бадастомада имкон медиҳанд, ки механизмҳои тағйирёбии микросохтор ва робитаи он бо хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣ ва механикӣ амиқтар шарҳ дода шаванд. Аҳамияти илмию амалии кор дар он зоҳир мегардад, ки илова намудани миқдори ками Sr, Ba ва Ca ба ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ метавонад боиси беҳтар гардидани маҷмуи хосиятҳои кории дюралюминий васеъ истифодашаванда гардад. Ҳатто беҳбудии нисбатан ночизи нишондиҳандаҳои механикӣ, муқовимат ба зангзанӣ ё кам гардидани арзиши аслии мавод дар шароити истеҳсолоти саноатӣ метавонад самараи иқтисодии назаррас ба бор оварад.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

– дар натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавӣ анҷомдодаи муҳаққиқ муайян карда шудааст, ки ҷавҳаронии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий боиси тағйирёбии микросохтор ва таркиби фазавӣ он гардида, вобаста ба консентратсияи элементҳои ҷавҳаронӣ хосиятҳои механикӣ ҳӯларо беҳтар менамояд.

– вобастагии гармиғунҷоиш, коэффитсиенти гармигузаронӣ, энталпия, энтропия ва энергияи озоди Гиббси ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ аз ҳарорат ва консентратсияи иловаҳои калсий, стронсий ва барий муайян карда шуда,

таъсири ин элементҳо ба функцияҳои асосии термодинамикии ҳӯла аз ҷиҳати илмӣ асоснок карда шудааст.

– муайян карда шудааст, ки ҷавҳаронии ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий суръати оксидшавиро дар ҳарорати баланд ва суръати коррозияро дар муҳити маҳлули $NaCl$ коҳиш дода, устувории анодӣ ва муқовимати коррозионии онро баланд мебардорад.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада бо маҷмуи омилҳо таъмин карда мешавад, аз ҷумла: истифодаи таҷҳизоти муосири озмоишӣ, ки тибқи талаботи амалкунанда аз санҷиши метрологӣ, сертификатсия ва калибронӣ гузаштаанд; татбиқи усулҳои эътирофшудаи физикавӣ-кимиёвӣ ва электрохимиявии таҳқиқот; тақрорпазирии натиҷаҳои таҷрибавӣ; инчунин мутобиқати маълумоти ҳосилшуда бо қонуниятҳо ва концепсияҳои муосири назариявии маводшиносӣ ва химияи физикӣ. Илова бар ин, таҳлили муқоисавии натиҷаҳо бо маълумоти адабиёти илмӣ ва коркарди омории маълумоти таҷрибавӣ сатҳи баланди боэътимодии хулосаҳои пешниҳодшударо тасдиқ менамояд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Диссертатсия аз рӯйи мазмун, самти таҳқиқот ва наwgонии илмӣ ба бандҳои зерини шиносномаи ихтисоси 2.5.16. Маводшиносӣ дар саноати металлургия мутобиқат менамояд:

Банди 1. Таҳқиқотҳои назариявӣ ва таҷрибавии алоқаи бунёдии таркибу сохтори мавод бо маҷмуи хосиятҳои физикӣ-механикӣ бо мақсади таъмини эътимоднокии ва дарозумрии маводҳо ва маснуотҳо;

Банди 2. Доир ба асосҳои илмӣ кор карда баромадани маводҳои дорои хосиятҳои муайяндошта, ки вобаста ба шароити истеҳсол ва истифода дар маснуоту конструксияҳо татбиқ шавад;

Банди 3. Кор карда баромадани равандҳои физикию химиявӣ ва физикию механикии ташаккули сохти маводҳое, ки дорои хосиятҳои додашуда ҳастанд;

Банди 4. Тарҳрезӣ ва бунёди маводди нав, ки хосиятҳои беназири функционалӣ, физикӣ-механикӣ, амалиётӣ-технологӣ, арзиши оптималӣ ва экологӣ тоза мебошад;

Банди 10. Таҳия ва пешниҳоди раванди баланд бардоштани тобоварии мавод ба зангзанӣ дар шароитҳои гуногуни корӣ.

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ. Саҳми шахсии муаллиф дар интихоби самти таҳқиқот ва асосноккунии масъалаи илмӣ, таҳияи нақша ва барномаи таҷрибавии кор, инчунин иҷрои мустақилонаи қисми асосии таҳқиқот ифода меёбад. Муаллиф бевосита синтези ҳулаҳои таҷрибавӣ, гузаронидани озмоишҳои физикавӣ-кимиёвӣ ва электрохимиявӣ, ҷамъоварӣ, коркард ва таҳлили натиҷаҳои бадастомадаро анҷом додааст. Ҳамчунин муаллиф дар ҷамъбаст ва тафсири илмии натиҷаҳо, таҳияи хулосаҳо ва тавсияҳои амалӣ, омода намудани мақолаҳо барои нашр дар маҷаллаҳои тақризшаванда ва пешниҳоди натиҷаҳо дар конфронсҳои илмӣ саҳми мустақим гузоштааст.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои таҳқиқот. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар як қатор конфронсҳои илмии сатҳи ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ гузориш дода шуда, мавриди муҳокима қарор гирифтаанд, аз ҷумла: конференсияи VIII байналмилалии «Мушкилоти муосири физика», Муассисаи давлатии илмии «Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» (Душанбе, 2022); конференсияи байналмилалии илмии «Рушди инноватсионии илм», Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (Душанбе, 2022); конференсияи илмӣ-назариявии ҷумҳуриявии «Мушкилоти химияи муосир ва ҳолати татбиқи он дар раванди таълим» (Данғара, 2022); конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Мушкилоти актуалии илмҳои техникӣ, дақиқ ва риёзӣ», бахшида ба «Бистсолаи омузиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (2020-2040)» ва дар доираи эълони солҳои 2022-2026 – «Солҳои рушди саноат», Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав (Бохтар, 2024).

Муҳокимаи натиҷаҳо дар ин чорабиниҳои илмӣ ба такмил ва дақиқсозии хулосаҳои пешниҳодшуда мусоидат намуда, аҳамияти илмӣ ва амалӣ доштани таҳқиқотро тасдиқ менамояд.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Маълумоти нави илмӣ бадастомада дар 13 мақолаҳои дар маҷаллаҳои тақризшаванда ва маҷаллаҳои конфронсҳои сатҳи ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ нашр шудаанд. Ҳамзамон, барои натиҷаҳои муҳим ва навгониҳои таҳқиқот Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи муаллиф (№1528 ТҶ, аз 13.03.2024) ва як Нахустпатент дар ҳаммуаллифӣ (№1365 ТҶ, аз 08.11.2022) гирифта шудааст, ки эътимоднокии ҳуқуқӣ ва амалӣ будани натиҷаҳои таҳқиқотро тасдиқ мекунад.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия тибқи талаботи меъёрҳои диссертатсионӣ омода шудааст ва аз қисмҳои зерин иборат аст: муқаддима, панҷ боб, замима ва рӯйхати адабиёт. Ҳаҷми умумии диссертатсия 196 саҳифа буда, он дорои 71 расм ва 40 ҷадвал мебошад, ки дар он натиҷаҳои таҷрибавӣ, таҳлилҳои микросохторӣ ва графикҳои вобастагӣ пешниҳод гардидаанд.

БОБИ 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАҲОИ АЛЮМИНИИ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНИИ (Шарҳи адабиёт)

1.1. Сохтор ва хосиятҳои хӯлаҳои алюминии навӣи дюралюминий

Алюминий - унсури химиявии металлӣ буда, дар чадвали даврии элементҳои Д.И. Менделеев ба гурӯҳи III, давраи дуюм мансуб аст. «Алюминийи тоза металлӣ сабуки дорои ранги сафеди нукрагун ва тобиши хос мебошад. Он бо чандирии баланд, қобиляти хуби қатшавандагӣ ва коркардшавандагӣ фарқ мекунад, ки имкон медиҳад аз он варақ, фолга, сим ва дигар маснуоти нимтайёр истеҳсол карда шавад. Алюминий инчунин беҳтарин ноқил (гузаронандаи) гармӣ ва ҷараёни барқ мебошад» [21].

Хӯлаҳои алюминий, аз рӯи тарзи истеҳсоли маҳсулот аз онҳо ба ду гурӯҳи асосӣ ҷудо мешаванд:

1. Хӯлаҳои деформатсияшаванда, ки бо пластикии баланди худ дар ҳолати гармӣ фарқ меkunанд;

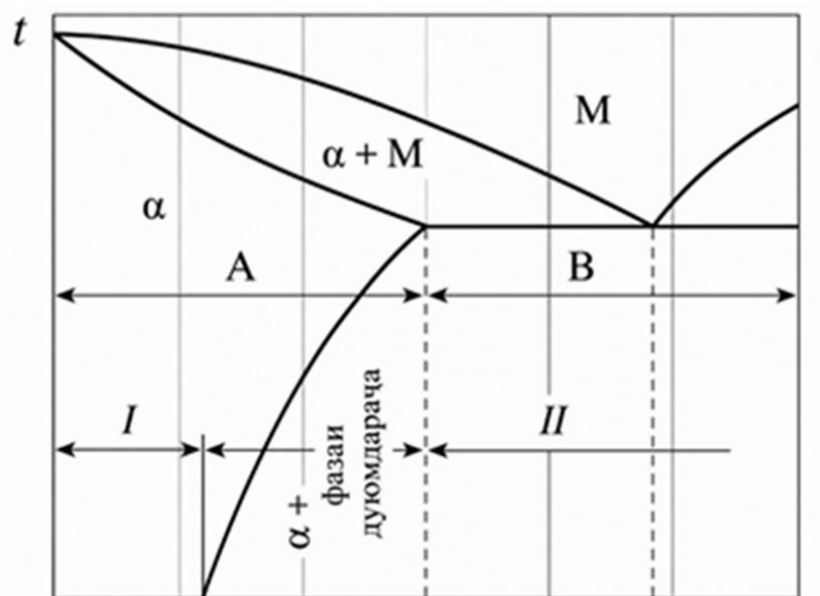
2. Хӯлаҳои рехтагарӣ, ки бо моеъи хуб будан ва қобиляти рехтан фарқ меkunанд.

«Ин гурӯҳбандӣ хусусиятҳои асосии технологӣ ва самтҳои истифодаи амалии хӯлаҳоро инъикос менамояд. Барои ба даст овардани хосиятҳои зарурӣ ба алюминий миқдори муайяни элементҳои ҷавҳаркунанда илова карда мешаванд» [146].

«Дюралюминий хӯлаи дорои устувории баланд аст. Ҷузъи асосии иловаи он мис (Cu) буда, миқдори он дар ҳудуди 2,2-7% тағйир меёбад. Дар таркиби он ба миқдори муайян ғашҳои оҳан ва силитсий, мавҷуд мебошанд. Вобаста ба соҳаи истифода ва талаботи техникӣ, хӯла метавонад бо элементҳои манган (Mn) ва магний (Mg) низ ҷавҳаронида шавад. Бинобар хусусиятҳои сохтории худ, дюралюминий нисбат ба алюминийи холис чандирпазирии камтар ва вазни кам дорад, ки ин хосият барои саноати ҳавопаймосозӣ аҳамияти калон дорад» [122, с. 125-126].

Хӯлаҳои алюминий, ки бо унсурҳои ҷавҳаркунанда, аз ҷумла Cu, Mg, Zn, Si, Mn, Ca, Sr, Ba, Cr, Sc ва ғ. ғанӣ гардонида шудаанд (расми 1.1), «бо

устувории баланд, катшавандагии кофӣ, ноқилияти (интиқолдиҳандагии) гармӣ ва барқ, устувории бештар ба зангзанӣ тавсиф карда мешаванд» [61, с. 167]. «Хӯлаҳои алюминий дар соҳаҳои гуногуни мошинсозӣ васеъ истифода мегарданд. Барои ҳосил намудани хосиятҳои механикию технологии зарурӣ алюминийро бо элементҳои гуногун ҷавҳарнок мекунанд, аз ҷумла бор, оҳан, силитсий, магний, манган, мис, хром, рух, титан, сирконий, литий, скандий. Солҳои охир ба онҳо инчунин нуқра илова карда истодаанд. Ин раванд метавонад ба бештар гардидани нишондиҳандаҳои механикӣ, баланд шудани устуворӣ ба зангзанӣ ва афзоиши дарозумрии маснуот мусоидат намояд» [122; 61; 33].



ЭЛЕМЕНТИ ҶАВҲАРОНӢ

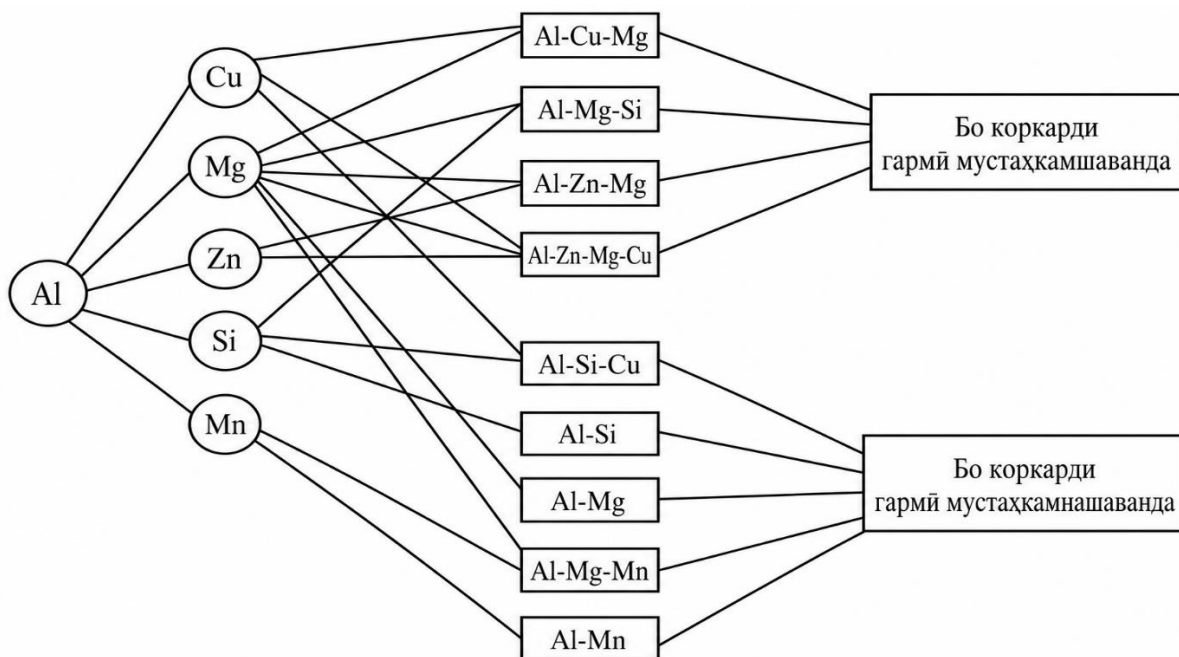
Расми 1.1. – Диаграммаи ҳолати алюминий - элементҳои ҷавҳаронӣ (диаграмма): А - хӯлаҳои деформатсияшаванда; В - хӯлаҳои рехтагарӣ;

I - хӯлаҳое, ки саҳт намешаванд; II - хӯлаҳое, ки бо коркарди гармӣ устувор гардонида мешаванд.

«Аксарияти металлҳои иловашаванда ба алюминий маҳлули сахтеро бо ҳалшавандагии маҳдуд ва тағйирёбанда дар фазаҳои мобайнӣ ҳосил мекунанд. Ин имконият фароҳам меорад, ки хӯлаҳо ба коркарди самараноки гармӣ обутоб дода шаванд. Дар натиҷаи обутоб то маҳлули сахти сер табдил меёбанд» [122; 61; 33].

Бо дарназардошти тарзи истеҳсол ва таъиноти технологии онҳо, хӯлаҳои алюминийро Ғаниев И.Н. ба ду гурӯҳи асосӣ ҷудо мекунад (расми 1.2): «...хӯлаҳои деформатсияшаванда ва хӯлаҳои рехтагарӣ. Хӯлаҳои деформатсияшавандаи алюминий асосан барои истеҳсоли маҳсулоти нимтайёр истифода мешаванд. Онҳо тавассути усулҳои коркарди металл бо фишор, ба монанди прокат, пресскунӣ ва оҳангарӣ, ба шакли дилхоҳ дароварда мешаванд. Хӯлаҳои рехтагарӣ бошанд, барои ҳосил кардани ҷузьҳо ва маҳсулоти шаклдори рехташуда пешбинӣ гардидаанд» [12].

«Илова бар ин, вобаста ба таъсири коркарди гармӣ, хӯлаҳои алюминий ба ду зергурӯҳ ҷудо мешаванд: мустаҳкамшаванда ва мустаҳкамнашаванда» [65].



Расми 1.2. – Таснифоти хӯлаҳои алюминий вобаста аз коркарди ҳароратӣ.

Вобаста ба навъ ва миқдори металлҳои иловашуда, хосиятҳои физикавӣ-химиявии хӯлаҳои алюминий муайян гардида, тибқи таркиби фазавӣ ва механизми мустаҳкамшавӣ ба 9 гурӯҳ ҷудо мешаванд. Вақте ки ба хӯлаи яксистема металлҳои дигар илова карда мешаванд, сохтор ва таркиби он тадриҷан тағйир меёбад. Дар натиҷа, хӯла ба системаи мураккабтар табдил ёфта, гарчанде хосиятҳои асосии худро нигоҳ медорад, ҳамзамон хусусиятҳои нави муфид низ ба даст меорад, ки имкониятҳои истифодаи

онро васеъ мекунад. Захаров В. В. «...ба системаҳои асосии хӯлаҳои алюминий инҳоро мансуб медонад: Al–Mn, Al–Mg, Al–Cu, Al–Cu–Mg, Al–Mg–Si, Al–Cu–Mg–Si, Al–Zn–Mg, Al–Zn–Mg–Cu» [89].

«Вобаста ба мавҷудияти ғашҳои таркибӣ, хӯлаҳои алюминий метавонанд дорои сохтори устувор гарданд. Онҳо дар хӯлаҳо ва маҳлулҳои саҳт фазаи маҳлули ҳалнашавандаро ташкил медиҳанд: FeAl_3 , $\alpha(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Si})$ ва $\beta(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Si})$. Новобаста аз шакл (табақашакл, сӯзаншакл ва ғайра), кристаллҳои ин фазаҳо хусусиятҳои пластикӣ, часпакии вайроншавӣ ва муқовимат ба инкишофи тарқишҳоро коҳиш медиҳанд» [122]. Илова намудани манган (Mn) ба имкон медиҳад, ки таъсири манфии чунин омехтаҳо камтар гардад. Ин ба он вобаста аст, ки манган ба ташаккули фазаи мураккаби ҳаҷоркомпонентӣ $\alpha(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Si}, \text{Mn})$ мусоидат мекунад. Дар натиҷа ин омехтаҳо ба як шакли устувори кристаллизатсияшуда табдил меёбанд ва таъсири зараровари онҳо ба сохтори мавод кам мешавад.

Хӯлаҳои системаи Al–Cu–Mg навъи D16

«Хӯлаҳое, ки дорои тақрибан 4,0% мис, 0,5% магний ва 0,5% манган мебошанд, бори аввал соли 1908 аз ҷониби олими олмонӣ А. Вилм пешниҳод гардидаанд. Ин хӯлаҳо бо номи дюралюминий маъруф буда ба гурӯҳи калони хӯлаҳо асос гузошт, дар рушди соҳаи ҳавопаймосозӣ нақши бузург бозид» [113, с. 30-33].

«Ҳамаи навъҳои дюралюминий, ки айни замон дар саноат истифода мешаванд, вобаста ба таркиби химиявӣ ва маҷмуи хосиятҳои механикӣ ба чор зергурӯҳи асосӣ ҷудо карда мешаванд: 1) дюралюминийи классикӣ (D1), ки таркиби он аз замони ихтирои А. Вилм амалан бетағйир боқӣ мондааст; 2) дюралюминийи устувориаш баланд (D16), ки нисбат ба D1 бо миқдори бештари магний фарқ мекунад; 3) дюралюминийҳои ба гармӣ муқовимати баланд дошта (D19, VAD1, VD17), ки хусусияти асосии онҳо дар муқоиса бо D1 зиёд будани таносуби Mg/Cu буда, устувори баландро дар ҳароратҳои баланд таъмин менамояд; 4) дюралюминийҳои дорои пластикии баланд (D18

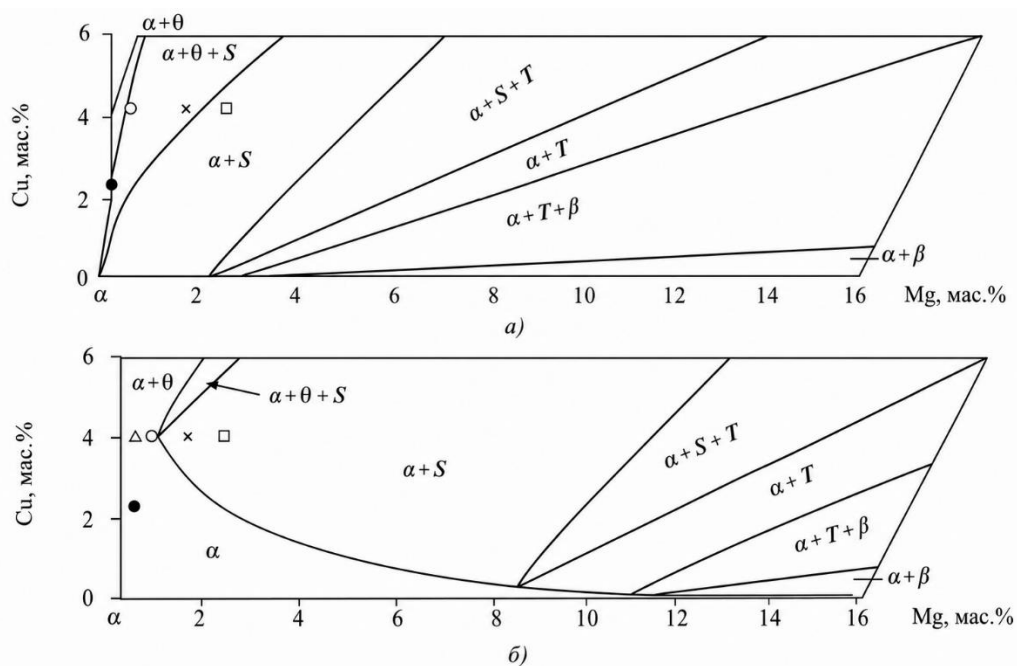
ва B65), аз хӯлаи D1 асос гирифтаанд, аммо аз он бо миқдори камтари баъзе ё хамаи компонентҳои таркибӣ фарқ мекунанд» [118; 119; 87].

«Дюралюминийҳо одатан миқдори муайяни ғашҳои ногузири оҳан ва силитсийро (тақрибан даҳяки фоиз) дар бар мегиранд. Аз ин сабаб онҳо ба гурӯҳи хӯлаҳои бисёркомпонента дохил шуда, бо таркиби фазавии нисбатан мураккаб фарқ мекунанд. Барои фаҳмидани фазаҳои асосие, ки ба сохтор ва хосиятҳои ин хӯлаҳо таъсири асосӣ мерасонанд, одатан аз диаграммаи ҳолати низоми сегонаи Al–Cu–Mg истифода мебаранд» [141, с. 1303-1308].

Дар расми 1.3 буриши ҳароратии алюминий ва диаграммаи ҳолати низоми Al–Cu–Mg дар ҳарорати 220°C нишон дода шудааст. Дар ин диаграмма қачхатаҳои политермии ҳалшавандагии ҳадди аксари мис ва магний дар алюминий ба таври равшан инъикос ёфтаанд.

Таҳлил нишон медиҳад, ки нуқтаҳои таркибии дюралюминийҳо ба минтақаҳои фазавии $\alpha+\theta$ (Al_2Cu), $\alpha+\theta$ (Al_2Cu)+S (Al_2CuMg) ва α +S (Al_2CuMg) мутобиқат мекунанд.

Ҳангоми зиёд шудани миқдори магний дар таркиби дюралюминий ва боло рафтани таносуби Mg/Cu, таркиби фазавии он тадриҷан дигаргун шуда, ба пайдоиш ва афзоиши фазаҳои нав оварда мерасонад: масалан, барои хӯлаи B65 минтақаи $\alpha+\theta$ хос аст, дар ҳоле ки дар хӯлаи VD17 асосан фазаи α +S ташаккул меёбад. Ҳангоми ҳарорати баланди ба солидус наздик, нуқтаҳои фигуративии хӯлаҳои навъи V65, D18 ва D1 ба ҳудуди якфаза меафтанд, хӯлаҳои D16, D19 ва VAD1 бошанд, дар минтақаи дуфазавии $\alpha + S$, вале дар ҳудуди сарҳади якфазагӣ боқӣ мемонанд. Яъне, маҳлулшавии фазаҳои θ ва S бо баланд гардидани ҳарорат афзоиш меёбанд. «Ҳангоми гарм кардани дюралюминийҳо то ҳарорати тақрибии 500°C, дар алюминий фазаҳои байниметаллӣ пурра ё қариб пурра ҳал мегарданд. Вобаста ба мавҷудияти миқдори андаки манган, оҳан ва силитсий дар хӯлаҳо фазаи $T(\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu})$ -яъне маҳсули таҷзияи маҳлули саҳт ҳосил мешавад» [10; 110, с. 25-27; 53; 52].



Расми 1.3. – Кунчи алюминийи дар диаграммаи ҳолати Al-Cu-Mg.

«Ворид намудани парокандаи фазаи манган Т ба таркиби дюралюминийҳо хосиятҳои онро беҳтар менамояд: он боиси баланд шудани ҳарорати рекристаллизатсияи аввалия гардида, рушди донаҳоро ҳангоми рекристаллизатсияи дуюм мушкил мегардонад, ки дар натиҷа ба афзоиши муайяни хосиятҳои устуворӣ ва муқовимат ба зангзанӣ сабаб мегарданд» [55; 97, с. 715-716; 58, с. 92-95; 96, с. 262-263].

Дар амалия, барои беҳтар намудани хосиятҳои рехтагарӣ таносуби оҳан ва силитсийро дар таркиби хӯла ба танзим медароранд. Ба ақидаи Кримский, С.В. «...дар хӯлаи Д16, ҳангоми рехтани намунаҳо (кутбаи рехтагарӣ) бо қутри зиёда аз 600 мм, миқдори силитсийӣ 0,06–0,08 % ва оҳан - 0,10–0,13 фоизро ташкил медиҳад» [96, с. 264-265].

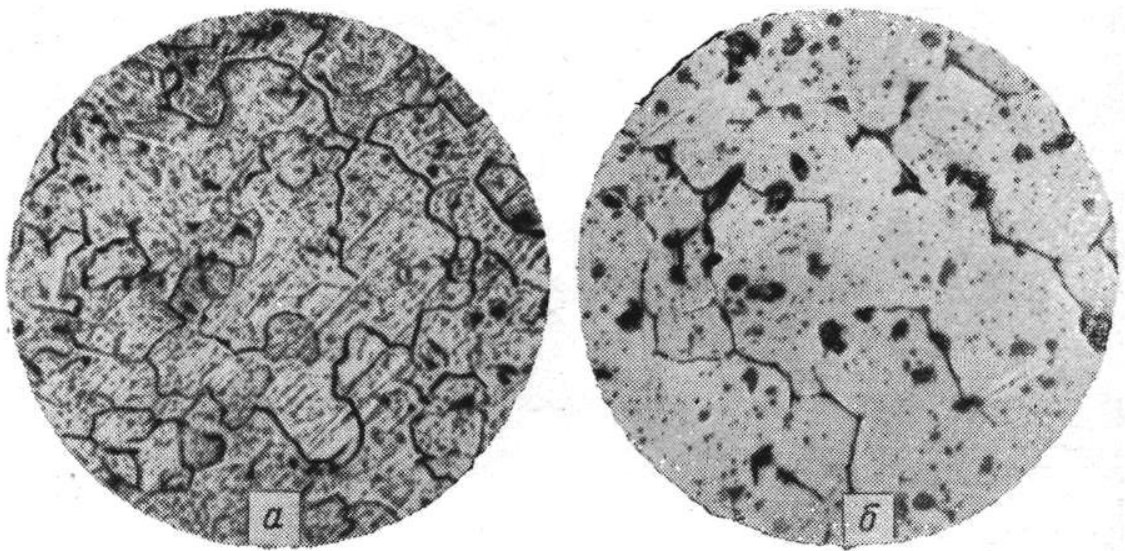
Қайд кардан зарур аст, ки хӯлаҳои D1 ва D16 дар сохтани мошинҳои парвозкунанда қорбасти васеъ доранд. «Хӯлаҳои мазкур махсусан, барои истеҳсоли варақаҳо, профилҳо, кубурҳо, симҳо, қолабҳо ва пораҳо самаранок истифода мегарданд; барои истеҳсоли ашёи нимҳом (нимфабрикатҳо) низ хӯлаи D16 истифода бурда мешавад. Хӯлаҳои D18 ва B65, ки дорои қобилияти қатшавии баланд мебошанд таъиноти маҳдуд доранд, асосан

барои истеҳсоли парчҳо истифода мешаванд. Хӯлаҳои VD17, D19 ва VAD1 имконият медиҳанд, ки маҳсулоти гуногуни нимтайёриҳои деформатсионии дар ҳарорати баланд истифода шавандаро ҳосил намоем» [15; 6; 144, с. 1223].

Чуноне қайд мегардад: «Хӯлаҳои системаи Al–Cu–Mg бо иловаҳои манган бо номи дюралюминий (D1, D16, D18, D19, VD17) маъруфанд» [139, с. 83]. Онҳо дорои фазаҳои хуби (дисперсияи) парокандашавандаи хурди Al_2Cu ва Al_2CuMg мебошанд (расми 1.4). Ин хӯлаҳо ба шарофати хосиятҳои устувории беназир баъди обутоби махсус, куҳнашавии табиӣ ва ё сунъӣ, тобоварӣ ба ҳарорати баланди то 200 °C, дар ҳавопаймосозӣ ва техникаи мушакӣ васеъ истифода мегарданд. «Солҳои охир хӯлаи D16ч (тоза), ки дар таркибашон оҳан ва силитсий камтар аз 0,3% доранд, ва муқовимати он ба шикастан баланд аст, барои истеҳсоли маҳсулоти махсус истифода мегардад» [145, с. 575].

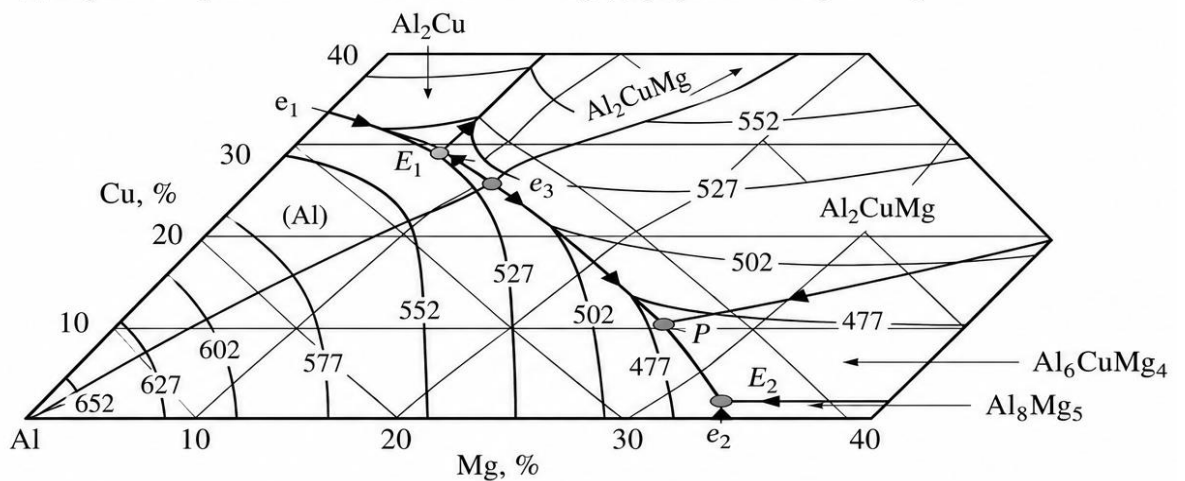
Ин система барои гурӯҳи васеи хӯлаҳои алюминий аҳамияти асосӣ дорад, ки одатан ҳамчун маводди қобили деформатсия ва коркардшаванда истифода мешаванд.

Вале аз ҷониби Ассотсиатсияи алюминий хӯлаҳои дигари рехтагарӣ, аз ҷумла AA206.0, пешниҳод шудаанд. Хӯлаҳои мазкур, бо дарназардошти истифодаи васеи системаи Al–Cu–Mg, таҳлили диаграммаи фазавии он, бахусус дар минтақаи кунҷи буриши алюминий, аз ҷониби олимони ҳаматарафа таҳқиқ шудаанд ва натиҷаҳои комилан пурра дар [150, с. 177; 149, с. 929; 34] пешниҳод гардидаанд. Бо истифода аз барномаи ThermoCalc, амсилаи гармодинамикӣ барои чунин хӯлаҳо сохта шудааст, ки бо маълумотномаи [34] мувофиқ мебошад. Дар расми 1.5 нусхаи диаграммаи фазавӣ барои ин хӯлаҳо нишон дода шудаанд.

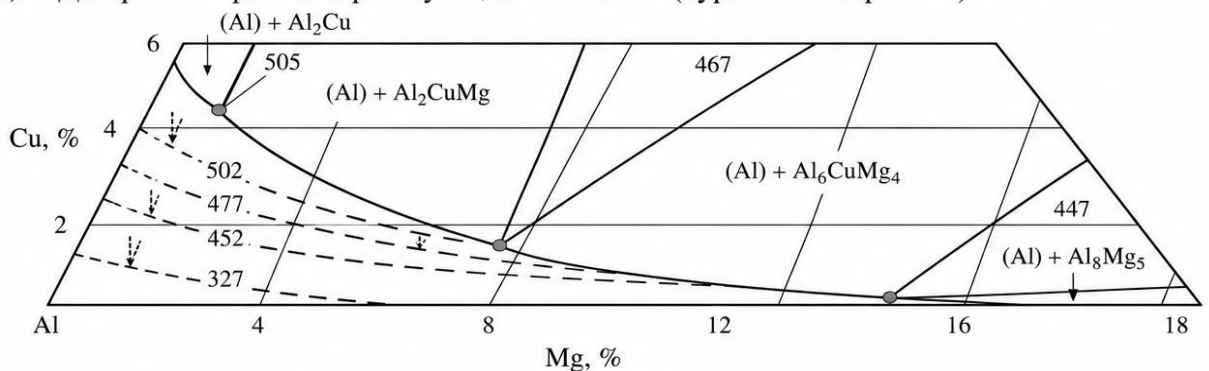


Расми 1.4. – Хӯлаи D16 пас аз обутоб: *а* - X 100; *б* - X 200.

(A) Диаграммаи фазавии системаи Al–Cu–Mg (ҳарорати изотерми °C)



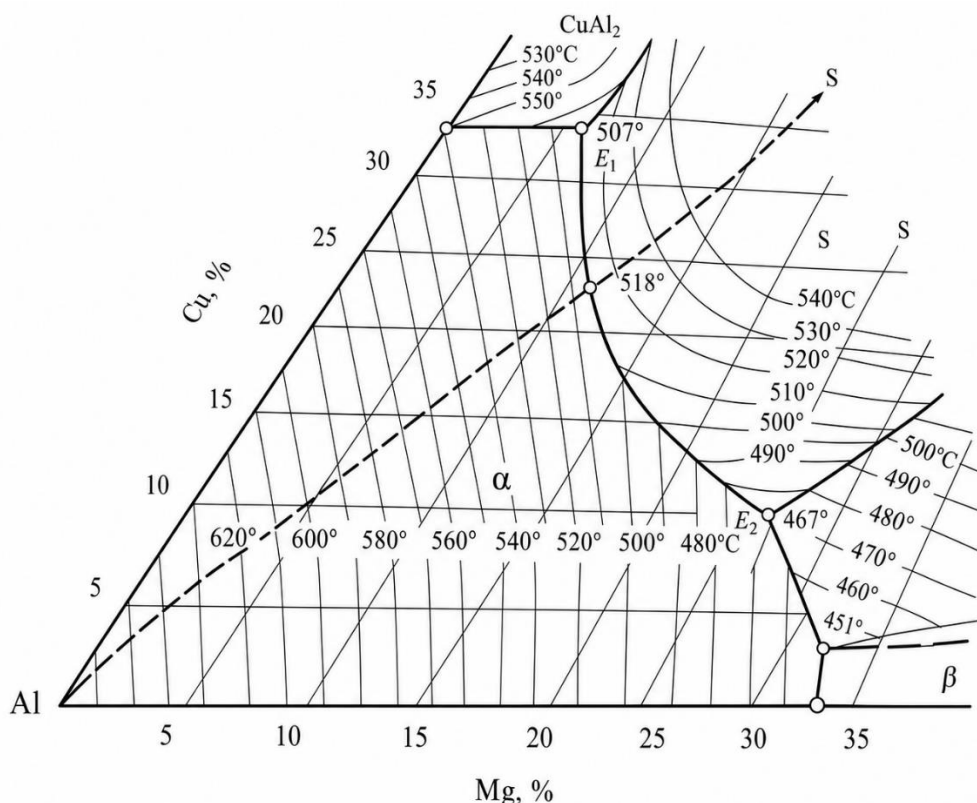
(B) Диаграммаи фазавӣ барои хӯлаҳои алюминий (буриши изотерми °C)



Расми 1.5. – Диаграммаи фазавии Al–Cu–Mg: (A) проексияи ликвидус ва (B) тақсимои майдонҳои фазавӣ дар ҳолати сахтӣ.

«Таркиби хӯлаҳои системаи Al–Cu–Mg дар ҳолати маҳлули сахт, шароити ташаккулёбӣ ҳангоми обутобдихӣ ба муназзамӣ ва дараҷаи таҷзияи онҳо дар раванди кӯҳнашавии минбаъда таъсир мерасонанд» [152].

Микросохтори дюралюминий бо он фарқ мекунад, ки он як хӯлаи бисёркомпонента буда, таркиби фазавии нисбатан мураккаб дорад. Ғашҳои оҳан, силитсий ва манган дар таркиби маҳлули саҳт мавҷуданд ва ё дар шакли пайвастагиҳои химиявӣ, аз қабيلي AlMg_2Mn , AlFeSiMn ва AlFeCuSi , ҳузур доранд, ки ба чараёни фазаҳои гуногун табдилшавӣ ба хӯла таъсири назаррас намерасонанд. Аз ин нуқтаи назар, сохтори асосии таркиби хӯлаҳо маҳлули саҳти α , фазаи θ (CuAl_2), S (Al_2CuMg), T ($\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{Zn}_3$) ва β (MgZn_2) мебошанд (расми 1.6) [10; 123, с. 176].



Расми 1.6. – Сатҳи ликвидуси системаи Al-Cu-Mg.

«Дар навбати худ, хӯлаҳои системаи Al–Cu–Mg ба ду гурӯҳ – тавассути гармӣ устуворшаванда ва ғудохтаи кафшернашаванда ҷудо карда мешаванд. Ин хӯлаҳо асосан дар ҳолати куҳнашуда истифода мешаванд, зеро дар ин ҳолат онҳо мутаносибияти хуби хусусиятҳои механикӣ, аз ҷумла тобоварӣ, муқовимат ба вайроншавӣ ва паҳншавии тарқишҳои куҳнашударо нишон медиҳанд» [135, с. 596; 136, с. 1731-1732]. «Дар ҳолати куҳнашавии табиӣ шиддати кашиш σ_v тақрибан 340-550 МПа ва шиддати ҳосилшавии қадамӣ $\sigma_{0,2}$ тақрибан 200-360 МПа мебошад. Аз ҷиҳати муқовимат ба зангзанӣ,

хӯлаҳои системаи $Al-Cu-Mg$ нисбат ба хӯлаҳои системаи $Al-Zn-Mg-Cu$ камтар устуворанд, аммо дар муқовимат ба афзоиши тарқишҳои куҳнашавӣ устувории бештар доранд» [152].

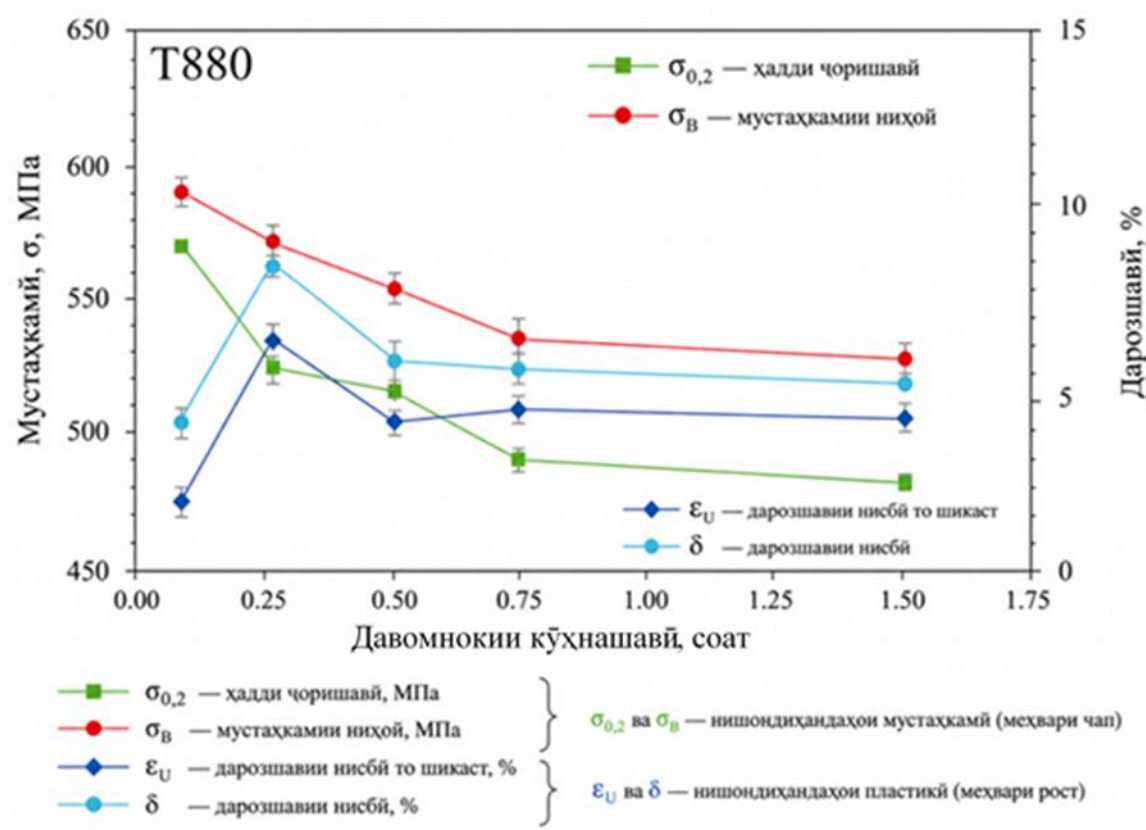
«Дар ҳолати куҳнашавии табиӣ маҳсулоти нимтайёр устувории қаноатбахш нисбат ба зангзанӣ доранд, аммо ҳангоми гармӣ то $80^{\circ}C$ ва боло аз он, як коҳишёбии муайян мушоҳида мешавад» [136, с. 1733-1734; 134, с. 697; 138, с. 2041].

Дар ҳолати куҳнашавии сунъӣ (старение), маҳсулоти нимтайёр устувории бештари ҳосиятҳои муқовимат ба зангзанӣ ҳангоми гармкунӣ, қимати баландтари ҳосиятҳои устуворӣ (хусусан ҳадди ҷоришавандагӣ) доранд, аммо дорои нишондиҳандаҳои пасттари часпакии вайроншавӣ ва тобоварӣ мебошанд.

Рушди соҳаи мошинсозӣ ҷустуҷӯи маводди нави конструксионии дорои устувории баландро тақозо дорад. Ин талабот ба мақсаднокии иқтисодии сохтани конструксияҳои бештар устувор ва сабук вобастааст. Аз ин рӯ, афзудани устувории хӯлаҳо, яке аз масъалаҳои умдаи назариявӣ ва амалии илмҳои металлургӣ ба ҳисоб меравад.

«Ба туфайли ҳадди баланди ҷоришавандагӣ дар ҳамбастагӣ бо ёзандагӣ (пластикӣ), хӯлаҳои системаи ҷавҳаронидашудаи $Al-Cu-Mg$, ба таври васеъ истифода мегарданд. Хусусиятҳои онҳо асосан пас аз коркард, аз ҷумла обутоб ва куҳнашавӣ ба даст меоянд. Баъзан барои суръатбахшӣ ва қавитар шудани самараи таъсири куҳнашавӣ (старение) дар фосилаи байни обутоб ва куҳнашавӣ деформатсияи пластикии сард анҷом дода мешавад. Чунин коркард, аз ҳисоби ҳосил шудани миқдори зиёди фазаҳои фосилавии дисперсиявӣ боиси зиёдшавии устуворӣ мегардад, ки метавонанд чун гомоген дар ҷисми донаҳо ё дар нуқсони (дефектҳои) панҷараи кристаллӣ (дислокатсияҳо, ҳудудҳои кунҷҳои хурд) тавлид ёбанд» [2; 148, с. 7-8; 151, с. 4308-4309].

Барои хӯлаи AA2519 (Al–5,64 % Cu–0,33 % Mn–0,23 % мас.) ба сифати стандартии гармомеханикӣ коркарди T87 истифода мешавад (расми 1.7) [151, с. 4310-4312].



Расми 1.7. – «Қаҷхатаҳои кӯҳнашавӣ» (вобастагии устуворӣ ва ёзандагӣ) хӯлаи алюминийи AA2519.

«Айни замон, таҳқиқоти зиёде оид ба такмили технологияи ҳосил намудани хӯлаҳои ин силсила равона шудаанд, масалан хусусиятҳои ташаккули сохтори хӯлаҳои алюминийи Д16 дар шароитҳои гуногун қолабрезии моеъгӣ мебошад» [142, с. 4199-4200].

Солҳои охир таваччуҳи муҳаққиқон ба омузиши таъсири иловаҳои нуқра (Ag) ба хӯлаҳои ин система равона шудааст [25; 7; 56; 59, с. 9-12; 133, с. 281; 32]. «Натиҷаҳо нишон доданд, ки чунин хӯлаҳо то ҳарорати 200°C хосиятҳои устувории худро аз даст намедиханд ва метавонанд ҳамчун маводди конструксионӣ дар асбобҳои ҳавопаймоҳои суръатшон баланд истифода шаванд» [25; 7; 56; 59, с. 13; 133, с. 282; 32]. Хусусияти устувории системаи Al–Cu–Mg–Cu (ҳангоми 6 %мас.) таносуби баланди мис (Cu) ва

магний (Mg) меафзояд, ҳангоми ба вазни тақрибан 0,5 фоиз бо нуқра ҷавҳаронидан дар ҳолати T1 қимати ниҳой (максималӣ) ба таносуби $Cu/Mg=6-9$ афзун мешавад.

1.2. Хосиятҳои гармофизикии ҳӯлаҳои алюминий ва металлҳои ишқорзаминӣ.

Хосиятҳои гармофизикии ҳӯлаҳои алюминий. Алюминий ва ҳӯлаҳои он ҳамчун маводди конструксионӣ дар сохтани ҷузъҳои гуногуни ҷисмҳои саҳт нақши муҳим доранд, ки дар таҳқиқоти физикаи гармо мавқеи хосро ишғол мекунанд. Вале бояд қайд кард, ки «як қатор ҷанбаҳои ба рафтори гармофизикии онҳо вобаста то ҳол пурра омӯхта нашуда, махсусан бо дарназардошти аҳамияти баланди илмӣ ва техникийи онҳо мавриди таваҷҷуҳи олимони қарор доранд» [91, с. 771-773].

«Дар ин замина, барои тавлиди маводди ояндадори композитсионии алюминийи дорои хосиятҳои баланди гармофизикӣ бо истифода аз технологияҳои муосир яке аз масъалаҳои мубрами рӯз ба ҳисоб рафта, дорои аҳамияти калони илмӣ-техникӣ мебошад» [91, с. 774-775].

Маълумоти назариявӣ амалӣ, ки аз ҷиҳати илмӣ асоснок шудаанд, заминаи рушди технологияҳои навро дар шароити ҳароратҳои баланд фароҳам меоранд. Ин маълумот барои таҳлили хусусиятҳои гармофизикии металлҳо ва ҳӯлаҳо аҳамияти калон дорад ва имконият медиҳад, ки рафтори онҳо дар шароити истифодаи воқеӣ пешгӯӣ карда шавад. «Бидуни донишҳои ин хосиятҳо, тавлиди маводди сохтори нав бо нишондиҳандаҳои беҳтари физикӣ барои қор дар ҳароратҳои баланд ғайриимкон мебошад» [91, с. 779-788]. Аз ин нуқтаи назар, «таваҷҷуҳи олимони ва мутахассисон ба омӯзиши хосиятҳои физикаи гармои маводди таркибан нав равона гардидааст» [20].

Вобаста ба ин масъала, дар сарчашмаи илмӣ [16] маълумоти мукамал оид ба масъалаҳои физикаи гармо пешниҳод гардидааст.

Мувофиқи маълумоти адабиёти [29], омӯзиши хосиятҳои гармофизикаи маводди композитии металлӣ бо ду усули асосӣ амалӣ карда мешавад.

1. Бо усули озмоишӣ. Ин равиш ба ҷен қардан ва муайян намудани хосиятҳои гармофизикӣ (мисли гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ)-и ҷисмҳои шаклашон гуногун таъя мекунад. Он бо истифода аз методҳои

маълумл анҷом дода шуда, имконият медиҳад, ки маълумоти дақиқ, боэътимод ва дар амал санҷидашуда ба даст оварда шавад.

2. Муносибати дигар бо баррасии хусусиятҳои воқеии сохтори металлҳо асос ёфтааст, аз ҷумла миқдори компонентҳо масоманокӣ, андозаи зарраҳо ва усулҳои робитаи мутақобили онҳо.

3. Тавре ки Ч. Ламсден қайд намудааст, «барои муайян намудани қобилияти гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши омехта, вобаста ба шакли зарраҳои пуркунанда як қатор формулаҳо пешниҳод гардидаанд, дар ин ҳолат куб аз сифатҳои гармии атмосфера метавонад шинохта шавад, аммо ин танҳо ҳолат дар масоманокӣ калон қобили қабул аст, яъне агар фазои ҳаво зарраҳои устуворро зич фаро гирифта бошанд» [29, с. 219].

Аз таҳқиқоти Н. Ашкрофт ва Н. Мермин низ бармеояд, ки «маълумоти ҳисобшуда ва таҷрибавӣ оид ба гармигузаронии самаранок ва гармиғунҷоиши маводди гуногун бо ҳам муқоиса карда мешаванд ва бо афзоиши дараҷаи масома тафовути байни коэффитсиентҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ бештар мегардад» [5, с. 124].

Механизмҳои асосии гармигузаронӣ ва парокандашавӣ на танҳо барои металлҳои ҳолис, балки барои ҳўлаҳо низ метавонанд бо роҳи таҷрибавӣ муайян карда шаванд. Дар баробари ин, қонуниятҳои назариявие, ки барои металлҳо ва ҳўлаҳо таҳия гардидаанд, имкон медиҳанд, ки хосиятҳои гармофизикии онҳо ба таври таҳлилӣ арзёбӣ карда шаванд. Агар дар бораи хосиятҳои физикии металлҳо ва ҳўлаҳо суҳан ронем, пеш аз ҳама ҷунин нишондиҳандаҳоро ном бурдан мумкин аст: ранг, зичӣ, ҳарорати ғудохташавӣ, гармигузаронӣ, васеъшавии ҳароратӣ, гармиғунҷоиш, электргузаронӣ ва хосиятҳои магнитӣ.

Дар ҳарорати баланд хосиятҳои гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронии як қатор металлҳо, аз ҷумла Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zr, Mb, Mo, Rh, Pd, Gd, Hf, Ta, W, Re, IT ва Pt аз ҷониби С. Г. Талус «дар шароити ҳудудҳои магнитӣ ва ҳангоми мавҷудияти фазаҳои магнитӣ таҳқиқ ва пешниҳод гардидаанд» [156].

Дар асари В.Е. Зиновев «бори аввал маълумоти системанок ва умумӣ оид ба хосиятҳои асосии гармофизикии тақрибан 73 металл ҷамъбаст

гардидааст. Дар ин таҳқиқот маълумот оид ба нишондиҳандаҳои гармофизикӣ дар диапазони ҳарорат аз 100 К то ҳароратҳои болотар аз нуқтаи ғудохташавӣ ба таври графикӣ ва ҷадвали, аз ҷумла, барои мис (Cu) намунаҳои муфассали вобастагии нишондиҳандаҳо аз ҳарорат оварда шудаанд» [19].

Аз рӯи маълумоти [89, с. 8-14] таркиб ва хосиятҳои гармофизикии хӯлаҳои алюминий, ки дар ҳолатҳои гуногуни технологии обутоб-коркарди сард, сахтшуда ва тозашуда қарор доранд, пешниҳод гардидаанд (ҷадвали 1.1).

- ♦ зичии хӯлаҳо, кг/м³;
- ♦ коэффитсиенти гармигузаронӣ, Вт/м·дараҷа;
- ♦ коэффитсиенти ҳаттии ҳароратии васеъшавии, 1/дараҷа;
- ♦ муқовимати ҳоси барқӣ, Ом·м.

Ҷадвали 1.1. – Хусусиятҳои гармофизикии хӯлаҳои алюминий

Хӯла	Таркиб, % масс.				γ , 10 ³ кг/м ³	λ , Вт/(м·°C)			α , 10 ⁻⁶ 1/°C			ρ , 10 ⁻⁸ Ом·м		
	Cu	Mg	Mn	омехтаҳо		деформат -сияшуда	обутобдо -дашуда	тафсон- тафсон- дашуда	293- 373	293- 473	293- 573	деформат -сияшуда	обутобдо -дашуда	тафсон- тафсон- дашуда
A	0,05	–	0,1	Si, Fe	2,71	217	–	225	24,0	24,8	25,9	9,9	8,5	10,1
АМс	0,2	0,03	1,3	Si, Zn	2,73	159	–	188	24,0	24,8	25,9	7,1	6,9	8,6
АМг	0,1	2,5	0,3	Fe, Si	2,67	125	–	125	23,4	24,5	25,4	6,9	5,5	6,9
АМг5	0,2	5,0	0,35	Fe, Si	2,65	83	–	116	23,9	24,8	25,9	4,6	–	–
АВ	<0,6	0,7	0,25	Fe, Zn	2,69	–	170	209	23,4	24,5	25,4	–	7,8	–
Д18	2,6	0,35	0,2	Fe, Zn	2,75	111	122	173	22,0	23,4	24,8	6,6	–	–
Д1	4,3	0,6	0,6	Fe, Si, Ni, Zn	2,80	–	117	170	22,0	23,4	24,8	–	5,2	–
Д16	4,4	1,5	0,6	Fe, Si, Zn	2,80	–	116	169	22,0	23,4	24,8	–	5,2	8,6
АК8	4,4	0,5	0,8	0,8 Si	2,80	–	154	188	22,0	23,4	24,8	–	6,9	8,6
АК4	4,0	0,5	–	–	2,80	–	–	180	22,0	23,1	24,0	–	6,9	–
32S	0,9	1,0	–	–	2,69	–	133	154	19,5	20,5	21,4	–	6,1	6,9

«Дар адабиёти илмӣ дар бораи хосиятҳои гармофизикии гурӯҳи хӯлаҳои алюминий, аз қабилҳои А, АМ, АМг, АМг1, АМг5, АВ, D18, D1, D16, АК8, АК4, 32S ва V95 маълумот оварда шудааст. Хусусиятҳои ин хӯлаҳо асосан дар ҳарорати ҳонагӣ оварда шудаанд, ба ҷуз аз коэффитсиенти васеъшавии

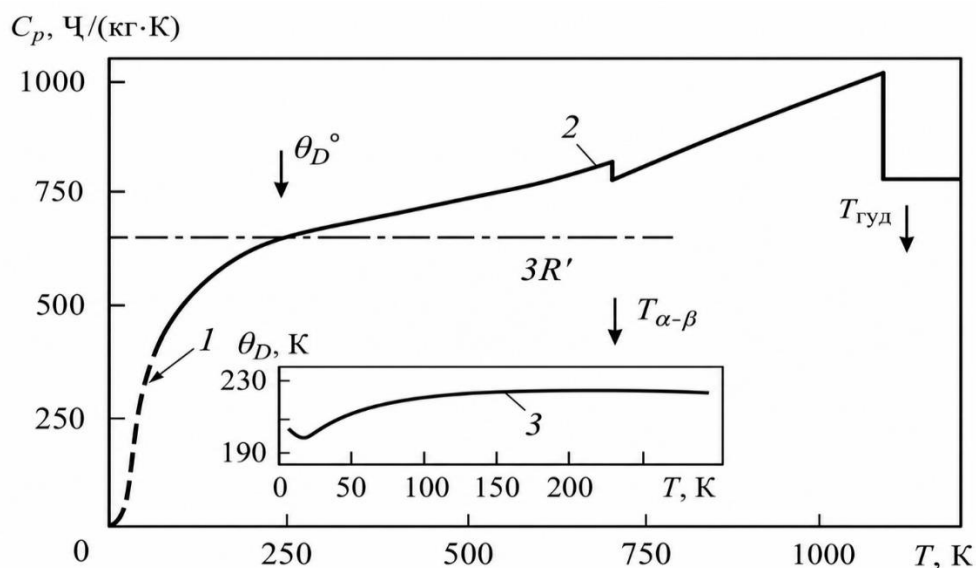
хароратӣ (КТР), дар диапазонҳои ҳароратии 20–100, 20–200 ва 20–300°C» [160].

Гармиғунҷоии калсий. Калсий дар фишори муқаррарӣ ду намуди кристаллографӣ дорад: α -Са, ки бо сохтори гранцентрии кубӣ (г.с.к.), бо давраи панҷараи $a = 0,55884$ нм дар ҳарорати 299 К ба о.с.к. мувофиқат мекунад; β -Са бо нм $a = 0,448$ нм дар ҳарорати 774 К. «Тағйироти кристаллографӣ дар ҳарорати гузариш ба амал меояд, ки мувофиқи сарчашмаҳои гуногун 716 К [136], 737 К [134] ва 740 К нишон дода шудааст» [138].

Дар расми 1.8 ва ҷадвали 1.2 вобастагии гармиғунҷоии калсий аз ҳарорат оварда шудааст. Таҳлили адабиёти [42] нишон медиҳад, ки дар ҳолати моеъ бо афзоиши ҳарорат қимати гармиғунҷоии калсий коҳиш меёбад.

Ҷадвали 1.2. – Хусусиятҳои гармофизикии калсий.

T, K	$d, \text{г/см}^3$	Қим. миёна, $\rho/(\text{кг}\cdot\text{К})$		$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	$\rho \cdot 10^8, \text{Ом}\cdot\text{м}$
		[23]	[40]			
50	-	-	-	-	-	0,231
100	-	500,1	-	-	-	0,867
200	1,551	612,7	-	229	-	2,13
300	1,539	646,4	646,4	198	197	3,44
400	1,527	669,4	668,4	177*	181*	4,72
500	1,516	610,7	710,7	165*	175*	6,01
600	1,504	757,0	757,0	151*	172*	7,34*
700	1,548	807,5	808,4	139*	172*	8,69*
715 $_{\alpha}$	1,546	816,7	816,7	141*	178*	8,91*
715 $_{\beta}$	1,51	785,0	785,0	137*	164*	-
800	-	843,7	858,5	124*	159*	10,1*
900	-	915,8	927,1	94,1*	130*	10,4*
1000	-	990,6	983,4	80,0*	120*	12,7*
1100	-	1066,8	1072,7	-	-	14,2*
1114 $_s$	-	1077,4	1136,7	-	-	14,4*
1114 $_t$	-	773,4	814,8	-	-	32,0*
1200	-	773,4	807,4	-	-	32,0*
1400	-	773,4	792,2	-	-	-
1600	-	773,4	778,6	-	-	-

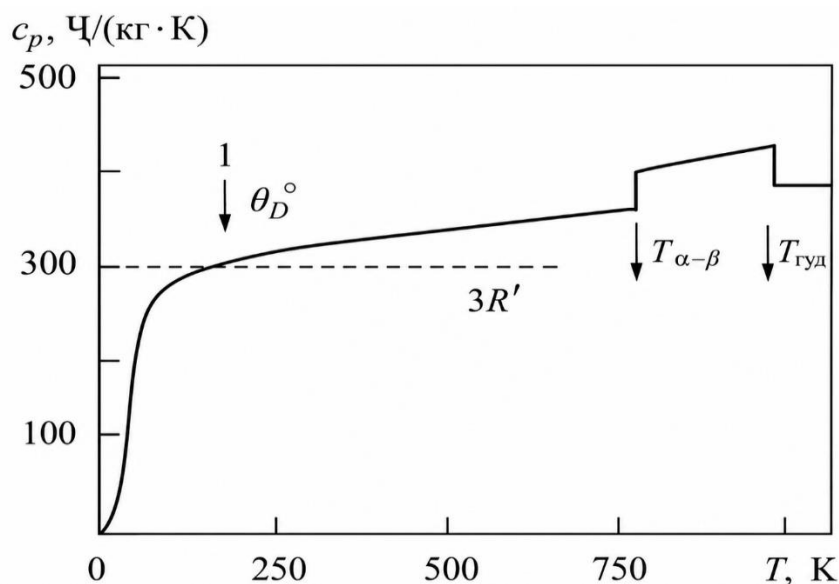


Расми 1.8. – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси (C_p) калсий:

1 - [137, с. 335]; 2 - [134, с. 698]; 3 - маълумоти [42] оид ба ҳарорати Дебай (θ_D)

Гармиғунҷоиши стронсий. Маълумот оид ба хосиятҳои гармофизикии стронсий, ки бо роҳи ҳисобкунӣ қимати ҳарорати хонагӣ ба даст оварда шудаанд, дар ҷадвали 1.3 ва расми 1.9 пешниҳод гардидаанд.

«Коэффитсиенти гармиғунҷоиши электрикии стронсий ба $\gamma_e = 36$ мҶ/(мол К²) баробар мебошад» [19].



Расми 1.9. – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси (C_p) стронсий [19]

Ҷадвали 1.3. – Хосиятҳои гармофизикии стронсий

T, K	d, г/см ³	X, м., Ҷ/(кг·К)		$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	λ , Вт/м·К		$\rho \cdot 10^8$, Ом·м
		[23]	[40]		[35]	[38]	
50	-	-	-	-	-	-	2.17
100	-	267.0	-	-	-	-	4.56

Идомаи ҷадвали 1.3							
200	-	292.5	-	-	-	-	9.03
300	2.62	305.7	304.8	44.2	36.2	47.6	12.5
400	2.60	312.6	312.4	38.0*	31.8*	-	16.8
500	2.58	326.1	326.0	32.5*	26.6*	-	22.1
600	2.57	342.8	342.8	30.0*	26.4*	-	26.6
700	2.56	359.7	358.6	29.0*	26.7*	-	30.2
800	2.54	376.2	376.1	28.6*	27.5*	-	35.5
827 _α	2.53	380.2	380.2	28.4*	27.6*	-	36.0*
827 _β	-	412.0	436.2	-	-	-	47.7
900	-	424.8	466.5	22.7*	-	-	-
1000	-	440.3	510.7	22.3*	-	-	62.1*
1200	-	410.8	452.1	-	-	-	-
1400	-	410.8	435.2	-	-	-	-
1600	-	410.8	420.4	-	-	-	-

Гармизунҷоии барий. «Металли барий дар ҳарорати 298 К ва фишори муътадил дорои сохтори панҷараи (о.с.к.) бо даври $a = 0,5013 \text{ нм}$ мебошад» [42].

Дар кори [19], «Тағйироти сохтори барий аз мавҷудияти ғашҳо вобаста буда, маҳз ҳамин омил боиси зуҳури аномалияҳо дар хосиятҳои физикии он дар минтақаи ҳароратҳои миёна мегардад» [19]. Мувофиқи ақидаи баъзе муаллифон, «ҳарорати гудохташавии барий вобаста ба дараҷаи тозагии намуна дар ҳудуди 950-1004 К тағйир меёбад» [16], $995 \pm 3 \text{ К}$, пешниҳод гардидааст. Дар таҳқиқоти мо қимати мувофиқ $T_{пл.} = 1001 \text{ К}$. қабул карда шудааст.

Зичии барий дар ҳарорати хонагӣ ба $d = 3,594 \text{ г/см}^3$ баробар буда, вобастагии ҳароратии он бо истифода аз маълумот оид ба коэффитсиенти ҳароратии миёнаи васеъшавии хаттӣ бо роҳи ҳисоб кардан муайян карда шудааст. Натиҷаҳои ҳисоб дар ҷадвали 1.4 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.4. – Хосиятҳои гармофизикии барий

T, К	$d = \text{г/см}^3$	$\chi, \mu / (\text{кг} \cdot \text{К})$		$\alpha \cdot 10^6, \text{ м}^2 / \text{ч}$	$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$		$\rho \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
		[37]	[52]		[42]	арзёбӣ	
50	—	—	—	—	—	—	3,88
100	—	176,9	—	—	29,0	27,6	8,85
200	3,61	206,1	205,3	27,4	20,2	21,3	34,3

Идомаи ҷадвали 1.4							
300	2,63	305,7	305,8	45,2	36,3	48,6	13,5
400	3,57	258,7	238,3	—	—	19,0	51,4
500	3,55 *	284,5	261,5	—	—	16,9	72,4
600	3,53 *	299,7	280,5	—	—	14,9	98,2
700	3,50 *	310,0	298,4	—	—	13,2	130 *
800	3,49 *	317,6	314,9	—	—	11,6	168 * ¹
900	3,47 *	323,6	330,9	—	—	10,1	216 *
1002 _s	3,44 *	328,7	346,3	—	—	8,8	276 *
1002 _L	—	297,0	301,9	—	—	7,9	306 *
1200	—	290,7	293,4	—	—	—	—

1.3. Хусусиятҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ

Дар муҳити ҳаво оксидшавии металл дар ҳарорати баланд хеле тез рух медиҳад, ва суръати оксидшавии оксиген дар фазаи газӣ ва равандҳои адсорбсияи он коҳиш намеёбад. Дар чунин шароит элементи галваникӣ $Me-MeO-O_2$ пайдо мешавад, ки дар он анодро металл ташкил медиҳад. Раванди мазкур дар марзи $Me-MeO$ сурат мегирад:



Таъсири мутақобилаи оксигени адсорбшуда бо электронҳо дар ҳудуди ба амал меояд.



«Дар қабати оксидии металл реаксия тавассути диффузияи баръаксии катионҳои металл ва анионҳои оксиген сурат мегирад. Қабати оксидӣ ҳамчун электролит амал мекунад, ки дар он ҳамин диффузияи баръаксии ионҳо ба вуҷуд меояд» [82, с. 265]. «Нуқсонҳои (дефектҳои) панҷараи кристалии оксид ба суръати диффузияи зарраҳо ва оксиген дар қабати оксидӣ таъсир мерасонанд» [31].

Чуноне ки Лепинских, Б.М. қайд мекунад: «Концентратсияҳои нуқсонҳои ионӣ дар қабати оксидӣ бо гузарандагии ион ва электрон ба меёри муайян мувофиқат карда мешаванд ва ин ба суръати оксидшавии металлҳо таъсир мерасонад. Пайвастагии (яклухтӣ), устувории механикӣ ва муқовимат ба диффузияи моддаҳои таъсиррасон хосиятҳои муҳофизатии қабатҳои

оксидиро муайян карда, шакли идоракунии кинетикаи раванди оксидшавро тартиб медиҳанд» [31].

Металлҳо ба мисли Mg, K, Ba, Ca ва Na ба гурӯҳе дохил мешаванд, ки дар сатҳи онҳо пардаи зичу яклухти оксидӣ ҳосил намешавад. Аз ҳамин сабаб, ҳангоми таъсири оксиген раванди оксидшавии онҳо пайваста идома меёбад. Барои ин металлҳо суръати оксидшавӣ одатан мутобиқи қонуни ҳаттӣ мегузарад, яъне миқдори оксид бо гузашти вақт ба таври мутаносиб зиёд мешавад. Суръати оксидшавӣ дар шароити фишори доимӣ ($P_{O_2} = \text{const}$) чуниин ҳисоб карда мешавад:

$$X = k \cdot t, \quad (1.4)$$

ки дар он X - ғафсии оксиди ҳосилшуда, k - доимияти суръати оксидшавӣ ва (t) вақтро ифода мекунад.

«Дар раванди оксидшавӣ ҳаҷми пардаи ҳосилшудаи оксидӣ зиёдтар аз ҳаҷми металли ба реаксия ворид шуда бошад, монеъ шудан ба диффузияи моддаҳои бо ҳам таъсиркунанда ба минтақаи реаксия ва суст гардидани рушди раванди оксидшавӣ ба амал меояд» [31]. Дар ин ҳолат дар сатҳ пардаи пайваста (яклухт) ҳосил мешавад.

Дар чунин шароит раванди оксидшавӣ тибқи қонуни парабола ба амал меояд. Ин вобастагӣ бо муодилаи зерин ифода карда мешавад:

$$X^2 = k^2 t$$

Тавре маълум аст, алюминийи тоза одатан бо қабати тунуки оксидӣ пӯшида мешавад, ки он ҳамчун муҳофизат хизмат карда, сатҳи металлро аз таъсири муҳити беруна нигоҳ медорад. Бо вучуди ин, таъсири элементҳои иловагӣ ба суръати оксидшавии алюминий то ҳол пурра омӯхта нашудааст. «Таҳқиқот собит намуд, ки ҳангоми оксидшавии ҳӯлаҳои дукомпонентии алюминий бо чунин элементҳо, мисли магний, оҳан, мис ва рух, дар ҳолати моеъ γ -модификатсияи оксиди алюминий ба вучуд меояд» [152]. Барои ин шакли оксид каме калон шудани нишондиҳандаҳои панҷараи кристаллӣ хос аст. Ин натиҷаҳо бо истифода аз усули электронография дар корҳои [30-31; 154; 84, с. 76-78; 85, с. 728-730] ба даст оварда шудаанд.

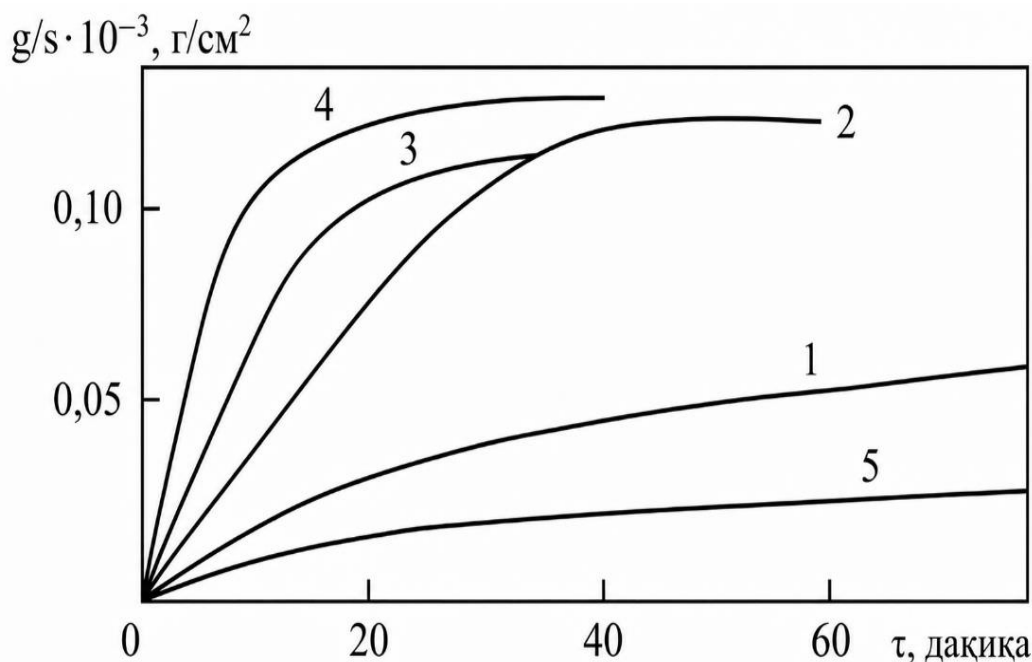
Ҳангоми гарм кардани онҳо дар муҳити ҳавои хушк аз ҷониби Де Брукер анҷом дода шудааст. «Аз ҷиҳати амалӣ системаи Al-Mg ҳангоми таъсир бо буғи об ва инчунин дар муҳити ҳавои атмосфера аҳамияти назаррас дорад. Таҳқиқи электронографӣ оид ба ҳӯлаҳои алюминий, ки дар таркибашон 2,4-8% (масса) магний мавҷуд аст» [85, с. 728-730]. Қобили зикр аст, ки то анҷом ёфтани ин таҳқиқот, баъзе маълумоти таҷрибавӣ аллакай аз ҷониби Престон ва Биркумшоу [127, с. 39-42], инчунин Добинский [130, с. 541-542] пешниҳод гардида буданд.

Ҳангоми оксидшавии ҳӯлаҳои моеъ дар ҳавои атмосфера (дар ҳарорати зиёда аз 350°C ва болотар аз ҳарорати гудозиш) асосан оксиди магний ба вучуд меояд, ки дар таркибаш миқдори каме ғашҳои Mg_3N_2 низ мавҷуд аст. Пардаҳои ҳосилшуда ба худ ранги зард ё қаҳваранг мегиранд. Қабатҳои ғафси сиёҳранге, ки дар таҷриба мушоҳида мешаванд, асосан аз оксиди магний (MgO) таркиб ёфтаанд. Ҳангоми гарм кардани чунин ҳӯлаҳо дар диапазони ҳароратии $120-350^{\circ}\text{C}$, дар сатҳи онҳо шакли кристаллии γ -модификатсияи оксиди алюминий ташаккул меёбад. Ҳангоми гармкунии пайдарпайи ҳӯлаҳо то 400°C , бо нигоҳдорӣ 12 соат дар 250°C ва баъдан баланд бардоштани ҳарорат то 400°C , пардаҳои дуқабата ба вучуд меоянд, ки аз оксиди магний ва оксиди алюминий иборат мебошанд. Ин таҷрибаҳо дар адабиёти [128, с. 46-47; 86, с. 124-125; 126, с. 29-30] муфасссал баён шудаанд.

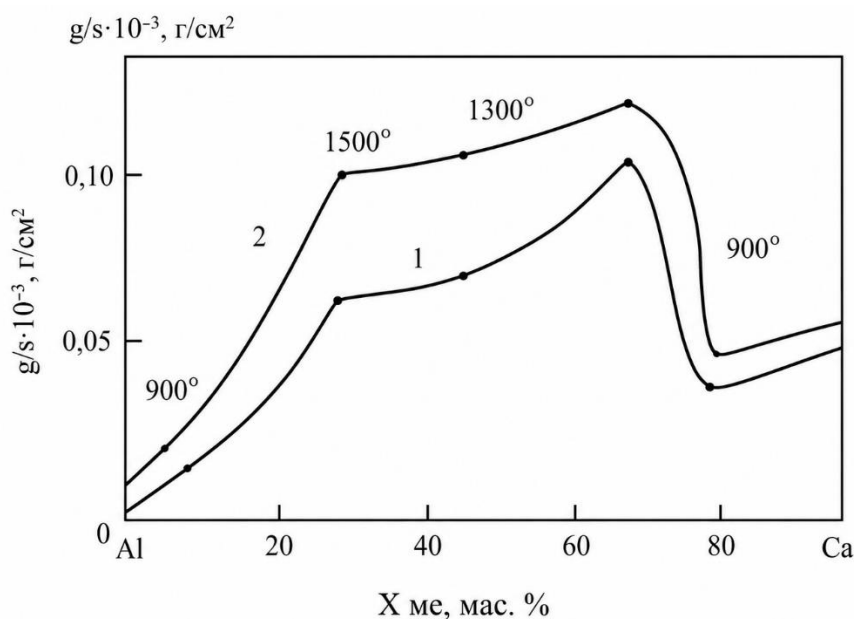
Системаи алюминий-калсий. Качхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаҳои системаи алюминий-стронсий дар расми 1.10 нишон дода шудаанд [129, с. 1-5]. Онҳо хусусияти зинагӣ дошта, суръати ибтидоӣ дар панҷ дақиқаи аввал шадид аст ва пас аз он раванд суст мегардад. Качхатаи мувофиқ ба гудохтаи дорои миқдори зиёди алюминий (94,7 мас. %) аз ин истисно аст. Барои ин таркиби қисми ибтидоӣ нисбатан дароз мешавад. Бо зиёд шудани консентратсияи калсий дар ҳӯла, суръати раванд дар қисмати ибтидоӣ афзоиш меёбад.

Оксидшавии изохронӣ, ки ба 10 дақиқа (качхаттаи 1) ва 20 дақиқа (качхаттаи 2) мувофиқат мекунад, дар расми 1.11 нишон дода шудааст.

Энергияҳои фаъолшавӣ, ки барои давраи ибтидоии оксидшавии ин хӯлаҳо ҳисоб шудаанд, мутаносибан 8,3; 17,2 ва 19,6 ккал/мол мебошанд.



Расми 1.10. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ғудохтаҳои системаи Al-Ca: 1-5,3 мас.% Ca, 900°C; 2-27,0 мас. % Ca, 1150°C; 3-42,0 мас.% Ca, 1300°C; 4-63,0 мас.% Ca, 900°C; 5-73 мас.% Ca, 900°C.



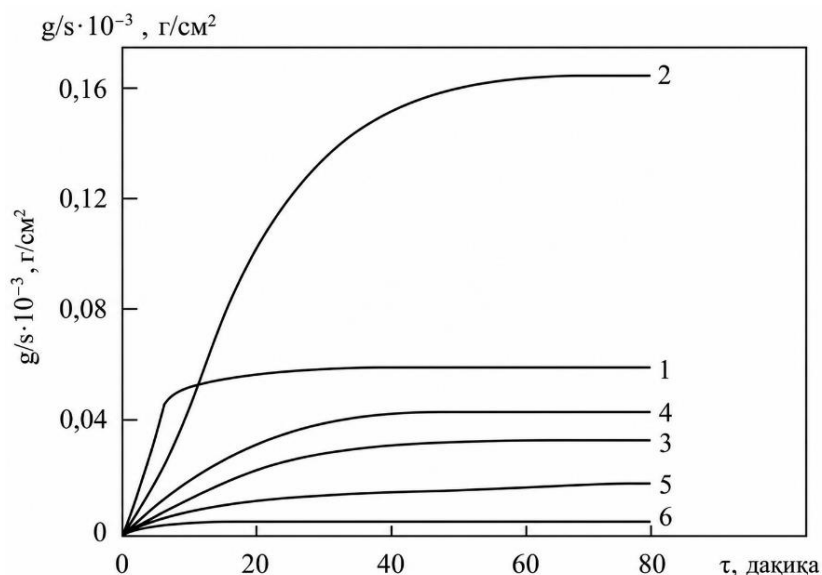
Расми 1.11. – Изохронҳои оксидшавии ғудохтаи системаи Al – Ca

Таъсири иловаҳои ками калсий ба кинетикаи оксидшавии алюминий дар тадқиқоти [42] омӯхта шудааст. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки суръати оксидшавии хӯлаҳо бо афзоиши консентратсияи калсий афзоиш меёбад.

Олимон бар он ақидаанд, ки «ҳосилшавии пардаи оксидӣ аз иловаи компоненти дуюм ва фаъолнокии металл вобаста аст. Ба чунин компонентҳо

магний, стронсий ва барий мансуб буда, ҳатто дар концентратсияҳои пасти хӯла пардаҳои сохти гетерогениро ба вуҷуд меоранд ва пас ҳудуди муайяни концентратсияи онҳо дар ташаккули пардаи оксидӣ нақши асосӣ мебозанд» [102, с. 615-617].

Системаи алюминий-стронсий. Качхатҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳои алюминий-стронсий дар расми 1.12 тасвир ёфтаанд. Хусусияти хоси ин хӯлаҳо марҳалаи давомноки оксидшавӣ мебошад. «Хӯлаҳои дорои миқдори ками алюминий, суръати максималии оксидшавӣ дошта, баробари афзоиш ёфтани концентратсияи алюминий дар хӯла суръати оксидшавӣ коҳиш меёбад. Константаҳои суръати оксидшавӣ, ки ин тағйиротро тавсиф мекунанд, дар ҳудуди $2,5 \cdot 10^{-5}$ - $1,4 \cdot 10^{-3}$ г/см²·с мавҷуданд» [100, с. 17-18].

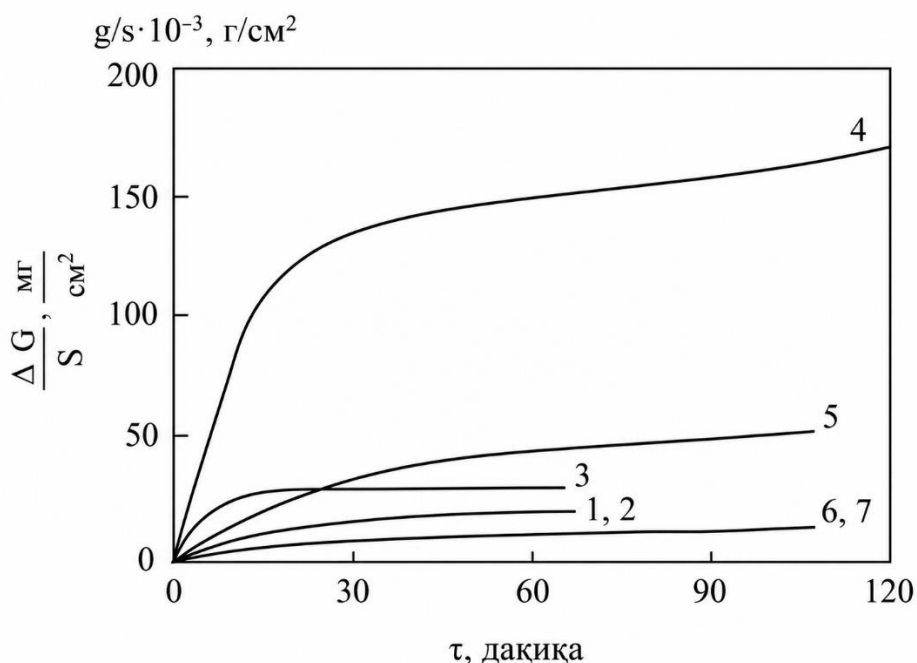


Расми 1.12. – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳои Al-Sr: 1-100 мас.% Sr, 900°C; 2-11,8 мас.% Al, 800°C; 3-30 мас.% Al, 1000°C; 4- 54 мас.% Al, 1160°C; 5-75 мас.% Al, 1000°C; 6- 90 мас.% Al, 900°C

Системаи алюминий–барий. Дар таҳқиқоти [84] оксидшавии хӯлаҳои Ba–Al дар доираи васеи массаи фозиин аз 97,0 то 10,0 мас.% Ba омӯхта шудааст. Хӯлаҳое, ки дорои барийи зиёданд (97–80 мас.%), дар ҳароратҳои 700-900°C ва боқимонда дар 1200-1250°C омӯхта шудаанд. Качхатаҳои кинетикии оксидшавӣ, ки дар расми 1.13 оварда шудаанд, бо қонуни вобастагии $Y = K\tau^n$ тавсиф мешаванд. Қимати нишондиҳандаи n доимӣ набуда, вобаста ба таркиби ғудохтаи оксидшаванда тағйир ёфта, одатан дар ҳудуди аз 2 то 4 қарор мегирад. Қариб барои ҳамаи хӯлаҳо минтақаи

ибтидоии ташаккули парда вучуд надорад, ки ба суръати тези оксидшавӣ ҳос аст. Ба назар мерасад, пардаи тунуки ҳосилшуда дар сатҳи металл миқдори зиёди Al_2O_3 дорад ва раванди оксидшавӣ асосан аз рӯйи механизми пардаи тунук мегузарад.

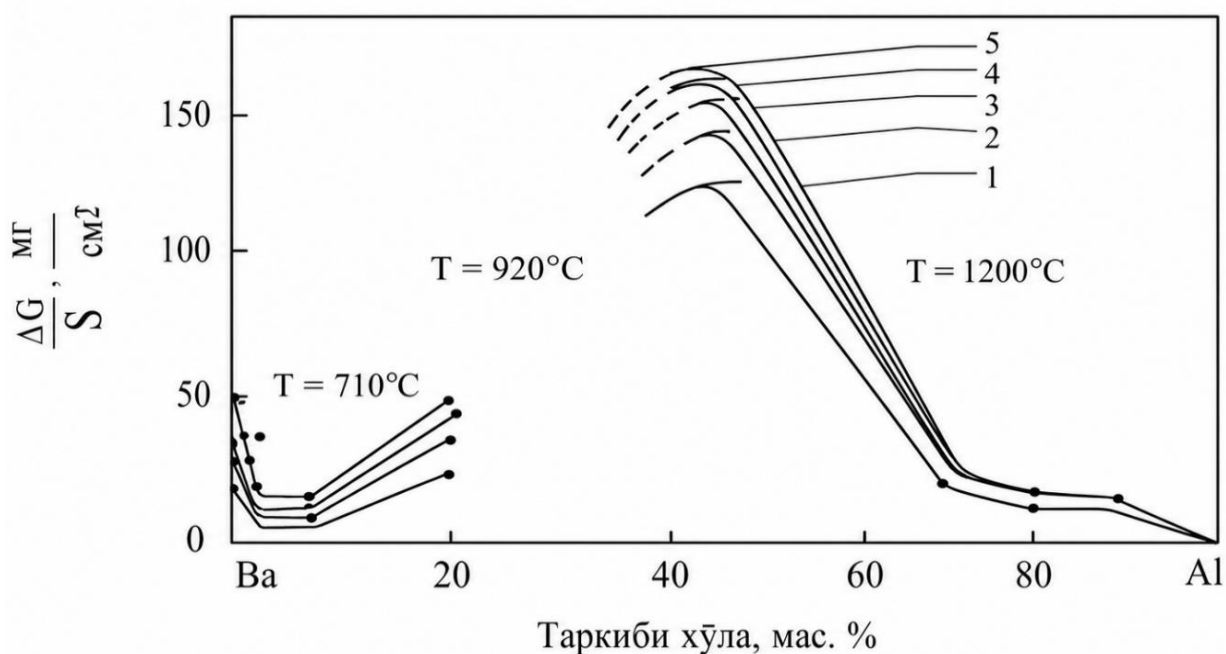
Вобастагии суръати оксидшавии ҳулаҳои Ва-Ал аз таркиби дар вақтҳои гуногуни нигоҳдорӣ мавҷудбуда низ дар расми 1.13 нишон дода шудааст. Дар ҳарду қанори система, яъне дар ҳулаҳои дорои миқдори зиёди барий ва алюминий, раванд бо суръати нисбатан паст амалӣ мешавад. Константаҳои суръати реаксияҳои оксидшавӣ $K=g/s \cdot \tau$, ки аз рӯйи расидан аз ибтидои координатҳо ба қачхатаҳо ҳисоб карда шудаанд, ба 10^{-5} – 10^{-6} г/см²·с баробаранд. Суръати оксидшавии ҳулаи дорои 56 мас.% Ва ва 44 мас.% Ал нисбат ба ҳулаҳои дигар хеле баланд аст, аз ин истисно мебошад. Барои он дар давраи ибтидоии вақт (10-15 дақиқа) афзоиши шадиди масса ба амал меояд. Омузиши сохтори пардаҳои ҳосилшуда бо усули ИКС тасдиқ мекунанд, ки дар тамоми раванди оксидшавӣ диффузияи оксиген ва металлҳо тавассути пардаи оксидӣ марҳалаи маҳдудкунанда мебошад.



Расми 1.13. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳулаҳои Ва-Ал: 1-4-1200°C ҳулаҳои дорои 10, 20, 30 ва 56 мас.% Ва, 5-80мас.% Ва, 20°C; 6-92мас.% Ва, 710°C; 7-97мас.% Ва, 770°C

Дар минтақаи хӯлаҳои аз барий бой, пардаи қариб софи ВаО дар сатҳи металл, бо миқдори холигии минималӣ ва мутаносибан бо равандҳои мушкили диффузиони интиқоли оксиген ба сатҳи реаксия, ба вуҷуд меояд. Дар хӯлаҳои дорои миқдори зиёди алюминий, фазаҳои оксидӣ аз шпинели муназзами BaAl_2O_4 ташкил шуда, концентратсияи холигӣ ба ҳадди ақал мерасад.

Бояд қайд кард, ки танҳо дар минтақаи пайвастагии кимиёвии BaAl_2 , маҳсулоти оксидшавӣ дар баробари шпинел миқдори назарраси фазаи аморфро дар бар мегирад. Зоҳиршавии чунин фаза имкон медиҳад, ки оксиген ба сатҳи металл бо сарфи камтарини энергия расад (расми 1.14).



Расми 1.14. – Изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои системаи Ва-Ал: 1-20, 2-40, 3-60, 4-80, 5-100 дақ.

Баъзе хосиятҳои физикавии элементҳои ишқорзаминӣ, ки ба системаҳои омӯхташуда дохил мешаванд, дар ҷадвали 1.5 оварда шудаанд.

Дар пайдарпайии зикршуда, радиусҳои атомӣ ва ионии ин элементҳо афзоиш меёбанд; мутаносибан потенциали ионизатсия, гармии бухоршавӣ ва гармии ҳосилшавӣ коҳиш ёфта, интизор меравад, ки суръати оксидшавии ин металлҳо аз магний ба барий кам мегардад. Аммо байни қатъатҳои кинетикии оксидшавӣ дар системаҳои баррасишаванда, диаграммаҳои ҳолат ва пайдарпайии тағйироти хосиятҳои физикавӣ ва химиявии металлҳои

ишқорзаминӣ алоқаи мустақим вучуд надорад. Аз ин рӯ, суръати умумии оксидшавӣ аз як қатор марҳалаҳо иборат буда, табиати гуногун доранд. Дар ҳамаи системаҳои таҳқиқшуда тамоюли умумии афзоиши суръати оксидшавӣ бо зиёд шудани концентратсияи элементҳои ишқорзаминӣ дар ғудохта мушоҳида мешавад. Бузургии афзоиши массаи пардаи оксиди металлҳои ҳолиси ишқорзаминӣ тақрибан ба ҳам наздик буда, 50–60 мг/см²-ро ташкил медиҳад.

Ҷадвали 1.5. – Хусусиятҳои физикавии элементҳои ишқорзаминӣ

Элемент	ат. ра, Å	Me ²⁺ Å	Энергияи ионизатсия, ккал/мол			Т _{пл} , °C	Н _{исп} , $\frac{\text{ккал}}{\text{мол}}$	Намудпа нчара	Н _{гб} MeO, ккал/гэкв.	Электро- манфиат
			E ₁	E ₂	E ₃					
Be	1,11	0,32	214	420	3533	1263	54	гекс.	88,1	1,42
Mg	1,60	0,78	175	345	1833	650	32	гекс.	83,0	1,11
Ca	1,96	1,03	140	274	1173	850	42	ГСК	78,2	0,99
Sr	2,15	1,25	132	258	986	770	39	ГСК	72,0	0,96
Ba	2,17	1,44	120	230	811	710	42	ОСК	62,5	0,89

1.4. Рафтори зангзании алюминий ва ҳӯлаҳои он бо металлҳои ишқорзаминӣ дар муҳитҳои гуногун

Мусаллам аст, ки раванди зангзании электрохимиявии алюминий [44] ва ҳӯлаҳои он ба таъсири муҳити ҳашин, концентратсия, ҳарорат ва дигар муҳитҳои омехтаи вобаста мебошад. Ҳамзамон, раванди зангзанӣ аз дараҷаи ҳолисии металл, интиҳоби элементҳои ҷавҳаронида, речай коркарди ҳароратӣ, дараҷаи деформатсияи пластикӣ, ҳолати сатҳи металл ва дигар хусусиятҳои сохторӣ низ вобастагии калон дорад.

Суръати зангзании алюминийро метавон бо роҳи ворид намудани ингибиторҳо коҳиш дод. Ба чунин моддаҳо шишаи моеъ, спиртҳо, пайвастагиҳои нитрогенӣ, маҳлулҳои оби лактами натрий, маҳлулҳои спиртии нитрати натрий ё нитрати калий, бихромати калий ва амсоли инҳо дохил мешаванд.

Маълум аст, ки ҳамаи кислотаҳо ва ишқорҳои пурқувват ба пардаи оксидии алюминий таъсир расонида онро вайрон ва ҳалшавандагии металлро дар электролит зиёд мекунад. Аммо дар баъзе муҳитҳо, баръакс, масалан, дар

кислотаи нитрати концентратсияшуда алюминий ғайрифазол мегардад. Таъсири кислотаҳо ба дараҷаи концентратсияи онҳо вобаста аст. Масалан, кислотаҳои галогенӣ алюминийро босуръат вайрон мекунад, ки ин ба афзоиши концентратсияи ионҳои галоген дар маҳлул вобаста мебошад. «Дар муҳити аксари кислотаҳои ғайриорганикӣ алюминий устувор нест, вале дар ҳарорати 20 °C дар маҳлули кислотаи нитрат то 3 % нисбатан устуворӣ нишон медиҳад. Бо вучуди ин, мавриди дар сатҳ мавҷуд будани шофи кафшер, алюминий ба зангзании байнибулӯрӣ (байникристаллӣ) моил мегардад» [95, с. 14-16].

Дар истеҳсоли таҷҳизоти саноати химиявӣ одатан аз алюминийи техникӣ истифода мекунад, ки дараҷаи тозагии он тақрибан 99,5 фоизро ташкил медиҳад.

Дар ҳолате ки дастгоҳҳо ва реакторҳо бо кислотаи нитрати концентратсияшуда дар тамос қарор мегиранд, алюминийи дорои тозагии баландтар (то 99,9%) мавриди истифода қарор дода мешавад, зеро он устувории бештари коррозионӣ дорад. Ҳамчунин алюминий ва навъҳои он, аз ҷумла AOO, ADOO, ADO ва ADI, дар муҳити бромид хушк ва кислотаҳои органикӣ, ба мисли кислотаҳои себ, бор, лимӯ, оксалат, фосфат ва сирко, устувории баланди химиявӣ зоҳир менамоянд.

«Реакторҳое, ки аз алюминий ва ҳулаҳои он сохта шудаанд, дар истеҳсоли кислотаҳои органикӣ васеъ истифода мегарданд. Бо вучуди ин, ҳулаҳое, ки дар таркибашон мис доранд, барои истеҳсоли кислотаи сирко мувофиқ нестанд, дар ҳоле ки силуминҳо барои ин мақсад қобили қабул ва самаранок ба ҳисоб мераванд» [94, с. 5-6].

«Ишқорҳои натрий, калий, калсий, барий ва маҳлули аммиак алюминийро нисбатан босуръат вайрон мекунад. Суръати зангзани ба концентратсияи ишқор вобаста буда, барои алюминийи тоза мутаносибан ба решаи квадрати концентратсия аз 0,1-1 Н баробар аст» [66, с. 86-87]. «Азбаски пардаи муҳофизатии оксиди алюминий хосияти амфотерӣ дорад» [147, с. 772-773; 46; 115, с. 53-58; 41], он ҳам дар муҳитҳои кислотаҳои қавӣ

ва ҳам дар ишқорҳо ба осонӣ ҳал мешавад. Дар натиҷа потенциали электродӣ ба самти манфӣ тағйир ёфта, ҷудошавии гидроген ба амал меояд. Таъсири ионҳои хлор боиси вайроншавии босуръати пардаи оксидӣ мегардад. Барои пешгирии ин ҳодиса, сатҳи алюминийро баъзан бо симоб ва намакҳои симобдор коркард мекунанд, ки боиси ташаккули қабати муҳофизатии устувортар мегардад.

«Худғайрифатолашавии алюминий устуворию онро зиёд намуда, дар муҳитҳои нейтралӣ ва каме турш тобоварию онро меафзояд. Дар маҳлулҳои нейтралӣ зангзании алюминий асосан бо иштироки раванди катодӣ, яъне деполяризатсияи оксиген, ба амал меояд. Яъне оксигени ҳалшуда дар маҳлул дар ин раванд нақши асосӣ мебозад, дар ҳоле ки дар шароити муайян деполяризатсияи гидроген низ афзоиш меёбад» [73, с. 79-81].

Устуворию алюминий аз дараҷаи тозагии он вобастагии зиёд дорад. Масалан, алюминийи техникӣ метавонад дар обе, ки ҳарораташ 100-130 °C аст, нисбатан устувор боқӣ монад. Аммо алюминийи хеле тоза, ки дараҷаи тозагии он ба 99,99% мерасад, метавонад ҳатто дар ҳарорати 100 °C ҳам ноустувор бошад. Бо дарназардошти мавҷудияти миқдори умумии оҳан ва силитсий то 1%, реакторҳои бо об хунукшавандаро одатан аз алюминийи техникӣ месозанд. Бо вучуди ин, дар ҳарорати 100–130 °C чунин ҳула бо суръати тақрибан 0,005–0,015 г/м² занг мезанад. Ба ғайр аз ин, як қатор ҳулаҳои алюминий мавҷуданд, ки дар таркибашон 1-5% никел ва 0,3–1,5 % оҳан, инчунин миқдори ками дигар элементҳо ҷой доранд. Масалан, ҳулаҳо метавонанд 9–12 % кремний дошта бошанд, ё таркибашон аз 1,5 % Ni ва 11 % Si иборат бошад, ё ин ки 1 % Ni, 0,5 % Fe, 0,8 % Mg ва 0,1 % Ti дар бар гиранд. Чунин ҳулаҳо дар муҳити обӣ, махсусан дар ҳарорати 300–350°C, ба зангзанию устуворию баланд нишон медиҳанд. Яке аз нуқсонҳои асосии чунин ҳулаҳо он аст, ки онҳо дар ҳарорати баланд хосиятҳои механикии нисбатан паст доранд. Агар ҳула бо усули металлургияи хокагӣ истеҳсол карда шавад, ин камбудӣ то андозае бартараф мегардад.

Дар маҳлулҳои намакҳо суръати зангзании алюминий ба қимати рН вобаста аст. Зангзанӣ бештар шадид дар он ҳолатҳо ба назар мерасад, ки дар муҳит намакҳои мавҷуд бошанд, ки аз кислотаҳои заифу ишқорҳои қавӣ (масалан, Na_2CO_3) ё баръакс, аз кислотаҳои қавию ишқорҳои заиф (масалан, CuSO_4) ҳосил шудаанд. Ионҳои хлор дар ин раванд нақши муҳим дошта, вайроншавии пардаи оксидиро тезонанд, дар ҳоле ки сулфатҳо ба ин раванд қариб таъсири ҷиддӣ намерасонанд. Дар маҷмӯъ, алюминий дар аксари маҳлулҳои намак муқовимати нисбатан баланд нисбат ба зангзанӣ зоҳир менамояд.

Дар баробари ин, таҳия ва истеҳсоли ҳулаҳои нави алюминий имкон дод, ки доираи истифодаи онҳо васеъ гардад. «Имрӯз чунин маводҳо дар бисёр соҳаҳои техника, аз ҷумла дар киштисозӣ, инчунин дар сохтмони иншооти обтаъминкунӣ ва системаҳои обпартоӣ ба таври ғайри истифода мешаванд» [158].

Ба чунин мавод, аз ҷумла, ҳулаҳои системаи Al-Mg , ки то 6 % Mg доранд, мансуб мебошанд.

«Раванди кафшер ба сохтори ҳула таъсири назаррас мерасонад, ки ин ҳолат ҳангоми сохтани ҷузъҳои конструктивӣ равшан мушоҳида мегардад. Масалан, ҳангоми нигоҳдории керосини авиатсионӣ дар зарфҳои алюминӣ, раванди зангзанӣ метавонад аз ҳисоби микроорганизмҳо тезонида шавад» [73, с. 79-80].

Дар ҳолате ки дар таркиби муҳити карбогидридӣ ё обҳои зеризаминӣ ионҳои хлорид, сулфат ва гази карбон мавҷуд бошанд, таҷҳизоти аз алюминий ва ҳулаҳои он сохташуда ба зангзанӣ дучор мегарданд. Муҳаққиқ Ғаниев И. Н. барҳақ қайд мекунад, ки: «Истифодаи технологияҳои нави истеҳсоли ва тақмили устувории ҳулаҳои алюминий имконият фароҳам овардааст, ки аз онҳо кубурҳои пармакунӣ ва компрессорӣ, кубурҳои нафту газ, ғалтакҳои системаҳои гармидиҳӣ, қисмҳо ва васлҳои дастгоҳҳои пармакунӣ, инчунин зарфҳо барои нигоҳдорӣ ва тозакунии нафт ва маҳсулоти нафти истеҳсол карда шаванд» [77, с. 1146-1147]. Омилҳои чун

сарбории механикӣ, ҳарорат ва консентратсияи муҳити фаъол низ ба раванди зангзанӣ таъсир мерасонанд. Аз ҷумла, хӯлаи D16T дар муқоиса бо хӯлаи D1 устувории баландтар дорад, гарчанде ки аз рӯи таркиби химиявӣ D1 то андозае ба пӯлоди Ст45 монанд мебошад. Суръати зангзании хӯлаи D16T аз қимати рН-и муҳит вобаста буда, бо тағйирёбии он метавонад афзоиш ёбад. Зангзании тамосӣ (галваникӣ) ҳангоми пайваست намудани қубурҳои пармакунӣ аз хӯлаи D16T бо втулкаҳои пӯлодин дар муҳити хок ба амал меояд, ки ин падида ба фарқияти потенциалҳои электродии металлҳои тамосгиранда вобаста мебошад.

Тадқиқоти кормандони лабораторияи «Материалҳои ба зангзанӣ тобовар» дар назди Муассисаи давлатии илмӣ «Институти химияи ба номи В.И. Никитин» ба омӯختани таъсири муҳити рН ба рафтори анодии хӯлаҳои Al–МИЗ дар ин самт назаррасанд. Дар ин таҳқиқот, олимон на танҳо суръат ва хусусиятҳои оксидшавии алюминийро дар муҳитҳои гуногуни химиявӣ таҳлил карданд, балки инчунин вобастагиҳои байни таркиби хӯла ва устувории анодиро бо нозукиҳои сатҳи микроӣ ва макроӣ пайгирӣ намуданд. Ин кор имкон дод, ки таъсири равандҳои электрохимиявӣ, ба зангзанӣ устуворӣ ва самаранокии хӯлаҳоро дар муҳитҳои гуногун бо дақиқии баланд арзёбӣ кунанд. Дар раванди таҷриба хлориди нуқра ҳамчун электроди муқоисавӣ ва платина ҳамчун электроди ёрирасон истифода гардид. Тадқиқотҳо дар муҳити электролитии 0,5 н NaCl гузаронида шуда, қимати рН бо роҳи илова намудани маҳлулҳои 0,1 н HCl ва 0,1 н NaOH танзим карда шуд. Потенсиали питтингҳосилшавӣ ва гузариши он ба самти потенциалҳои мусбат дар речаи то $-1,8$ В бо истифода аз қачхатаҳои поляризатсияи анодӣ тавсиф карда шудааст [77, с. 1148-1149]. Натиҷаҳои таҷрибавӣ дар ҷадвали 1.6 оварда шудаанд.

Вобастагии қиматҳои потенциалҳо аз зичии ҷараёни анодӣ дар ҷадвали 1.7 ҷамъбаст гардидааст. Муайян шудааст, ки ҳангоми ҷавҳаронидани алюминий бо калсий, афзоиши потенциал ба самти манфӣ мушоҳида мегардад.

Чадвали 1.6. – Тағйирёбии потенциали зангзании (В) бо мурури замон барои хӯлаҳои алюминий бо калсий

Вақти нигоҳдорӣ, соат	Концентрацияи калсий мас. %			
	0.1	0.5	1.0	8.0
0	-0.99	-1.02	-1.05	-1.09
96	-1.01	-1.05	-1.10	-1.16
144	-1.02	-1.06	-1.15	-1.20
196	-1.03	-1.07	-1.18	-1.23
240	-1.04	-1.08	-1.20	-1.27
336	-1.04	-1.09	-1.21	-1.29
384	-1.04	-1.09	-1.23	-1.30

Муқоисаи қимати потенциалҳои зангзании муайяншуда вобаста ба концентрацияи металлҳои ишқорзаминӣ дар чадвали 1.8 оварда шудааст.

Чадвали 1.7. – Вобастагии тағйирёбии потенциали зангзании (–Е, В) хӯлаи алюминий-калсий аз вақт бо поляризатсияи галваностатикӣ зичии ҷараён 1,5 А/м²

Вақти нигоҳдорӣ, соат	калсий, мас. %		
	1.0	3.0	8.0
0	0.730	0.730	0.750
24	0.790	0.820	0.850
48	0.810	0.850	0.880
72	0.830	0.865	0.900

Потенциали питтингҳосилшавии хӯлаҳои системаи Al-Ca дар ҳудуди аз -726 мВ (бо 0,1% Ca) то -761 мВ (бо 8% Ca) фарқ мекунад.

Барои хӯлаҳои системаи Al-Sr низ вобастагии монанд мушоҳида мешавад: бо зиёд шудани концентрацияи стронсий ҷараёни пассиватсия аз 0,02 А/м² (бо 0,2% Sr) то 0,1 А/м² (бо 11% Sr) меафзояд (чадвали 1.9) [117, с. 37-40].

Чадвали 1.8. – Вобастагии потенциали статсионарии (В) зангзанӣ (э.х.н.) аз миқдори металлҳои ишқорзаминӣ дар хӯла

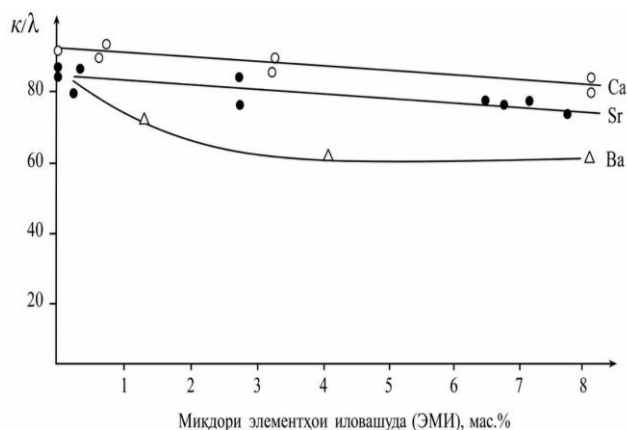
МИЗ	Миқдори МИЗ, мас. %			
	0.3	2.5	4.0	8.0

Идомаи ҷадвали 1.8				
Ca	-1,159	-1,168	-1,189	-1,207
Sr	-0,828	-0,898	-0,947	-1,038
Ba	-0,800	-0,810	-0,820	-0,820

Ҷадвали 1.9. – Таъсири муҳити pH ба нишондиҳандаҳои электрохимиявии ҳулаҳои системаи Al-Sr

Sr, мас. %	-E, В	pH								
		2	3	4	5	6,8	8	10	11	12
0,1	E _{н.п.}	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,14	1,16	1,16	1,08
	E _{п.п.}	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,10	1,10	1,05	1,10
	E _{п.о.}	0,59	0,62	0,63	0,64	0,62	0,59	0,62	0,62	0,62
	i _{н.п.}	0,19	0,19	0,13	0,17	0,17	0,33	0,13	0,29	0,07
	i _{нн}	0,17	0,17	0,09	0,16	0,17	0,29	0,10	0,25	0,05
1,0	E _{н.п.}	1,13	1,13	1,13	1,13	1,19	1,13	1,19	1,19	1,13
	E _{п.п.}	1,07	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,08	1,08
	E _{п.о.}	0,67	0,67	0,67	0,67	0,68	0,67	0,69	0,67	0,68
	i _{н.п.}	0,18	0,18	0,14	0,18	0,19	0,14	0,20	0,34	0,14
	i _{нн}	0,12	0,15	0,11	0,17	0,21	0,11	0,17	0,31	0,11
8,0	E _{н.п.}	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,23	1,23	1,15
	E _{п.п.}	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,13
	E _{п.о.}	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72	0,73	0,72	0,73	0,73

Вобастагии тағйирёбии коэффитсиенти кори фойданоки алюминий бо МИЗ аз консентратсияи компонентҳо дар расми 1.15 оварда шудааст.



Расми 1.15. – Вобастагии тағйирёбии ККФ-и ҳулаҳои алюминий бо калсий, стронсий ва барий аз консентратсия

Хулосаи баррасии адабиёт ва гузоштани ҳадафи таҳқиқот

Таҳлили адабиёт оид ба ташаккули сохтор, гармигунҷоиш, хосиятҳо ва нишондиҳандаҳои хӯлаҳои алюминийи дукаратай ва секарата бо металлҳои модификатсияшавананда нишон медиҳад, ки чунин мавод имкони дар саноат ва соҳаҳои гуногуни техника васеъ истифода бурдани онҳоро нишон дод. Бо вучуди ин, омӯзиши рафтори зангзании хӯлаҳои алюминий дар муҳитҳои хашин то ҳол яке аз масъалаҳои мубрами илмӣ ва амалӣ боқӣ мемонад. Азбаски хӯлаҳо ҳангоми истифодабарӣ, коркарди ҳароратӣ ва дигар равандҳои технологӣ ба намудҳои гуногуни зангзанӣ дучор мегарданд, талафоти иқтисодии вобаста ба зангзанӣ ба маблағҳои назаррас мерасад.

Таҳлили манбаъҳои илмӣ нишон медиҳад, ки доир ба хӯлаҳое, ки дар қори мо мавриди омӯзиш қарор гирифт, таҳқиқоти кофӣ гузаронида нашудаанд. Маълумоти адабиёт собит менамояд, ки оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо калсий, стронсий, барий ва хӯлаҳои онҳо дар ҳолатҳои сахт ва моеъ то андозае муфасссал омӯхта шудааст.

Баррасии адабиёт бармало месозад, ки маълумот оид ба ташаккули сохтор, хосиятҳои гармофизикӣ ва кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои саноатии алюминий мавҷуданд. Аммо дар адабиёт маълумоти мукамал оид ба хосиятҳои физикавӣ-кیمیёвии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий $AlCu4.5Mg1$, ки бо металлҳои ишқорзаминӣ модификатсия шудааст, дастрас нест. Инчунин, оид ба рафтори зангзании хӯлаҳои мавриди омӯзиш маълумоти дақиқ ва саҳеҳ вучуд надорад.

Дар асоси таҳлили адабиёт оид ба хӯлаҳои мавриди омӯзиш ва иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ, дар концентратсияҳои гуногун бо истифода аз диаграммаҳои ҳолати маълумоти системаи чоргонаи, дар диссертатсия таҳқиқоти хусусиятҳои физикавӣ-химиявии ин хӯлаҳо мавриди омӯзиш қарор дода шудаанд.

Хулоса, омӯзиши хусусиятҳои физикавӣ-химиявии хӯлаи алюминийи $AlCu4.5Mg1$ навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий имкон медиҳад, ки истифодаи ин намуд хӯлаҳо дар соҳаҳои гуногуни техника ва саноат васеъ қарда шавад. Аз ин рӯ, таҳқиқи хусусиятҳои физикавӣ-химиявии чунин хӯлаҳо яке аз масъалаҳои муҳим ва дорои аҳамияти бунёдию амалӣ ба ҳисоб меравад.

БОБИ 2. МАВОД ВА УСУЛҲОИ ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВИЮ ХИМИЯВИИ ХӢЛАӢО

2.1. Дастгоҳ ва усулҳои таҳқиқи хосиятҳои механикӣ ва гармофизикии хӢлаӢо

Дастгоҳ ва усулҳои ҷенкунии сахтии хӢлаӢо. Қабл аз ба маҳсулоти тайёр табдил ёфтани металл, он аз марҳалаҳои гуногуни коркарди технологӣ мегузарад, ки зери таъсири онҳо сохтори дохилии мавод ташаккул меёбад. Маҳз ҳамин сохтор хосиятҳои физикавӣ-механикӣ ва сифати маҳсулоти ниҳоиро муайян менамояд. Аз ин рӯ, барои муайян кардани сохтор ва арзёбии таъсири намудҳои гуногуни коркард ба тағйирёбии он, таҳқиқоти мақсаднок анҷом дода мешавад. Хосиятҳои механикӣ ва дигар нишондиҳандаҳои масолеҳи конструктивӣ ба таркиби химиявӣ, хусусиятҳои фазавӣ ва сохтори онҳо вобастагии мустақим доранд. Таҳлили муназзами ин омилҳо имкон медиҳад, ки хусусиятҳои маводди мушаххас бо асоснокии илмӣ шарҳ дода шаванд ва қонуниятҳои ташаккули онҳо муайян гарданд. Ҳамзамон, ба хосияти масолеҳ омилҳои таркиби химиявӣ ва сохтори он таъсири назаррас расонида, дар ташаккули онҳо нақши калон мебозанд. Хусусиятҳои мавод, пеш аз ҳама, аз тарзи ҷойгиршавии унсурҳои таркибӣ ва сохтори атомҳо дар фазаҳои гуногун вобаста мебошанд. Бинобар ин, дар илми маводшиносӣ омузиши робитаи сохтор ва хосиятҳо самти муҳимми таҳқиқотӣ ба ҳисоб меравад [3; 90; 99].

Яке аз воситаҳои асосии таҳқиқоти хӢлаӢо омӯхтани микросохтор мебошад. Тавассути таҳлили микросохтор таъсири коркардҳои гуногуни деформатсионӣ, гармӣ ба хосиятҳои хӢлаӢо, инчунин сабабҳои корношоям гардидани онҳо муайян карда мешаванд. Бо ин мақсад, барои муайян намудани микросохтори хӢлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ (дюралюмин), ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, микроскопи рӯшноии навъи КР-L3230-2К истифода гардид (расми 2.1).



Расми 2.1. – Микроскопи КР-L3230-2К

Барои тайёр намудани намуна иҷрои як қатор амалиётҳо, аз ҷумла буридан ва суфтакунӣ, зарур мебошад. Қойи буриш вобаста ба ҳадафи таҳқиқот интихоб карда мешавад (масалан наздик ба қои шикаст ё тарқиш дар маҳсулот). Бо дарназардошти талаботи минбаъдаи суфтакунӣ, намунаҳо одатан дар шакли цилиндр ё квадрат омода мегарданд. Андозаҳои тавсияшаванда чунинанд: диаметри цилиндр ё паҳлуи квадрат аз 10 то 20 мм ва баландӣ аз 10 то 30 мм.

Нишондиҳандаи асосии муайян намудани сифати металлҳо ва ҳулаҳо сахтии онҳо маҳсуб меёбад, ки имконияти истифодаи онҳоро дар конструксияҳои гуногун ва шароити гуногуни кор таъин мекунад. Дар амал, нисбат ба дигар хосиятҳои механикӣ, аз ҷумла устуворӣ ва дарозшавӣ, санҷиши сахтӣ бештар истифода ва мавриди омузиш қарор мегирад.

Ченкунии сахтӣ одатан бо усули Бринелл анҷом дода мешавад. Мувофиқи талаботи ГОСТ 9012–59, санҷиш тавассути паҳш кардани саққои пӯлодии диаметраш D (2,5; 5; 10 мм) ба сатҳи намуна зери таъсири сарбории интихобшудаи F ва дар вақти муайяншуда амалӣ карда мешавад (расми 2.2).

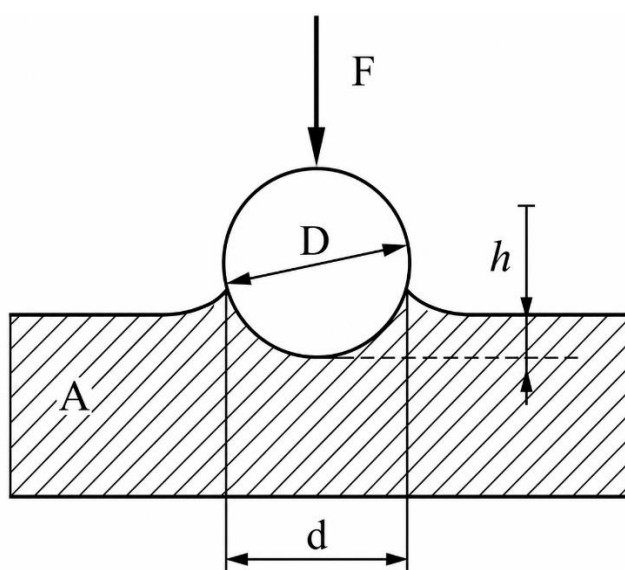
Ба тасдиқи Данилов П.В. «Бузургии сахтӣ аз рӯи Бринелл, ки бо НВ ишора мешавад (Н - ҳарфи аввали калимаи Hardness – сахтӣ; В – ҳарфи аввали номи усули муайян кардани сахтӣ Brinell), таносуби қувваи бор F ба масоҳати сатҳи изи курашакл S мебошад ва бо воҳидҳои кгс/мм^2 ё МПа чен карда мешавад.

$$HB = \frac{F}{S}. \quad (2.1)$$

Сахтӣ, ки тавассути диаметри сакқо D ва диаметри из d ифода мешавад, бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (2.2)$$

Бо истифода аз асбоби ТАМҒАИ HBRV-187.5D ва усули стандартии Бринел бо дарназардошти андозаи геометрии ғафсии 10 мм ва диаметри 16 мм сахтӣ (расми 2.3.) муайян гардид» [81, с. 390-393].



Расми 2.2. – Нақшаи санҷиши сахтӣ, мувофиқи усули Бринел (ГОСТ 9012 59)



Расми 2.3. – Сахтисанҷи тамғаи HBRV-187.5D

Нақшаи дастгоҳ ва усули ченкунии гармиғунҷоиши хӯлаҳо.

Дар адабиёти илмӣ барои муайян намудани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт як қатор усулҳои таҷрибавӣ пешниҳод ва истифода карда мешаванд. Ин усулҳо имкон медиҳанд, ки хусусиятҳои гармии мавод бо дақиқии муайян омӯхта шаванд ва вобаста ба шароити таҷриба ва намуди модда усули мувофиқ интихоб карда мешавад. Дар доираи диссертатсияи мо усули муқоисаи қатъатаҳои хунуккунии эталон ва намунаҳои санҷишӣ татбиқ гардид. Ченкунӣ бар асоси раванди гармкунӣ ва минбаъд хунуккунии намуна то ҳарорати муҳити беруна дар шароити якхелаи суръати хунукшавӣ анҷом дода мешавад. Дар чунин шароит гармиғунҷоиш ва равандҳои кристаллизатсия ба вақти кристаллизатсия мутаносиб арзёбӣ мегарданд. Ба сифати эталон маводе интихоб карда мешавад, ки хосиятҳои физикавӣ-кимиявӣ он бо дақиқӣ дар адабиёти соҳавӣ маълум бошанд. Гармиғунҷоиши намуна аз хусусияти раванди хунукшавии он вобаста буда, тавассути муқоисаи термограммаҳои қатъатаҳои хунушавии эталон ва намунаҳои таҳқиқшаванда муайян карда мешавад [88, с. 28-30].

Аз ҷониби Киров С.А., Тарсин А.В. ва Рогачев Н.М. формулаҳои ченкунии гармиғунҷоиш ва гармии ғудохан бо методи хунуккунӣ татбиқ гардидааст: «Дар давоми вақт $d\tau$ миқдори гармии элементарии талафшудаи ҳаҷми dV металл баробар аст ба:

$$\delta Q = c \cdot m \cdot dT = c \cdot \rho \cdot dV \cdot \frac{dT}{d\tau}, \quad (2.3)$$

ки дар ин ҷо c – гармиғунҷоиши хоси металл; ρ -зиҷии он; T - ҳарорати намуна (дар ҳамаи нуқтаҳои намуна якхела бошад, зеро андозаҳои хаттии ҷисм хурд ва гармигузаронии металл баланд аст)» [23; 40; 45].

Миқдори гармие, ки бо қонуни Нютон дода мешавад, бо чунин формула ҳисоб карда мешавад:

$$\delta Q = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau, \quad (2.4)$$

ки дар он α -коэффитсиенти гармидиҳӣ; T_0 - ҳарорати муҳити атроф; dS - сатҳи элементарро ифода мекунанд. Муқоиса кардани формулаҳои (2.3) ва (2.4) нишон медиҳад, ки

$$dQ = c \cdot \rho \cdot dV \cdot d\tau \cdot \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \quad (2.5)$$

Дар натиҷа, миқдори умумии гармие, ки дар тамоми ҳаҷми намуна аз даст меравад, баробар ба ҷамъшавии ин қимат дар тамоми объекти таҳқиқшаванда мебошад.

$$Q = \int c \cdot \rho \cdot dV \cdot d\tau \cdot \frac{dT}{d\tau} = \int \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \quad (2.6)$$

Чун $\frac{dT}{d\tau}$, c ва ρ аз координатаҳои нуқтаҳои ҳаҷм ва α , T , T_0 - аз координатаҳои нуқтаҳои сатҳи намуна вобаста нестанд, чунин навиштан мумкин аст:

$$c \cdot \rho \cdot V \cdot d\tau \cdot \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau, \quad (2.7)$$

ки дар он V - ҳаҷми намунаро ифода мекунад; S - бошад масоҳати сатҳи намунаро [62; 79; 93, с. 49-51].

Файзуллоев Р.Ҷ. [12] барои муайян кардани гармиғунҷоиши хоси металлҳо бо методи хунуккунӣ дар асоси таҳқиқоти Антонов Е.А. дар бораи табиати таъсири мис ва магний ба сохтори ҳӯлаҳои алюминий чунин татбиқ кардааст: «Ифодаи (2.7)-ро барои ду намунае баррасӣ мекунем, ки шакл ва андозаи онҳо якхелаанд, вале аз металлҳои гуногун сохта шудаанд ($V_1 = V_2$, $S_1 = S_2$, $T_1 = T_2$). Дар чунин шароит коэффитсиенти гармидиҳии онҳо низ яқсон мешавад, яъне $\alpha_1 = \alpha_2$. Агар яке аз ин ифодаҳоро ба дигараш тақсим намоем ва баъд табдилдиҳии одии математикӣ гузаронем, ифодаи ниҳой ҳосил мегардад.

$$c_1 = c_2 \frac{m_2 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2}{m_1 \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1}, \quad (2.8)$$

ки дар ин чо $m_1 = \rho_1 \cdot V_1$, $m_2 = \rho_2 \cdot V_2$ - мутаносибан массаи намунаҳои якум ва дуюм $\left(\frac{dT}{dt}\right)_1$, $\left(\frac{dT}{dt}\right)_2$ -ба суръати хунукшавии онҳо, c_2 гармиғунҷоиши эталон» [4] мебошанд.

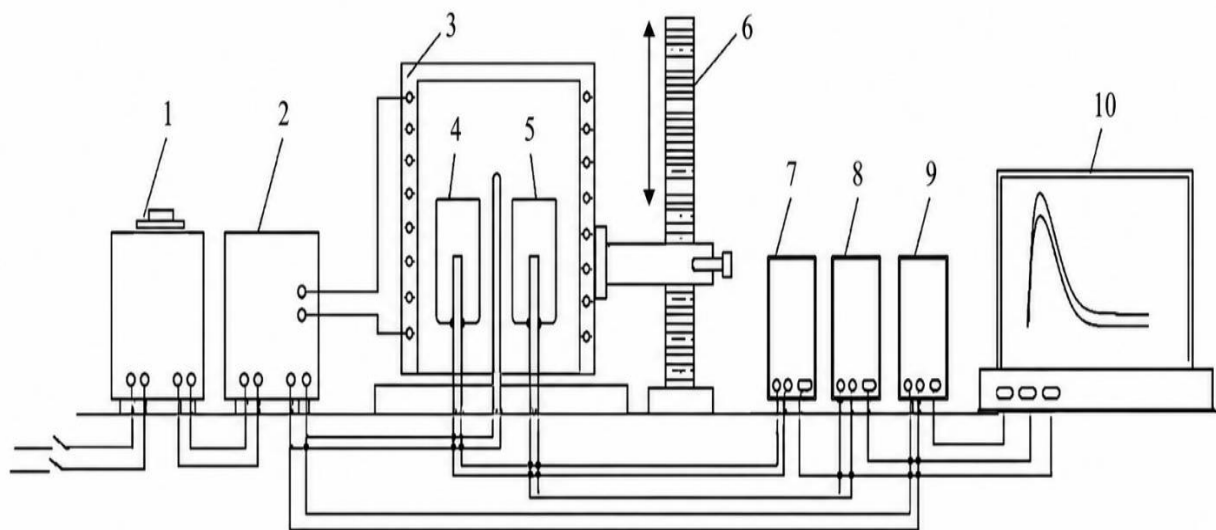
Бо така ба усулҳои дар адабиёти [35; 78, с. 1146-1149; 106; 108, с. 105-115; 114, с. 23-29] тавсифшуда, гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии ҳўлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, таҳқиқ гардид.

Дар расми 2.4 нақшаи дастгоҳ барои чен намудани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт пешниҳод гардидааст, ки Элмуродов А. [152] муфасссал шарҳ додааст. Мувофиқи ин адабиёт «Дастгоҳ аз қисмҳои зерин иборат мебошад: оташдони барқӣ (3), ки ба пояи (6) васл шуда, ба боло ва поён ҳаракат мекунад. Намунаи (4) ва эталон (5) (онҳо ҳам ҳаракат мекунанд), ки шакли силиндрии аз як нуг пармашуда дошта, бо гармопара ворид карда шудаанд. Нўғҳои гармометрҳо ба термометри рақамии Digital Multimeter DI9208L (7, 8 ва 9) пайваст мегарданд.

Оташдони барқӣ тавассути автотрансформатори лаборатории (ЛАТР) (1) ба кор дароварда мешавад. Ҳарорати зарурӣ бо ёрии терморегулятор (2) ба танзим дароварда мешавад. Аз рўйи нишондоди термометрҳои қиматҳои ибтидоии ҳарорат сабт карда мешаванд. Сипас, намуна ва эталон ба оташдони барқӣ ҷойгир карда шуда, то ҳарорати муайян гарм карда, ҳарорат аз рўйи нишондодҳои термометрҳои рақамӣ дар компютер сабт карда мешаванд. Намуна ва эталон дар як вақт аз оташдони барқӣ берун бароварда шуда ҳарорат қайд карда мешавад. Раванди хунукшавӣ то ҳарорати $35^{\circ}C$ идома ёфта, нишондиҳандаҳои ҳарорат тибқи маълумоти термометрҳо ҳар 10 сония дар компютер (10)» сабт мегарданд [152].

Барои муайян кардани ҳатогиҳо, дар асоси санҷишҳои муқоисавӣ байни эталонҳои миси навъи М00 ва алюминийи навъи А7 нисбат ба якдигар ҷенкунии параллелӣ гузаронида шуданд (ҷадвалҳои 2.1 ва 2.2). Таҳлили

натиҷаҳои бадастомада нишон дод, ки хатогии ченкунии гармиғунҷоиш барои миси навъи М00 тақрибан ба 1,5% баробар мебошад. Бо дарназардошти ин, дар таҳқиқоти минбаъда мис тамғаи М00 ҳамчун эталони асосӣ интихоб гардид. Интихоби мазкур инчунин ба он асос меёбад, ки хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣ мис аз ҷониби муҳаққиқони гуногун бо усули параллелӣ мавриди омузиш қарор гирифтаанд, ки ин эътимодноки ва дақиқии маълумоти мавҷударо тасдиқ менамояд [80, с. 67-71].



Расми 2.4. – Нақшаи дастгоҳ барои муайян кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт дар речани «хунукшавӣ»

Эзоҳ: 1) танзимгари ҳарорати термостат; 2) блоки идоракунии ва таъминот; 3) калориметр (кубури вакуумӣ); 4) зарфи намуна (ҷисми саҳт); 5) зарфи об; 6) микрометр барои танзими баландӣ; 7) датчики ҳарорат; 8) модули ҷамъоварии маълумот; 9) табдилдиҳандаи сигнал; 10) компютер бо барномаи сабт ва таҳлил.

Ҷадвали 2.1. – Қиматҳои таҷрибавии суръати хунукшавии (dT/dt , К/с) намунаҳо аз миси тамғаи М00 ва эталони (А1 тамғаи А7)

T, К	Cu тамғаи М00			Эталон (А1 тамғаи А7)		
	Ченкунии якум	Ченкунии дуюм	Ченкунии сеюм	Ченкунии якум	Ченкунии дуюм	Ченкунии сеюм
300	0,028967	0,00632	0,01414	0,5911	0,034538	0,0442
400	0,223664	0,07284	0,111668	0,8817	0,013025	0,0124
500	0,393825	0,1852	0,218325	0,9975	0,027545	0,0262
600	0,544436	0,34436	0,305212	1,0033	0,044371	0,0896
700	0,680403	0,55128	0,371711	0,9639	0,063968	0,1956
800	0,806652	0,80692	0,417204	0,9441	0,086800	0,3628

Таҳофут (ё муқоиса)-и қиматҳои таҷрибавии гармиғунҷоиши мис бо маълумоти овардашуда оид ба алюминии тамғаи А7 дар маълумотномаи [121, с. 101-107] нишон дод, ки дараҷаи мувофиқати онҳо тақрибан ба 99 %

мерасад. Ин натиҷа дурустӣ ва эътимоднокии усули интихобшудаи ченкуниро тасдиқ менамояд.

Ҷадвали 2.2. – Гармиғунҷоиши ($\kappa\text{Ч}/(\text{кг} \times \text{К})$) мис тамғаи М00 ва эталони (Al тамғаи А7)

Т, К	Cu тамғаи М00 бо маълумоти [117]	Cu тамғаи М00			Эталон (Al тамғаи А7) бо маълумоти [117]
		Ченкунии якум	Ченкунии дуюм	Ченкунии сеюм	
300	0,385	0,376	0,369	0,368	0,903
400	0,397	0,388	0,382	0,380	0,947
500	0,408	0,398	0,392	0,389	0,988
600	0,417	0,407	0,401	0,398	1,031
700	0,425	0,415	0,408	0,406	1,080
800	0,434	0,423	0,416	0,415	1,142

Мувофиқи талаботи ГОСТ 4784-97 хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 (дюралюмин), ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, дар оташдони барқии шахтавии лабораторӣ дар ҳарорати 750-800°C, бо усули якҷоя ғудохтани чузъҳои ибтидоӣ ҳосил карда шуд, аз ҷумла: алюминийи навъи А7 (99,97% Al) тибқи ГОСТ 11069, миси тамғаи М1к (99,95% Cu) тибқи ГОСТ 859-2014, магнийи Mg90 (99,9% Mg) тибқи ГОСТ 804-93, калсийи тамғаи Ка (99,8% Ca) тибқи ТУ 95-824-88, стронсийи тамғаи СтМ1 (99,9 % Sr) тибқи ТУ 48-4-173-72 ва барийи тамғаи БМ1 (99,9% Ba) тибқи ТУ 48-4-465-85. Миқдори калсий, стронсий ва барий 0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 % мас. буд. Барои омӯхтани гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳо намунаҳо ба шакли цилиндрӣ бо диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм омода гардида, дар қолаби графитии махсус рехта шуданд. Назорати таркиби хӯлаҳои бадастомада бо роҳи баркашидани шихта ва ҳуди хӯла анҷом дода шуд. Агар фарқи массаи намуна аз 2 % бештар мешуд, раванди тайёр кардани хӯла аз нав гузаронида мешуд.

2.2. Усули гармогравиметрии омузиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ

Айни замон масъалаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо яке аз масъалаҳои муҳимми амалӣ ба шумор рафта, дар маркази таваҷҷуҳи муҳаққиқони соҳа

карор дорад. Бе фаҳмиши раванди оксидшавии металлҳо интиҳоб ва истифодаи дурусти маводди металлӣ барои сохтани гармкунакҳо, оташдонҳо, табдилдиҳандагони гармӣ ва дигар таҷҳизоти техникӣ ғайриимкон аст. Бо рушди соҳаҳои нави техникӣ, аз ҷумла ракетасозӣ, истехсоли маводҳои нимноқилӣ, металлургияи хокавӣ, нанотехнология ва маводҳои наномасштабӣ, зарурати интиҳоби маводди қобили қор дар ҳарорати баланд рӯз ба рӯз аҳамияти бештар меёбад. Техникаи муосир талаботи нави ҷиддӣ нисбат ба маводҳои конструксионӣ мегузорад, ки бояд дар шароити ҳарорати баланд, бори зиёд, фишор ва муҳити саҳт амал кунанд. Азбаски металлҳои ҳолис ҳамчун маводди конструксионӣ кам истифода мешаванд, таҳлили оксидшавии ҳулаҳо ва роҳҳои баланд бардоштани муқовимати онҳо ба оксидшавӣ яке аз масъалаҳои муҳим ва амалӣ-илмӣ ба ҳисоб меравад [69, с. 35-42; 92, с. 60-63].

Оксидшавии алюминий одатан дар ҳароратҳои 660–680 К ба таври фаъолона шурӯъ мешавад. Дар манбаъҳои [38; 67, с. 673-678; 69, с. 35-42; 83, с. 217-220; 98, с. 360-363] нишон дода шудааст, ки ҳолати ибтидоӣ ва таркиби фазавии пардаи оксидии руизаминӣ ба суръати оксидшавии алюминий таъсири муайян мерасонанд. Дар ҳароратҳои 830-930 К суръати оксидшавӣ каме меафзояд, ки ба вайроншавии (кафидани) пардаи муҳофизатии оксидӣ ва рекристаллизатсияи металл алоқаманд аст [38; 67]. Ҳамзамон, муаллифони [67] чунин ҳодисаро бо хосияти аморфии алюминийи $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ва баландшавии ҳарорат болотар аз 973 К вобаста медонанд, ки дар ин ҳолат фазаи $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ба $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ табдил ёфта, раванди оксидшавӣ ғавран меафзояд [38]. Дар чунин ҳарорат гузариши фазавии $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, оғоз меёбад, ки бо ҷафсшавии ҳаҷмии фазаи оксидӣ ҳамроҳ давом мекунад. Хосиятҳои муҳофизатии парда паст шуда, яқсатҳои он доимо вайрон мешавад, металл зуд оксид мешавад, сатҳи хоси маҳсулоти оксидшавӣ зиёд мегардад. [83, с. 217-220; 98, с. 360-363].

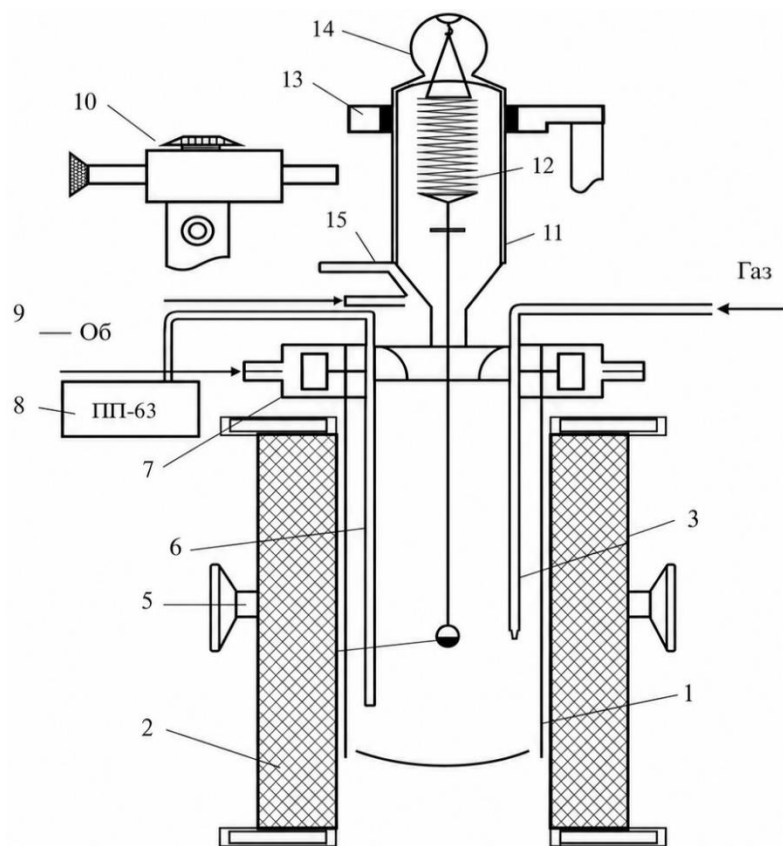
Таҳқиқи методикаи таъсири иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ (литий, натрий, калий) ба кинетикаи оксидшавии ҳулаи алюминийи ноқилӣ AlTi0.1 , дар ҳолати саҳтии ҳула бо литий, натрий, ва калий бо вазни 10 г, барои

омузиш хӯлаҳои алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ (дюралюмин) бо иловаи калсий, стронсий ва барий истифода гардиданд. Кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо бо усули гармогравиметрӣ дар шароити ғайриизотермии ҳавои атмосфера, ки дар адабиёти [72; 76; 104; 105; 140] шарҳ ёфтааст, гузаронида мавриди омузиш қарор гирифт. Дар расми 2.5 схемаи дастгоҳе, ки барои омӯхтани кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо истифода мешавад, нишон дода шудааст. Қисмҳои асосии он аз оташдони Тамман (1) ва ғилофи он, ки аз оксиди алюминий сохта шудааст (2) иборатанд. Дар раванди таҷриба қисми болоии ғилоф бо сарпӯшҳои обхунуккунанда (7) пӯшида мешавад. Ин сарпӯшҳо сӯроҳҳои барои гузаронидани кубурҳои газ доранд (3), тигел (4) барои ҷойгир кардани намунаҳои хӯла ва гармопараҳо (5) пешбинӣ гардидаанд. Намуна ба риштаи платинӣ (6) овезон карда шуда, ба пружина пайваست мегардад. Пружина (12) аз сими молибденӣ сохта шуда, аввал чен мекунанд ва сипас ба баллони шишаи молибдени (11) бо сарпӯши зич маҳкамшаванда (14) ҷой мекунанд. Барои истисно кардани ларзиш ва зарба, ғилоф ва пружина ба тағмонаки аз оташдон вобастанабуда, васл карда мешавад (13). Дар қисми поёни баллон трон ва яхдон (15) насб гардида, тарозухоро аз радиатсияи гармии оташдон муҳофизат мекунанд. Бо истифода аз катетометрҳои тамғаи КМ-8 тағйирёбии вазн ва ёзиши пружинаи намунаҳо сабт карда мешавад. Дар таҷрибаҳои Ғаниев И.Н. барои таҳқиқоти худ тигелҳо аз оксиди алюминий бо диаметри 18–20 мм ва баландии 25–26 мм истифода шуданд, ки мо низ аз ҳамин стандарт пайравӣ кардем. Пеш аз таҷриба, тигелҳо дар муҳити оксидкунанда дар ҳароратҳои 1273–1473 К барои 1,5 соат то расидан ба вазни доимӣ гарм карда мешуданд. Оксидшавии хӯлаҳо дар ҳолати саҳт дар ҳароратҳои доимии 723 К, 773 К ва 823 К анҷом дода шуд [76].

Тигел бо намунаи металли таҳқиқшаванда дар минтақаи изотермии оташдон ҷойгир карда мешуд. Суръати гармшавӣ ба 2–3 °C/дақ расонида мешуд. Пеш аз оғози гармшавӣ катетометр бо нишондиҳандаи пружина танзим гардида, нуқтаи ибтидоӣ дар шкала қайд карда мешуд ва дар давоми

гармшавӣ тағйироти вазн пайваста назорат карда мешуд. Ҳангоми расидан ба ҳарорати муқарраршуда, нуқтаи ибтидоии нав қайд карда мешуд.

Ҳароратро бо гармопарии платинӣ-платинородӣ чен мекунам, ки кафшери тафсонаш дар сатҳи қабати болои намуна ҷойгир аст. Дақиқии ченкунӣ ± 2 К ташкил дод. Термометрро ба ғилофи аз оксиди алюминий ҷой мекунам. Барои доимӣ нигоҳ доштани нишондоди ҳарорати кафшери хунук дар ҳарорати 273 К аз термостати тамғаи «Нул-Б» истифода мешавад. Сабти ҳарорат тавассути потенциометри ПП-63 амалӣ мегардад. Баъди анҷоми таҷриба, системаро хунук карда, вазни тигел ва намунаро баркашида, сатҳи таъсирро муайян кардем.



Расми 2.5. – Нақшаи дастгоҳ барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва ҳӯлаҳо

Эзоҳ: 1) унсури гармкунанда; 2) қабати гарминигоҳдоранда; 3) камераи корӣ; 4) намуна; 5) дорандаи намуна; 6) термopapap; 7) сарпӯши камера; 8) потенциометри ПП-63; 9) кубури оби хунуккунанда; 10) ҳаводиҳанда (компрессор); 11) корпуси дастгоҳ; 12) мори хунуккунанда; 13) баромади оби хунуккунанда; 14) дастгоҳи боркунӣ; 15) даромади оби хунуккунанда.

Ҳатоии озмоиш аз рӯйи формулаи ибтидоии доимияти суръати оксидшавӣ ҳисоб карда мешавад:

$$k = \frac{m}{s \cdot t}, \quad (2.9)$$

ки m -тағйирёбии массаи металл; s – сатҳи таъсир; t – вақт мебошад [125].

Хатоии нисбии ҳисобшудаи озмоиш аз суммаи хатоҳои нисбӣ бармеояд:

$$\frac{\Delta k}{k} = \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta s}{s} \right)^2 + \frac{\Delta t}{t}. \quad (2.10)$$

Ҳар ҷамъшавандаро дар алоҳидагӣ баррасӣ мекунем. Дақиқии баркашӣ бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta M}{9,0} \cdot 100 + \frac{0.0001_{TB}}{9,0} \cdot 100 + \frac{0.0001_{TB}}{100} \Delta L. \quad (2.11)$$

Бо истифода аз тарозуи таҳлилӣ, қимати сураҷҳои ҷамъшавандаҳои дуюм ва сеюм, ададан баробари 0.0001_{TB} хатоии баркаши намуна пеш ва баъд аз таҷрибаро ифода мекунад, Δm - дақиқии баркаши тарозуи пружинӣ дар раванди озмоиш ё ҳассосияти онҳоро бо роҳи ченкунии тарозуҳо якҷоя бо риштаи платинаи овезон ва тигели бо овеза муайян карда мешавад. Ҳамзамон тарозуҳо барои доимияти модули чандирии пружина (шумораи печҳо ($W = 20$ мавриди санҷиш қарор дода шуданд.

Нақшаи ченкунӣ чунин буд

$$\begin{cases} m + a; \\ m + a + k\Delta h; \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} m + 3a; \\ m + 3a + k\Delta h; \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\begin{cases} m + na \\ m + na + k\Delta h, \end{cases} \quad (2.14)$$

ки дар он: m - массаи тамоми системаро ифода мекунад, k) - иловаи доимӣ ($0,020 \cdot 10^{-3}$ кг) мебошад, ва Δh - дарозшавии пружинаро нишон медиҳад, ки тавассути катетометри КМ-8 бо қимати тақсимои $0,10 \cdot 10^{-3}$ м сабт карда

мешавад. Ҳисобгирӣ аз рӯйи ҷойивазкунии нишондиҳандаи пружина, ки дар қисми поёни он насб шудааст, анҷом дода мешавад. Ҳасосияти (ΔM) тарозуҳои дараҷабандишуда мувофиқи схемаи пешниҳодшуда барои борҳои то $15 \cdot 10^{-3}$ кг баробар ба $0,0001 \cdot 10^{-3}$ кг буд; ΔL - хаттиест, ки бухоршавии металлро дар ҷараёни таҷриба ба ҳисоб мегирад. Барои ҳар як металл ин хатогӣ хосиятҳои худро дорад ва бо усули зерин муайян карда мешавад: металл то ҳарорати муайян гарм карда шуда, пас дар муҳити гази инертӣ, ки аз оксиген ва намӣ пок карда шудааст, нигоҳ дошта мешуд, сипас аз рӯйи фарқи вазни металл то ва баъд аз гармкунӣ камшавии вазн (масса)-и металлро муайян мекарданд. Ҳисоб кардани сатҳи таъсир тавассути катетометри КМ-8, дар ҳудуди ченкунии 0,0–0,5 м, анҷом дода мешуд. Бо дақиқии ченкунӣ ± 0.000030 м ва бо дарназардошти ноҳамворӣ, хатой ± 1.9 фоизро ташкил медиҳад. Аъзои дигар $\Delta t/t$ аз рӯйи қимат хурд мебошад, ва ҳангоми ҳисобкунӣ метавонад сарфи назар шавад:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{3600} \cdot 100 = 0,027\% \quad (2.15)$$

Ҳарорат тавассути гармопарии платинӣ-платинородӣ чен карда мешуд, ки кафшери тафсонаш дар сатҳи қабати болои намуна қарор дошт. Дурустии ченкунии онро ± 2 К қабул кардем. Ҳангоми ченкунӣ хатой чунин шуд:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{2.100}{900} = 0.22\%. \quad (2.16)$$

Аз рӯйи муодилаи (2.10) хатойи нисбии озмоиш чунин ҳисоб карда мешавад

$$\frac{\Delta k}{k} = (2.71)^2 + (1.5)^2 + 0.027 = 9,62\% [75; 104; 140].$$

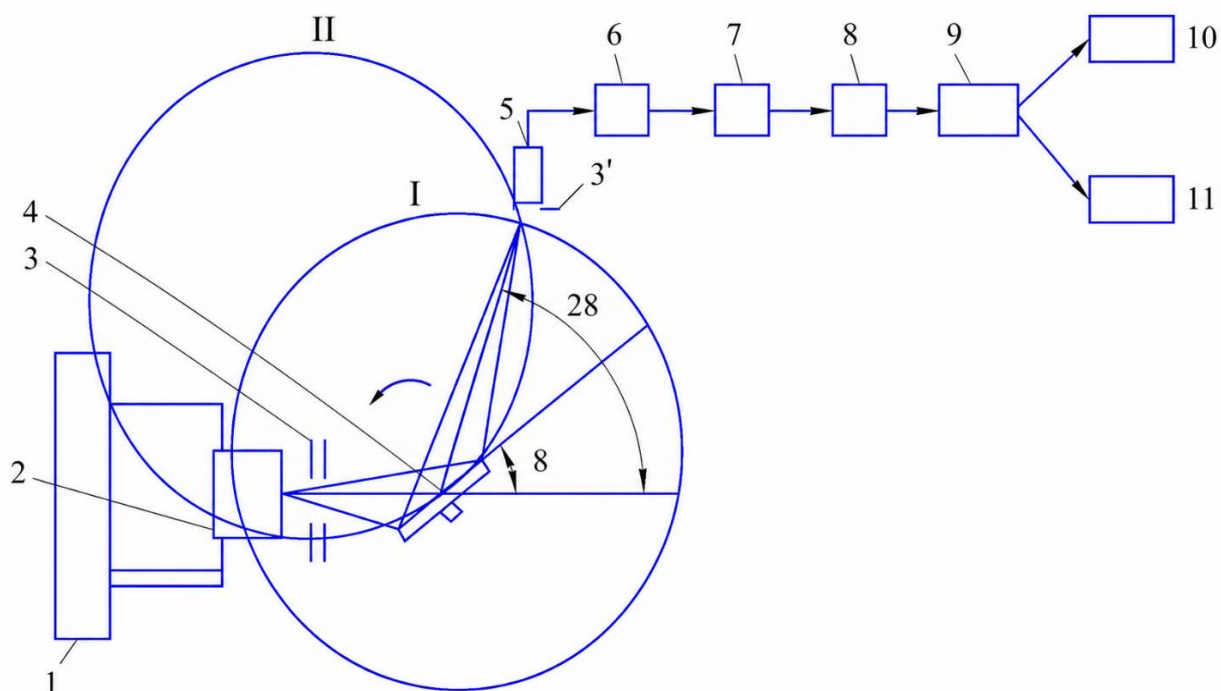
Таҳлили таркиби фазавии маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо. Усулҳои рентгенӣ барои муайян кардани навъ ва таркиби фазавии кристаллӣ дар маводди табиӣ ва синтезшуда васеъ истифода мешаванд. Таҳлили рентгенофазавӣ (РФА) имкон медиҳад, ки таркиби сифатӣ ва миқдорӣ

муайян карда шуда, нишондиҳандаҳои элементарии моддаҳои кристаллӣ таҳлил гарданд, ҳамчунин маҳлулҳои саҳт ва тағйиротхое, ки зерӣ таъсири ҳарорат ва фишор дар маводҳо ба вуҷуд меоянд, омӯхта шаванд.

Барои таҳлили фазаҳои рентгенӣ дифрактометри тамғаи DRON-3M, ки бо компютер таҷҳизонида шудааст, истифода гардид. Таркиби сифатии фазавӣ тавассути муқоисаи штрихкодҳо ва масофаҳои мувофиқи байни ҳамвории $dhkl$ моддаҳо бо дарназардошти хусусиятҳои шабеҳ муайян карда шуд. Аксирии рентгенӣ бо истифода аз нурҳои $CoK\alpha$ ($\lambda = 1,7902 \text{ \AA}$), бо шиддати анод 30 кВ, ҷараёни 30 мА ва ҳудуди кунҷи 2θ аз 5° то 150° анҷом дода шуд. Таҳлили таркиби фазавӣ маҳсулоти оксидшавӣ дар дастгоҳе сурат гирифтааст, ки схемаи он дар расми 2.6 нишон дода шудааст.

Намунаи 4 дар маркази доираи I ҷойгир шудааст, ва ҳисобкунаки 5 ҳамрадифи ҳаракати он мебошад, ки дар он найчаи рентгенӣ ҷойгир шудааст. Ҳаракати якҷояи ҳисобкунак бо намунаи 4 имкон медиҳад, то доимо сатҳи он ба доираи фокускунии II расида бошад, инчунин фокуси найчаи рентгенӣ, маркази намуна ва сӯрохи даромадгоҳи ҳисобкунак дар он ҷойгиранд [107, с. 35-39].

Бо воситаи дастгоҳи генератории 1 фарқи потенциалӣ байни электродҳои найчаи рентгенӣ 2 чен карда мешавад. Нурҳои рентгенӣ аз ду диафрагмаи 3 ва 3 мегузаранд, аз намунаи 4 инъикос шуда, ба ҳисобкунаки 5 ворид мешаванд, ки дар минтақаи намоён ба нурафканӣ мубаддал мешавад. Бо ёрии фотомултипликатор 6 ва пурзуркунада 7 сигнали рӯшноӣ ба сигнали электрикӣ табдил ва пурзур карда мешавад. Пас аз он, дар дискриминатор 8 импульсхое, ки ба нурафканиҳои мувофиқ ҷавобгӯ нестанд, ҷудо карда мешаванд. Импульсҳои аз дискриминатор гузашта бо истифода аз схемаи ҳисобкунии 9 бо ёрии MAX (АЦП) ва компютер 10 (дар тасмаи худнависи диаграммавӣ) сабт мегарданд. Тавассути интензометр 11 қимати шиддатнокии (интенсивии) шуоъҳои рентгении инъикосшаванда бо миқдори квантҳои он нишон дода мешавад.



Расми 2.6. – Нақшаи принципаии дифрактометри ДРОН-3М

Эзоҳ: 1) найчаи рентгенӣ; 2) коллиматори даромад; 3) шуои ибтидоии рентгенӣ; 3) шуои дифраксионӣ; 4) намуна; 5) детектор; 6) пештақвиятдиҳанда; 7) тақвиятдиҳанда; 8) дискриминатори амплитуда; 9 — блоки бақайдгирӣ; 10 — дастгоҳи сабт; 11 — ҳисобкунаки импульсо; I - доираи фокусонӣ; II - доираи гониометрӣ; θ ва 2θ - кунҷҳои ченкунӣ.

Ҳадафи ин усул аз он иборат аст, ки манзараи дифраксионӣ тавассути тағйир додани самти ҷойгиршавии кристалл ё самти афтодани шуоъ, ё бо истифода аз спектри яклухт ба даст оварда шавад.

Дар доираи диссертатсия усули хокаи (порошок) интихоб карда шуд. Намунаҳои хокамонанди оксидҳои хӯлаҳо дар уғурчаҳои агатӣ омода гардиданд. Пас, барои сабти дифрактограмма хокаи таҳқиқшаванда ба сатҳи каретка бо қабати тунук ва яхела пошида шуд, то гирифтани натиҷаҳои такроршаванда ва дақиқ таъмин гардад. Таркиби фазавии маҳсулоти оксидшавӣ бо муқоиса кардани қиматҳои таҷрибавии масофаҳои байниқабатӣ, шиддатнокии шиддат (интенсивност) ва кунҷҳои Берегов бо арзишҳои назариявӣ муайян карда мешуд. Ин раванд имкон дод, ки фазаҳои кристаллӣ ва таркиби онҳо ба таври сифатӣ ва микдорӣ таҳлил карда шаванд.

2.3. Дастгоҳ ва усулҳои таҳқиқи хосиятҳои

электрохимиявӣ ҳулаҳо

Зангзанӣ ба металлҳо ва ҳулаҳо метавонад ба конструкцияҳои металлӣ зарари ҷиддӣ расонад. Дар натиҷаи ин раванд металл қисман ё ҳатто пурра вайрон мешавад. Гарчанде ки зангзанӣ одатан бо суръати паст рух медиҳад, дар давоми истифодаи тӯлонӣ он метавонад ба сатҳи хавфнок бирасад ва боиси паст шудани хусусиятҳои корӣ, герметикӣ ва устувории механикии металл гардад. Одатан, зангзанӣ тавассути механизми электрохимиявӣ ба амал меояд. Аз ҳамин сабаб, ҳангоми арзёбии муқовимати металлҳо ва ҳулаҳо ба зангзанӣ, омӯзиши рафтори анодии онҳо дар муҳитҳои гуногуни ҷаҳол аҳамияти махсус дорад. Дар адабиёти илмӣ [8; 11; 51; 101; 111]. Рафтори анодии ҳулаҳои алюминий дар муҳити кислотаи сулфат ба таври васеъ таҳқиқ шудааст.

Барои омӯзиши равандҳои зангзании металлҳо ва ҳулаҳо кайҳо боз усулҳои электрохимиявӣ васеъ истифода мешаванд. Дар миёни онҳо, усулҳои потенциостатикӣ бо самаранокии баланд ва натиҷаҳои дақиқ фарқ мекунанд.

Ба тӯфайли усулҳои потенциостатикӣ маълумоти арзишманд андӯхта шудааст, ки дастоварди муҳими илмӣ дар соҳаи маводди ба зангзанӣ тобовар ба ҳисоб меравад. Истифодаи усулҳои потенциостатикӣ имкон медиҳад, ки таъсири потенциали электрод ба рафтори металлҳо ва ҳулаҳо ҳам дар ҳолати пасивӣ ва ҳам дар ҷараёни пасившавӣ ба таври дақиқ арзёбӣ карда шавад. Маълум аст, ки робитаи байни суръати ҳалшавии металл ва потенциали он яке аз нишондиҳандаҳои асосии равандҳои зангзанӣ ба ҳисоб меравад. Ин вобастагӣ метавонад ҳам барои интиҳоби усулҳои мувофиқи ҳифзи металл дар шароити муайян ва ҳам барои пешгӯии дараҷаи устувории он ба зангзанӣ истифода шавад [1; 17; 22; 24; 27].

Дар боби 2.1 тарзи ҳосил намудани намунаҳо барои муайян намудани нишондиҳандаҳои зангзании электрохимиявӣ баррасӣ гардидааст. Барои омӯзиши хосиятҳои электрохимиявӣ, намунаҳои цилиндрӣ бо диаметри 8 мм ва дарозии 140 мм дар қолаб рехта мешаванд. Қисми охири намунаҳо барои омӯзиши хосиятҳои зангзанӣ электрохимиявӣ ҳамчун электроди корӣ хизмат

мекунад. Аз хӯлаҳои ҳосилшуда ба қолаби металли кокилӣ намунаҳои силиндрии диаметрашон 8 мм ва дарозиашон 140 мм рехта мешуданд. Қисми паҳлӯии намунаҳо ҳамчун электроди корӣ барои таҳқиқи хосиятҳои зангзании электрохимиявӣ хизмат мекард. Пеш аз таҳқиқ электродҳои корӣ бо истифода аз сангрегҳои калон ва маҳин (наждак) тоза карда мешуданд, пайдарпай аз сангрегҳои донадори калон ба дондори майда (№2–00) мегузафтанд. Бо ҳамин тарз, омодаسازی сатҳи электрод пеш аз ҳама аз коркарди механикӣ иборат буд. Дар марҳалаи ниҳой сатҳи он бо спирт тоза карда мешуд. Қисми ғайрифазоли хӯлаҳоро бошад, бо омехтаи махсуси изолатсионӣ мепӯшониданд, ки аз 50% парафин ва 50% канифол иборат буд. Таркиби хӯлаҳои ҳосилшуда дар озмоишгоҳи марказии корхонаи ҚСК «ТалКо», бо баркашии шихта ва хӯлаҳои ҳосилшуда мавриди назорат қарор мегирифт. Ҳар як намуна аввал тавассути суфтакунӣ ҳамвор ва сайқал дода мешуд, баъдан бо спирт аз раған ва ифлосиҳо тоза мегардид. Пас аз ин, онро барои муайян кардани потенциали табиӣ зангзанӣ ба маҳлули таҳқиқшавандаи NaCl (тамғаи ЧДА, ГОСТ 4233-77) ҷойгир мекарданд.

Барои омӯختани хусусиятҳои электрохимиявии зангзании хӯлаҳо дастгоҳи потенциостати ПИ-50.1-1 истифода бурда шуд. Таҳқиқот бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ, бо суръати тағйирёбии потенциал 2 мВ/с анҷом дода мешуд.

Ҳамзамон, барои сабти раванди зангзанӣ дастгоҳи (Программатори) ПР-8 ва ЛКД-4 истифода шуданд. Ҳарорати электролит ба 20 °C бо ёрии термостати МЛШ-8 нигоҳ дошта мешуд, нукра ба сифати электроди муқоисавӣ хлориди ва платина ба сифати электроди ёрирасон истифода гардид.

Дар расми 2.7 диаграммаи поляризатсияи пурра барои хӯлаи ибтидоии тамғаи дюралюминийи AlCu₄5Mg1 дар муҳити электролити NaCl пешниҳод шудааст. Намунаҳоро ба таври потенциодинамикӣ дар самти мусбат аз потенциале, ки ҳангоми воридкунӣ муқаррар шудааст, то ба афзоиши шадиди ҷараён дар натиҷаи ба вуҷуд омадани питтинг (расм 4.1, қачхатаи I) поляризатсия намудем. Сипас намунаҳоро дар самти баръакс поляризатсия

кардем (расм 4.1, қачхатаи II) ва аз рӯйи нуқтаи буриши қачхатаҳои I ва II ё аз рӯйи қатшавӣ дар қачхатаи II қимати потенциали репассиватсия ($E_{р.п.}$)-ро муайян кардем. Баъдан ба минтақаи катодӣ то қимати потенциали $-1,2$ В гузаштем, то ки пардаҳои оксидӣ аз сатҳи электрод бо роҳи ишқоршавӣ хориҷ карда шаванд (расм 4.1, қачхатаи III). Дар марҳалаи ниҳой намунаҳо дубора ба самти мусбат поляризатсия карда шуданд (расм 4.1, қачхатаи IV). Аз рӯйи ин қачхатаҳо потенциалҳои пайдоиши питтинг ($E_{п.о.}$), репассиватсия ($E_{р.п.}$), инчунин потенциал ва ҷараёни зангзанӣ ($E_{кор.}$ ва $i_{кор.}$) муайян карда шуданд.

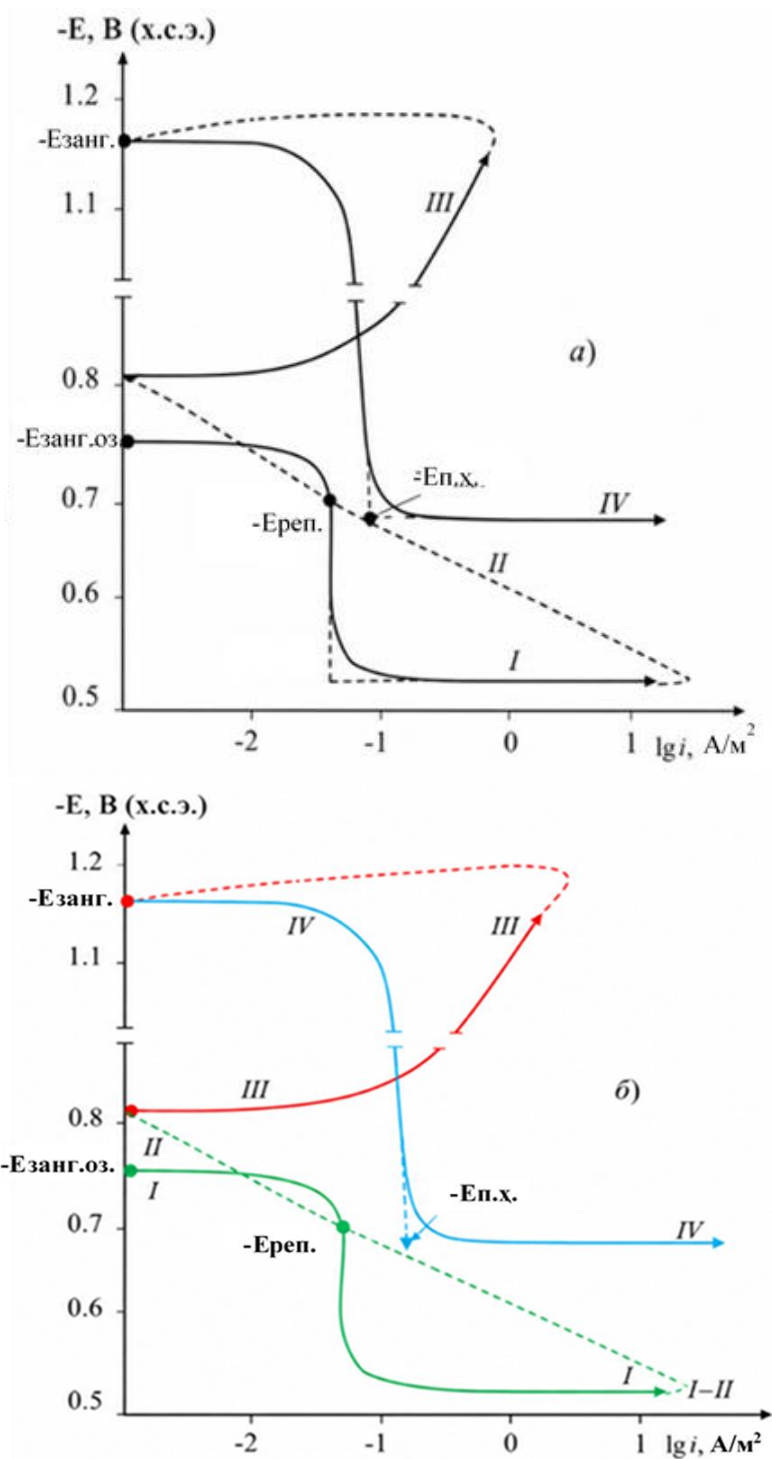
Дар расми 4.1 чор қачхатаи потенциодинамикии намунаҳо оварда шудаанд, ки дар муҳити электролити 3,0%-и NaCl ба қайд гирифта шудаанд. Хатҳои канда (пунктирӣ) қачхатаҳои поляризатсияи баръаксро нишон медиҳанд.

Ҳангоми сабти пурраи қачхатаи поляризатсионӣ як қатор нишондиҳандаҳои муҳими электрохимиявӣ муайян карда шуданд, аз ҷумла:

- $E_{ст.}$ ва ё $E_{занг.оз.}$ -потенциали статсионарӣ ё зангзании озод;
- $E_{реп.}$ – потенциали репассивӣ;
- $E_{занг.}$ – потенциали зангзанӣ;
- $E_{п.х.}$ – потенциал питтингҳосилшавӣ;
- $i_{занг.}$ – ҷараёни зангзанӣ.

Умуман, раванди зангзании ин хӯла дар маҳлули электролити 3%-и NaCl бо реаксияи катодӣ, яъне бо иштироки ионизатсияи оксиген дар муҳити нейтралӣ мегузарад. Қимати ҷараёни зангзанӣ бо дарназардошти доимии Тафел ($b_k = 0,12$ В) аз рӯйи қисмати катодии қачхатаҳои потенциодинамикӣ ҳисоб карда шуд.

Суръати зангзанӣ k аз рӯйи ҷараёни зангзанӣ $i_{занг.}$ бо формулаи $K = i_{занг.}$ k , ҳисоб намудем, ки дар инҷо $k = 0,335$, г/А·соат эквиваленти электрохимиявии алюминийро ифода мекунанд.



Расми 2.7. – Качхатаҳои поляризатсияи пурраи ҳўлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий дар электролити 3 Ҷоизаи NaCl бо суръати гардиши (тағйирёбии) потенциали 1 мВ/с (а) ва 2 мВ/с (б)

Аз рўйи формулаи зерин (г/м^2) талафоти зангзании намунаҳо ҳисоб карда шуд:

$$\Delta m = m_0 - m/S,$$

ки дар инҷо m_0 — массаи намунаи пеш аз озмоиш;

m - массаи намуна пас аз ихроҷи маҳсулоти зангзанӣ;

S - сатҳи намунаи пеш аз санҷиш, m^2 мебошанд.

Суръати зангзанӣ (K) дар $г/м^2 \cdot соат$ бо формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$K = \Delta m / (t \cdot S),$$

ки дар он (t) - давомнокии вақт озмоиш/ соат, мебошад.

Барои муайян намудани таъсири ионҳои хлорид ба раванди зангзании электрохимиявӣ хӯлаҳои таҳқиқотӣ, ки ба онҳо металлҳои ишқорзаминӣ илова шудаанд, озмоишҳо мувофиқи ГОСТ 9.017–74 дар муҳити электроди NaCl гузаронида шуданд. Рафтори анодии хӯлаҳо дар маҳлулҳои 0,03%, 0,3% ва 3,0 Ҷоизаи NaCl (аз рӯйи масса) мавриди омузиш қарор гирифт.

Семенова И.В. ва Кравтсов В.В. «Хатоҳои муайянкунии зичии ҷараёни зангзанӣ (0,001- 0,005) $\cdot 10^{-2} A \cdot m^{-2}$ ва гардиши (такрори) ченкунии потенциали электрохимиявӣ ба ± 2 мВ баробар медонанд». Маълумоти муфассали ин таҳқиқот бо методикаи потенциостатикӣ дар адабиётҳои [28; 43] оварда шудааст.

БОБИ 3. ТАҲҚИҚИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ, ГАРМОФИЗИКӢ ВА ГАРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНИЙ БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ

3.1. Таъсири иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба микросохтор ва хосиятҳои механикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий

Макросохтори дилхоҳ металл сохторест, ки бо чашми оддӣ ё бо ёрии шишаи калонкунанда намоён аст. Макросохторро аз ҷои шикаст, буриши порча ва бо ёрии макрошлифҳо меомузанд. Макрошлифҳо, чун микрошлифҳо-намунаҳои таҳқиқотии махсус омодашудаи макросохтор макротаҳлил номида мешавад.

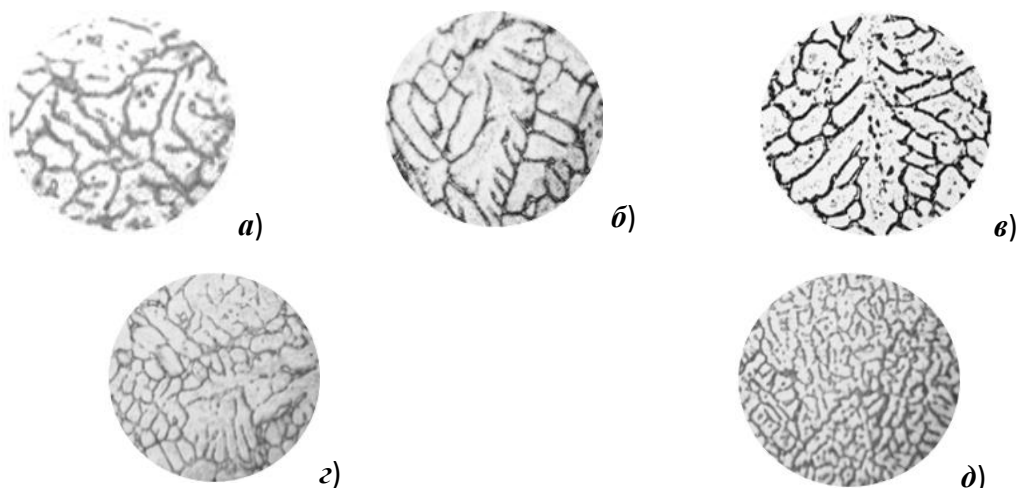
«Микротаҳлил имконият медиҳад, ки андоза ва шакли донаҳои хурд, сифати коркарди ҳароратӣ ва инчунин хурдтарин нуксонҳо дар металл (тарқишҳои нахмонанд, иловаҳои ғайриметаллӣ) муайян карда шаванд. Барои микротаҳлил аз микросуфтакунии металл ва микроскоп истифода карда мешавад» [37; 47].

Таҳлили микросохтор яке аз усулҳои муҳим барои омӯختани хусусиятҳои алюминий ва хӯлаҳои он ба ҳисоб меравад. «Бо ёрии ин усул метавон таъсири намудҳои гуногуни коркарди деформатсионӣ ва ҳароратиро ба хосиятҳои маҳсулоти ниҳой арзёбӣ кард, инчунин сабабҳои аз кор баромадани маводро муайян намуд. Ин гуна таҳқиқот имкон медиҳанд, ки сарҳади минтақаҳои якхела (гомогенӣ) ва нобаробар (гетерогенӣ) дақиқ муайян карда шавад, тағйирёбии микросохтор вобаста ба таркиб ва ҳарорат пайгирӣ гардад ва ҳамзамон мавҷудияти фазаҳои байниметаллӣ дар система ошкор карда шавад» [158].

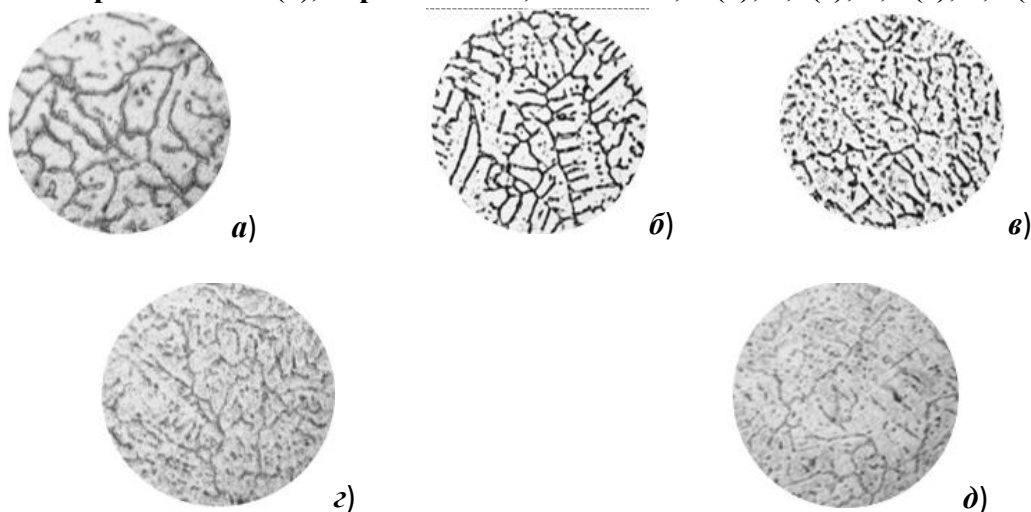
«Барои таҳқиқи микросохтор аз хӯлаҳои ҳосилшуда намунаҳои шаклан цилиндрӣ тайёр карда шуданд, ки диаметрашон 15 мм ва дарозиашон 20 мм буд» [158]. Пеш аз таҳлил ҳар як намуна суфта карда шуда, сипас бо спирт аз равған ва ифлосиҳо пок мешуд. Баъд аз ин, онҳо ба реактиви умумӣ – маҳлули обии 0,5%-и HF ғўтонда мешуданд, ки давомнокии коркарди он тақрибан 30–50 сонияро ташкил медод.

Дар ин таҳқиқот ҳамчун мавод хӯлаи саноатии рехташудаи алюминий интихоб гардид, ки таркиби он тақрибан чунин буд: 4,5% мис (Cu), 1% магний (Mg) ва қисми боқимонда алюминий (Al). Бо мақсади омӯхтани таъсири калсий, стронсий ва барий ба микросохтори хӯлаи дюралюминий навъи $AlCu_{4,5}Mg_{1,2}$, як қатор хӯлаҳо бо иловаи ин элементҳои ишқорзаминӣ дар ҳудуди 0,05 то 1,0% аз рӯйи масса омода карда шуданд.

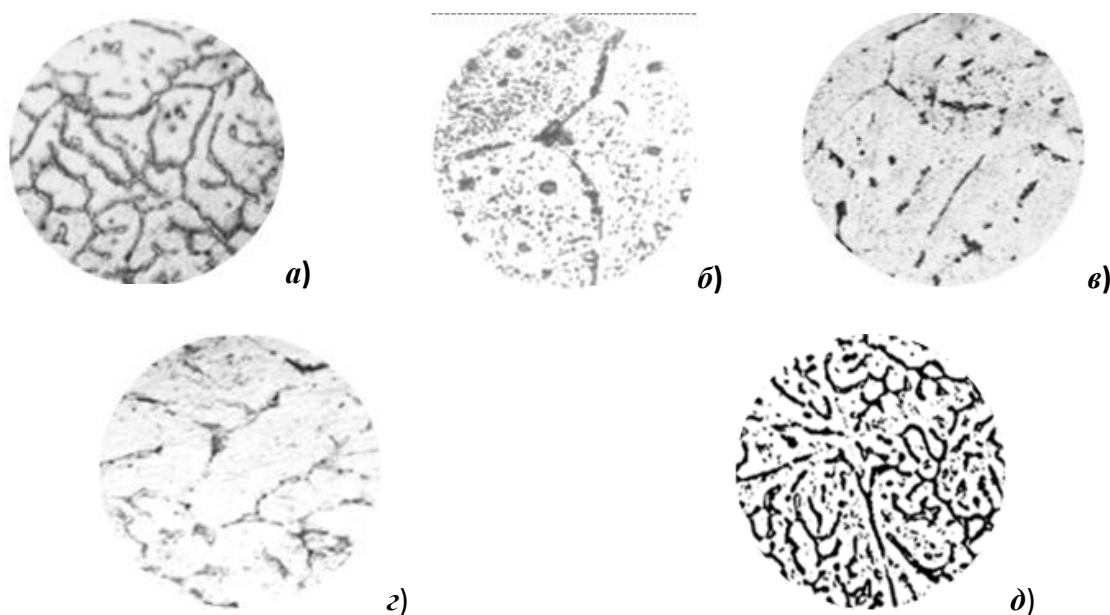
Натиҷаҳо нишон доданд, ки микросохтори чунин хӯлаҳо аз маҳлули саҳти алюминий ва эвтектика иборат буда, миқдор ва андозаи он бевосита ба миқдори элементҳои иловашуда вобаста аст. Ҳангоми мавҷудияти миқдори ками калсий, стронсий ва барий, сохтор нисбатан калонҳаҷм боқӣ мемонад. Аммо бо зиёд шудани ҳиссаи ин иловаҳо, сохтор тадриҷан майда ва яксон гардида, ба ҳолати нозук ва якхела мегузарад (расмҳои 3.1-3.3).



Расми 3.1. – Микросохтори (х500) хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$, навъи дюралюминий (а), дорони калсий, мас. %: 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0 (д)



Расми 3.2. – Микросохтори (х500) хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$, навъи дюралюминийи дорони стронсий, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0(д)



Расми 3.3. – Микросохтори (х500) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, навъи дюралюминийи дорони барий, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1(в); 0,5 (г); 1,0 (д)

«Таҷриба нишон дод, ки иловаҳои калсий, стронсий ва барий то 1,0% ба таркиби хӯла таъсири калон мерасонанд: онҳо сохтори аслии хӯларо майда ва яксон намуда, онро ҳамвор ва якранг мекунанд. Дар байни ин металлҳои ишқорзаминӣ, барий таъсири бештар ва самараноктар дорад» [158] (расм 3.3).

«Яке аз усулҳои васеи арзёбии хусусиятҳои механикии металлҳо – ченкунии сахтӣ мебошад. Азбаски аксари хосиятҳои металл ва хӯлаҳо ба сохтори онҳо вобаста аст, натиҷаҳои ченкунии сахтӣ имкон медиҳанд, ки дар бораи дигар хусусиятҳои механикии онҳо пешакӣ хулоса бароварда шавад. Дар асоси чен кардани сахтӣ дар ҷузъҳо мавҷуд будан ё набудани қабатҳои мустаҳкамшуда, ки дар натиҷаи намудҳои гуногуни коркарди гармии хӯлаҳо ба вучуд меоянд ва бо тағйирёбии сохтор дар қитъаи буриши ҷузъ вобастаанд, хулоса бароварда мешавад» [158].

Сахтии намунаҳо бо ёрии дастгоҳи MODEL HBRV-187.5D муайян карда шуд. Дар таҷриба сарбории $P = 250$ кг ва тӯби диаметраш $D = 10$ мм истифода гардид. Барои он ки натиҷаҳо боэътимод бошанд, намунаҳое интихоб карда шуданд, ки ғафсиашон аз 6 мм зиёд буда, диаметрашон тақрибан 16 мм-ро ташкил меод.

Вобастагии тахминии ҳудуди устувории металл аз саҳтии он бо истифода аз формулаи Бринелл ҳисоб карда шуд:

$$\sigma_s = k \cdot HB, \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

ки дар ин ҷо $k = 0,35$ аст.

Бо дарназардошти k барои ҳулаҳои алюминий ба 0,35 баробар будан, қимати ҳулаҳои σ_s ҳисоб карда шуда, дар ҷадвали 2.3 пешниҳод карда мешавад. Чуноне, ки аз ҷадвал бармеояд, то 1,0 мас.% илова намудани калсий, стронсий ва барий, кам гардидани саҳтӣ ва устувории ҳулаи ибтидоӣ мушоҳида мешавад. Аз байни элементҳои таҳқиқшаванди ишқорзаминӣ, бештар стронсий таъсири мусбат мерасонад.

Ҷадвали 3.1. - Саҳтӣ ва устувории ҳулаи алюминийи $AlCu4,5Mg1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст

Миқдори калсий, стронсий ва барий дар ҳула, мас. %	*Саҳтӣ HB, кгс/мм ²	*Саҳтӣ HB, МПа	Ҳисоби устуворӣ, МПа
0,0	28,11	275,66	96,48
0,05Ca	31,25	306,45	107,25
0,1Ca	34,67	340	119
0,5Ca	37,34	366,18	128,16
1,0Ca	40,48	393,83	137,84
0,05Sr	31,0	304	106,4
0,1Sr	34,11	334,50	117,07
0,5Sr	36,89	361,76	126,61
1,0Sr	39,55	387,85	135,74
0,05Ba	31,95	313,32	109,66
0,1Ba	35,18	345	120,75
0,5Ba	38,23	374,91	131,21
1,0Ba	41,34	405,41	141,89

*-қимати миёнаи HB дар асоси натиҷаҳои 3 ҷангунӣ муайян карда шуд

3.2. Таъсири иловаи калсий ба гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий

Хосиятҳои гармофизикии хӯлаҳои алюминий, аз қабili гармиғунҷоиш, васеъшавии хаттӣ, зичӣ, гузаронидани гармӣ ва ҳарорат аз муҳимтарин нишондиҳандаҳои физикӣ ба ба ҳисоб мераванд. Маҳз ҳамин хусусиятҳо муайян мекунанд, ки мавод дар шароити гуногуни таъсири беруна чӣ гуна рафтор менамояд. Дар сарчашмаҳои илмӣ маълумоти муфассал оид ба хӯлаҳои таҳқиқшаванда мавҷуд аст, аммо ин маълумот дар шакли пароканда ва нопурра пешниҳод гардида, аксаран бо ҳам мухолифат дорад. Хулоса, оид ба алоқамандии бузургҳои гармодинамикии хӯлаҳои омӯхташаванда бо гармиғунҷоиши хос, зичӣ ва коэффитсиенти ҳароратгузаронӣ маълумоти банизом дароварда шуда то ҳол мавҷуд нест [131, с. 9-15].

«Аз нуқтаи назари амалӣ, маълумот дар бораи хосиятҳои гармофизикии металлҳо ва хӯлаҳо барои техникае, ки дар ҳарорати баланд фаъолият мекунад, бисёр муҳим аст» [131, с. 5-8]. Бе чунин маълумот тарҳрезӣ ва сохтани дастгоҳҳо ва конструксияҳои боэътимод дар соҳаҳои чун авиатсия, техникаи кайҳонӣ, технологияҳои лазерӣ ва энергетикаи атомӣ амалан ғайриимкон мегардад. Ҳамчунин, ин донишҳо барои пешгӯии рафтори мавод дар шароити ғайриодӣ ва шадид аҳамияти калон доранд.

Аз ҳамин сабаб, анҷом додани таҳқиқот дар самти ҳароратҳои баланд барои эҷоди маводди нави композитӣ дар асоси алюминий, ки дорои хосиятҳои беҳтар ё тамоман нав мебошанд, зарур шуморида мешавад. Дар маҷмӯъ, омӯзиши хосиятҳои гармофизикӣ ва гармодинамикии хӯлаҳои алюминий вобаста ба ҳарорат на танҳо масъалаи муҳими илмӣ аст, балки дорои аҳамияти калони амалӣ низ мебошад.

Гармиғунҷоиш яке аз хосиятҳои физикии мавод ба ҳисоб меравад. Дар ин замина, натиҷаҳои таҳқиқоти Ғаниев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н., Хоҷаназаров Х.М. «...вобастагии гармиғунҷоиши хос аз ҳарорат ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий дар речай «хунукшавӣ» дар

худуди ҳароратҳои 300-800 К ҷавҳаронида шудааст, пешниҳод карда шудаанд» [69, с. 35-42].

Барои муқаррар кардани суръати хунукшавӣ қатъатҳои хунукшавӣ барои намунаҳои мавриди омӯзиш сохта мешаванд. Қатъатаи хунукшавӣ вобастагии ҳарорати намунаро аз вақти хунукшавӣ дар фазои ором (беҳаракат) ифода мекунад. Қатъатаҳое, ки ба тариқи таҷрибавӣ барои намунаҳои аз ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, бо калсий ҷавҳаронидашуда, ба даст оварда шудаанд, дар расми 3.4 пешниҳод гардидаанд. Методикаи ҷенкунӣ аз диссертатсияи Ҳочаназаров Х. М. Орият гирифта шудааст: «Ҳангоми ҷенкунӣ фосилаи сабти ҳарорат 10 сония буда, қадамҳои ҷенкунии ҳарорат 0,1 К-ро ташкил медиҳад. Дар худуди ҳароратҳои 298,15 К то 673 К ҳатоии нисбӣ ба $\pm 1\%$ ва дар ҳарорати аз 673 К баландтар ба $\pm 2,5\%$ баробар буд. Ҳатоии ҷенкунии гармигунҷоиш бо ин методика аз 4% зиёд нест. Дар озмоиши мо ин ҳатогӣ аз 1% зиёд набуд. Коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ твассути барномаи MS Excel ва сохтани графикҳо бо ёрии Sigma Plot 10.0 анҷом дода шуд. Коэффитсиенти коррелятсия на камтар 0,999-ро ташкил дод.

Қатъатаҳои хунукшавии намунаҳо аз ҳӯлаҳои ҳосилшуда (расми 3.4) бо муодилаи намуди зерин тавсиф карда мешавад:

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (3.2)$$

ки дар он a , b , p , k - доимиҳо барои намуна, τ - вақти хунукшавӣ мебошад» [158].

Барои муайян кардани суръати хунукшавии намунаҳои ҳӯла, ифодаи (3.2) нисбат ба вақт (τ) дифференсиал карда шуд. Дар натиҷа муодилаи зерин ба даст омад:

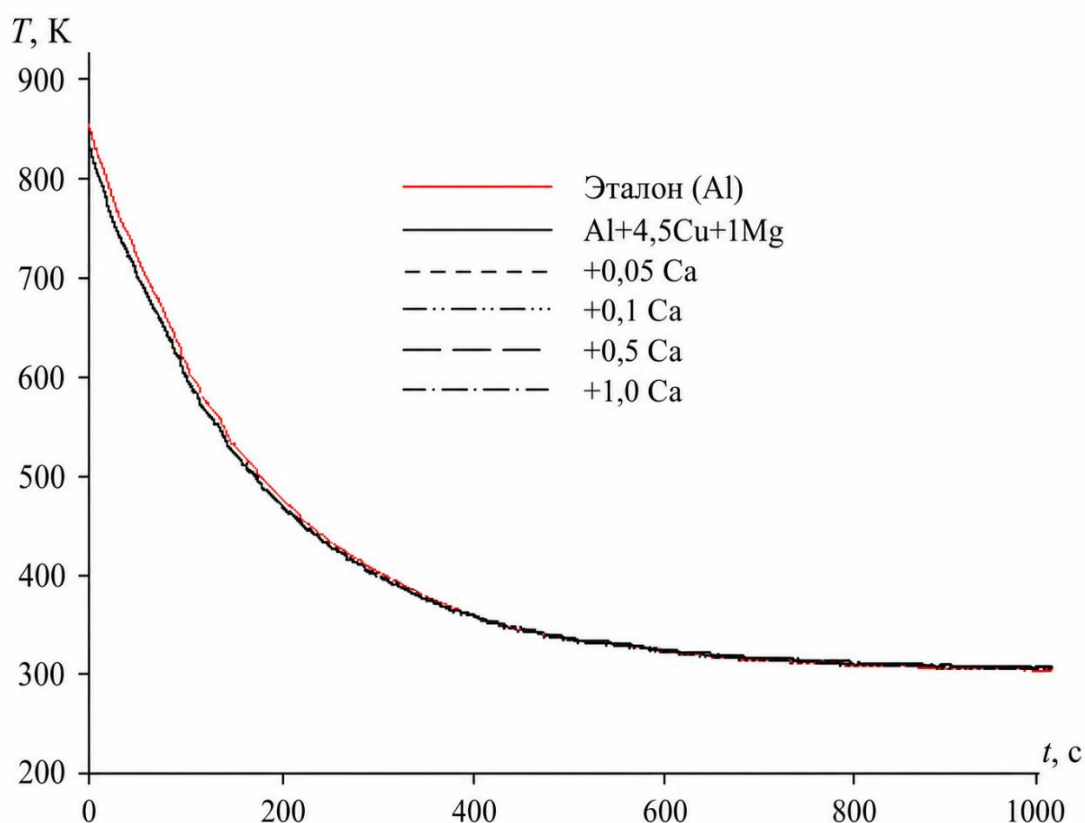
$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (3.3)$$

Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk муодилаи (3.3) барои намунаҳои мавриди таҳқиқ дар ҷадвали 3.2 пешниҳод шудаанд. Дар расми

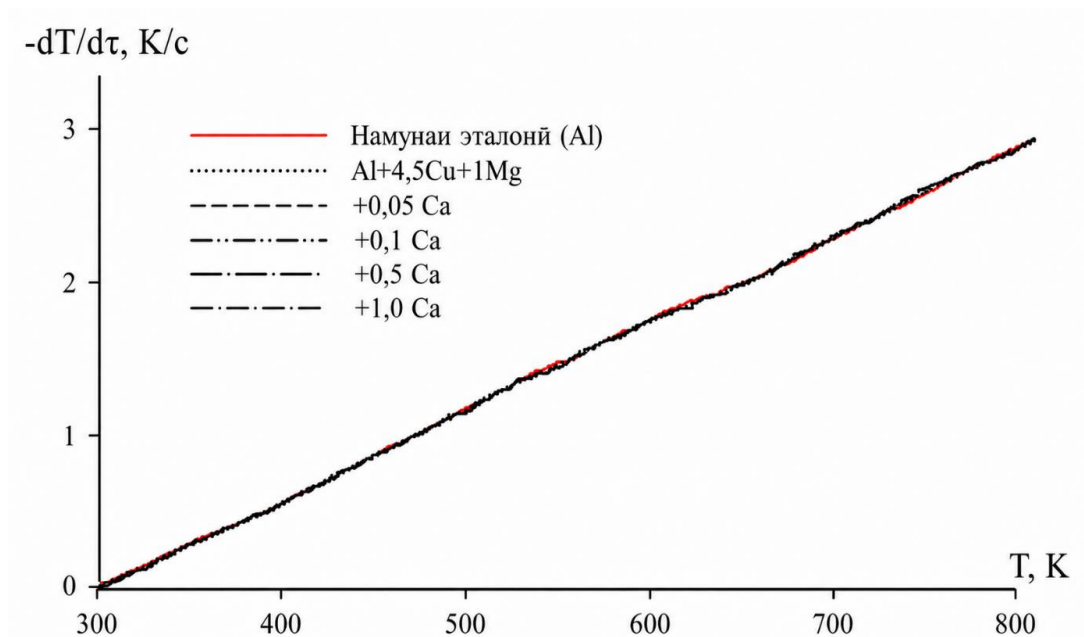
3.5 вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий нишон дода шудааст.

Ҷадвали 3.2. – Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk муодилаи (3.3) барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, $с^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $с^{-1}$	$ab \cdot 10^{-6}$, $Кс^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}$, $Кс^{-1}$
0,0	517.43	6.13	312.89	4.48	3.17	1.40
0,05	517.43	6.13	314.19	4.46	3.17	1.40
0,1	517,43	6.13	315,39	4.44	3.17	1.40
0,5	517,43	6.13	315,49	4.44	3.17	1.40
1,0	517,43	6.13	316,29	4.43	3.17	1.40
Эталон	540.10	6.12	315.19	5.61	3.31	1.77



Расми 3.4. – Термограммаҳои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи А5N)



Расми 3.5. – Графики вобастагии суръати хунукшавӣ аз ҳарорат барои намунаҳо аз ҳӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи A5N)

Бо тақия ба муодилаи (2.8) ва арзишҳои таҷрибавии суръати хунукшавии намунаҳо, гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаҳои алюминийи AlCu4,5Mg1 бо иловаи калсий муайян карда шуд. Дар асоси натиҷаҳои бадастомада, вобастагии умумии гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо ва намунаи эталонӣ – алюминийи таълими A5N аз ҳарорат ифода гардид:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (3.4)$$

Дар ҷараёни таҳқиқот қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , c ва d барои ҳӯлаи дюралюминий AlCu4,5Mg1 бо иловаи калсий муайян карда шуданд. Барои равшанӣ, ин натиҷаҳо дар ҷадвали 3.3 оварда шудаанд.

Қиматҳои коэффитсиентҳои дар муодилаи (3.4) барои ҳӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий, ки бо калсий ҷавҳаронида шудааст, дар ҷадвали 3.3 пешниҳод мегардад.

Ҷадвали 3.3. – Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , c , d дар муодилаи (3.4) барои ҳӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи A5N)

Миқдори калсий дар ҳӯла, мас. %	a , $Ч/(\kappa\epsilon\cdot K)$	b , $Ч/(\kappa\epsilon\cdot K^2)$	$c\cdot 10^{-3}$, $Ч/(\kappa\epsilon\cdot K^3)$	$d\cdot 10^{-5}$, $Ч/(\kappa\epsilon\cdot K^4)$	Коэффитсиенти коррелятсия (R^2)
0,0	676,60	9,71	-1,22	8,69	0,999

Идомаи ҷадвали 3.3					
0,05	676,50	9,71	-1,22	8,68	0,999
0,1	676,45	9,71	-1,22	8,65	0,999
0,5	676,03	9,69	-1,22	8,65	0,999
1,0	674,75	9,69	-1,22	8,65	0,999
Эталон	690,35	10,1	-1,27	9,13	1,00

Аз ҳарорат вобаста будани гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий бо формулаҳои (2.8) ва (3.4) баъди 100 К ҳисоб карда шуд. Натиҷаи ҳисобҳо дар расми 3.6 ва ҷадвали 3.4 оварда шудаанд. Таҳлили натиҷаҳо нишон медиҳад, ки бо зиёд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаҳо низ меафзояд, аммо бо афзоиши миқдори калсий коҳиш меёбад.

Ҷадвали 3.4. – Вобастагии гармиғунҷоиши хос ($C_p/(кг \cdot K)$) аз ҳарорат барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (Al, тамғаи А5N)

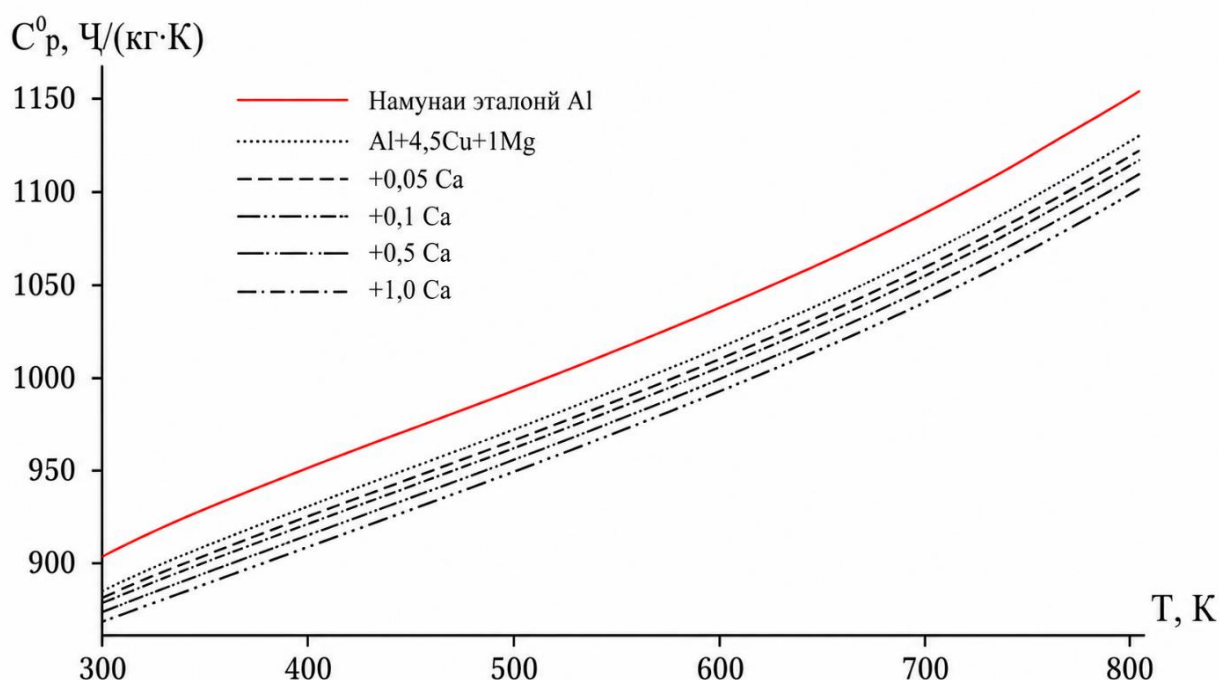
Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	T, K					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,56	925,42	965,73	1007,70	1056,57	1117,53
0,05	881,44	925,25	965,50	1007,39	1056,12	1116,92
0,1	881,31	925,01	965,08	1006,69	1055,05	1115,33
0,5	880,29	923,79	963,65	1005,07	1053,22	1113,31
1,0	879,00	922,51	962,37	1003,79	1051,94	1112,03
Эталон	903,70	949,58	991,97	1036,35	1088,20	1153,00

Бо таъя ба қиматҳои ҳисобшудаи гармиғунҷоиш ва маълумоти таҷрибавии суръати хунукшавии намунаҳо, коэффитсиенти гармидихӣ $\alpha(T)$ барои хӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи калсий муайян карда шуд. Ҳисобҳо аз рӯи муодилаи зерин анҷом дода шуданд:

$$\alpha = \frac{C_p^0 \cdot m \cdot \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}, \quad (3.5)$$

Дар ин муодила T – ҳарорати намуна, T_0 – ҳарорати муҳити атроф, S – масоҳати сатҳи намуна ва m – массаи намуна мебошад.

Натиҷаҳои ҳисобшудаи коэффитсиенти гармидиҳии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий вобаста аз ҳарорат дар расми 3.6 оварда шудаанд. Таҳлил нишон медиҳад, ки иловаи калсий коэффитсиенти гармидиҳии ҳӯлаи аслии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминийро кам менамояд, аммо бо зиёдшавии ҳарорат қимати он меафзояд [69, с. 35-42].



Расми 3.5. – Вобастагии гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат

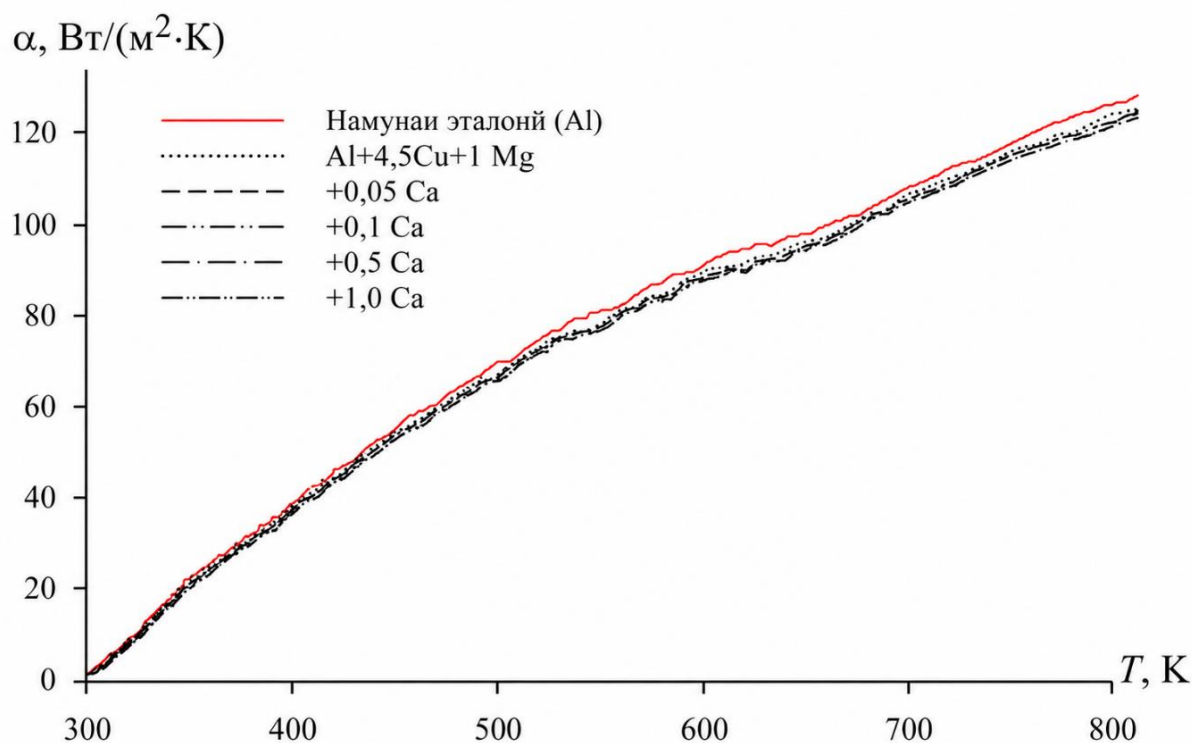
Барои муайян кардани он, ки чӣ гуна энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс вобаста ба ҳарорат тағйир меёбанд (мувофиқи ифодаҳои (3.6)–(3.8)), барои ҳӯлаи алюминии навъи дюралюмин $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи калсий, интегралҳои гармиғунҷоиши хос бо истифода аз муодилаи (2.12) ҳисоб карда шуданд.

$$H^0(T) - H^0(T_0) = \alpha(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{2}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{2}(T^4 - T_0^4); \quad (3.6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{b}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (3.7)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (3.8)$$

где $T_0 = 298,15$ К.



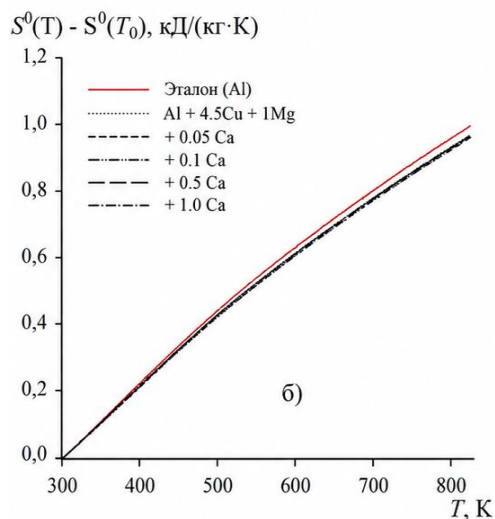
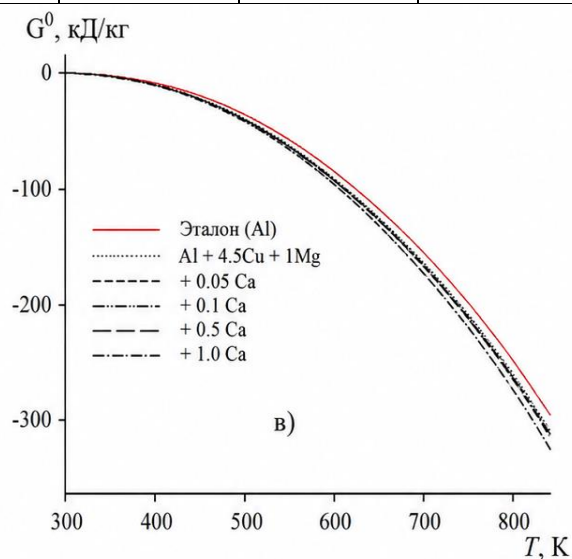
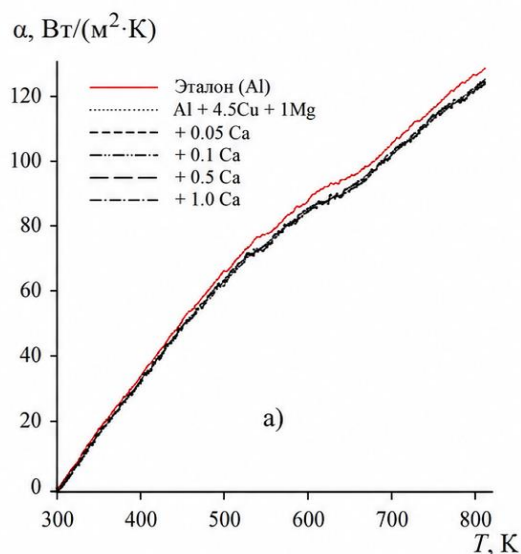
Расми 3.6. – Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (Al тамғаи A5N) [120]

Тавре ки аз расми 3.7 ва ҷадвали 3.5 дида мешавад, дар онҳо натиҷаҳои ҳисобҳои тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ ҳангоми илова намудани калсий инъикос ёфтаанд. Маълумоти бадастомада вобастагии нишондиҳандаҳои термодинамикиро аз ҳарорат ва миқдори калсий нишон медиҳанд.

Ҷадвали 3.5. – Вобастагии ҳароратии тағйироти функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталони (Al тамғаи A5N)

Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо					
	T, K					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1,630	92,0308	186,596	285,232	388,367	496,950
0.05	1,629	92,0161	186,562	285,171	388,268	496,799
0.1	1,629	91,9980	186,511	285,066	388,075	496,474
0.5	1,627	91,8836	186,264	284,666	387,503	495,709
1.0	1,625	91,7531	186,006	284,279	386,988	495,066
Эталон	1,670	94,386	191,471	292,848	398,991	510,921
	$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кҶ/(кг·K)}$ барои хӯлаҳо					
	0.0	0,0054	0,2652	0,4760	0,6557	0,8146
	0.05	0,0054	0,2651	0,4759	0,6556	0,8144
	0.1	0,0054	0,2651	0,4758	0,6554	0,8141

Идомаи ҷадвали 3.5						
0.5	0,0054	0,2647	0,4752	0,6545	0,8129	0,9573
1.0	0,0054	0,2644	0,4745	0,6536	0,8118	0,9560
Эталон	0,0055	0,2719	0,4884	0,6731	0,8366	0,9860
$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{кД/кг}$ барои хӯлаҳо						
0.0	-0,0050	-14,0553	-51,4364	-108,238	-181,902	-270,708
0.05	-0,0050	-14,0531	-51,4279	-108,219	-181,867	-270,650
0.1	-0,0050	-14,0507	-51,4169	-108,191	-181,81	-270,549
0.5	-0,0050	-14,0336	-51,3520	-108,050	-181,566	-270,175
1.0	-0,0050	-14,0135	-51,2794	-107,899	-181,315	-269,806
Эталон	-0,0051	-14,4125	-52,759	-111,054	-186,69	-277,922



Расми 3.7. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббси (в) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталони (Al тамғаи А5N)

Таҳлилҳои гузаронидашуда нишон медиҳанд, ки ҳангоми илова кардани калсий ба хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ (дар ҳудуди 0,05–1,0 мас.%), арзишҳои гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропия нисбат ба хӯлаи ибтидоӣ кам мешаванд. Ҳамзамон, арзиши энергияи Гиббс баръакс тамоюли афзоиш дорад.

Таҳлил нишон дод, ки барои ин хӯла бо иловаи калсий тағйирёбии гармиғунҷоиш ва дигар параметрҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) мумкин аст бо функсияҳои полиномӣ хуб тасвир карда шаванд. Ин полиномҳо бо коэффитсиенти баланди коррелятсия ($R^2_{\text{кор.}} = 0.999$) тавсифи шуда, тағйирёбии онҳоро бо дақиқии хуб инъикос мекунанд.

3.3. Гармиғунҷоиш ва функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий [67]

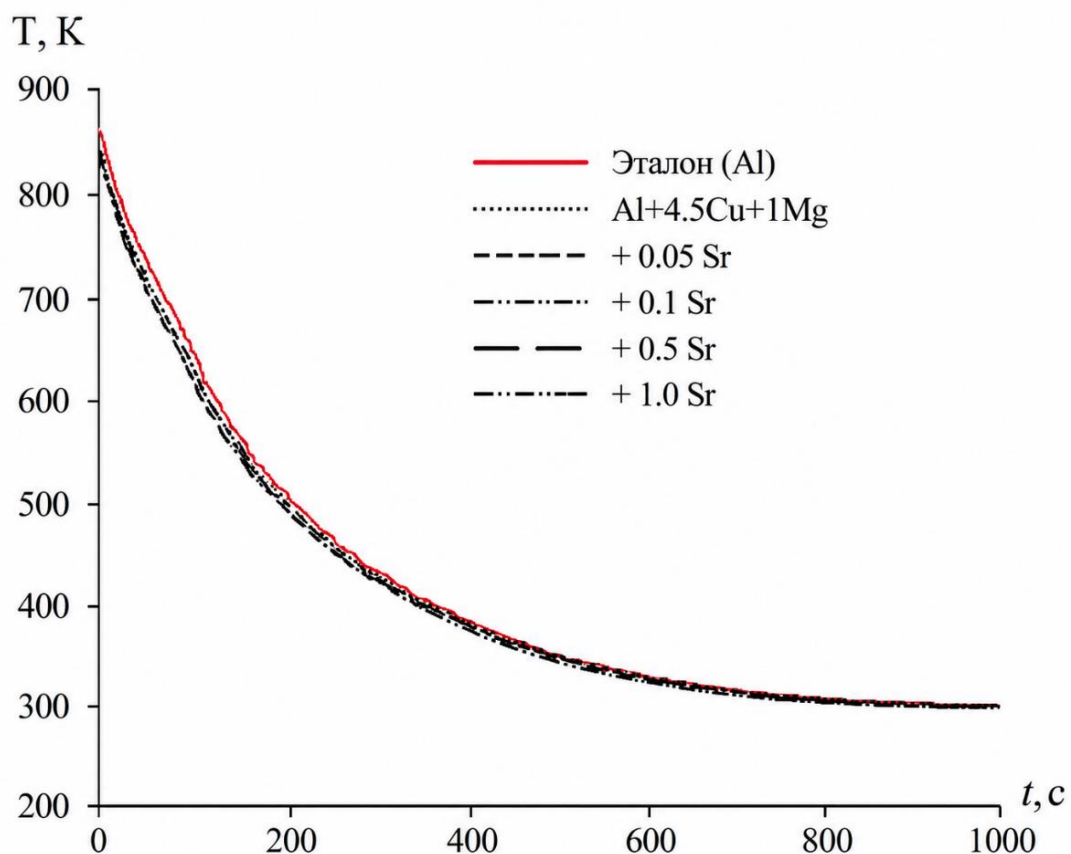
Дар ин қисмати диссертатсия натиҷаҳои озмоишии муқаррар намудани гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва ҳисобкунии тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии ин хӯла аз ҳарорат оварда шудаанд [67].

Қаҷхатаҳои хунукшавии намунаҳо аз хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий, ки бо роҳи таҷрибавӣ ҳосил гардидаанд, дар расми 3.8 оварда мешаванд. Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab ва pk , ки дар муодилаи (3.3) истифода мешаванд, барои намунаҳои таҳқиқшаванда муайян гардида, дар ҷадвали 3.6 оварда шудаанд.

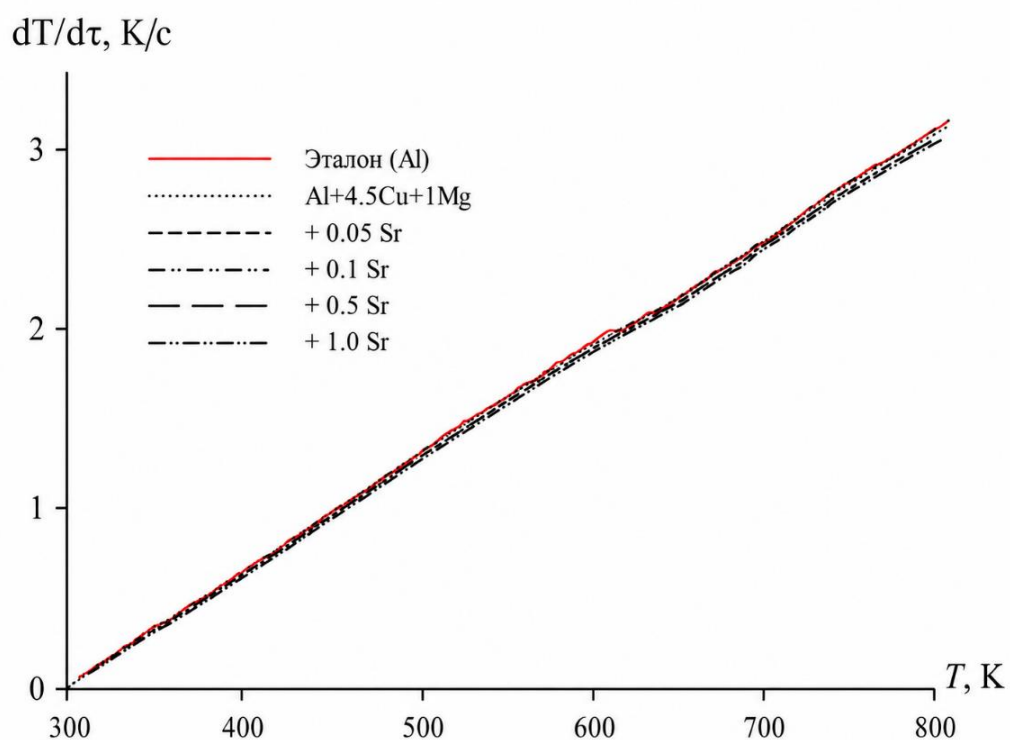
«Қаҷхатаҳои вобастагии ҳароратии суръати хунукшавӣ барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий дар расми 3.9 пешниҳод шудаанд» [67, с. 675-678].

Ҷадвали 3.6. – Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk -и муодилаи (3.3) барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, таъғи A5N)

Микдори стронсий дар хӯла, мас. %	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	ab , K^2	$pk \cdot 10^{-3}$, K^2
0,0	517.43	0,61	312.89	0,44	3,17	1,41
0,05	517,43	0,61	312,19	0,44	3,17	1,40
0,1	517,43	0,61	316,79	0,44	3,17	1,40
0,5	517,43	0,61	316,19	0,44	3,17	1,40
1,0	517,43	0,61	316,99	0,44	3,17	1,40
Эталон	540.10	0,61	315.19	0,56	3,31	1,77



Расми 3.8. – Термограммаҳои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al тамғаи A5N)



Расми 3.9. – Графики вобастагии суръати хунукшавӣ аз ҳарорат барои намунаҳои аз хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al тамғаи A5N)

Дар марҳалаи навбатӣ, бо таъя ба қиматҳои ҳисобшудаи суръати хунукшавии намунаҳои хӯла, ки тибқи муодилаи (2.8) муайян карда шуданд, гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи навъи дюралюмин AlCu4,5Mg1 бо иловаи стронсий ҳисоб карда шуд. Қиматҳои коэффитсиентҳои муодилаи (3.4), ки барои ин хӯла бо стронсий муайян шудаанд, дар ҷадвали 3.7 оварда шудаанд [67].

Ҷадвали 3.7. – Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , c , d -и муодилаи (3.4) барои хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, тамғаи А5N)

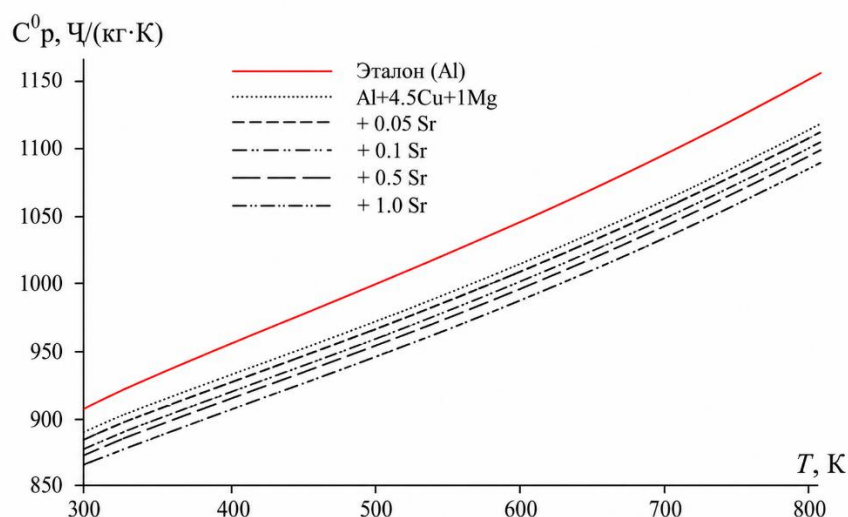
Миқдори стронсий дар хӯла, мас. %	a , °C/(кг·К)	b , °C/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-3}$, °C/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-5}$, °C/(кг·К ⁴)	Коэффитсиенти коррелятсия (R^2)
0,0	676,60	0,97	-1,22	0,86	0.999
0,05	676,30	0,97	-1,22	0,86	0.999
0,1	676,00	0,97	-1,22	0,86	0.999
0,5	673,61	0,97	-1,22	0,86	0.999
1,0	670,62	0,97	-1,22	0,86	0.999
Эталон	690,34	1.01	-1,27	0.09	1,0

Натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат барои хӯлаи алюминийи дюралюминий AlCu4,5Mg1 бо иловаи стронсий дар асоси формулаҳои (2.8) ва (3.4) муайян карда шуданд. Қиматҳои бадастомада бо фосилаи ҳар 100 К сабт гардида, дар ҷадвали 3.8 ва расми 3.10 оварда шудаанд.

Чуноне ки мушоҳида мегардад, гармиғунҷоиши хӯлаи ибтидоӣ бо афзоиши ҳарорат зиёд мешавад, аммо миқдори стронсий коҳиш меёбад [67, с. 675-678].

Ҷадвали 3.8. – Вобастагии гармиғунҷоиши хос аз ҳарорат (°C/(кг·К)) барои хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, тамғаи А5N)

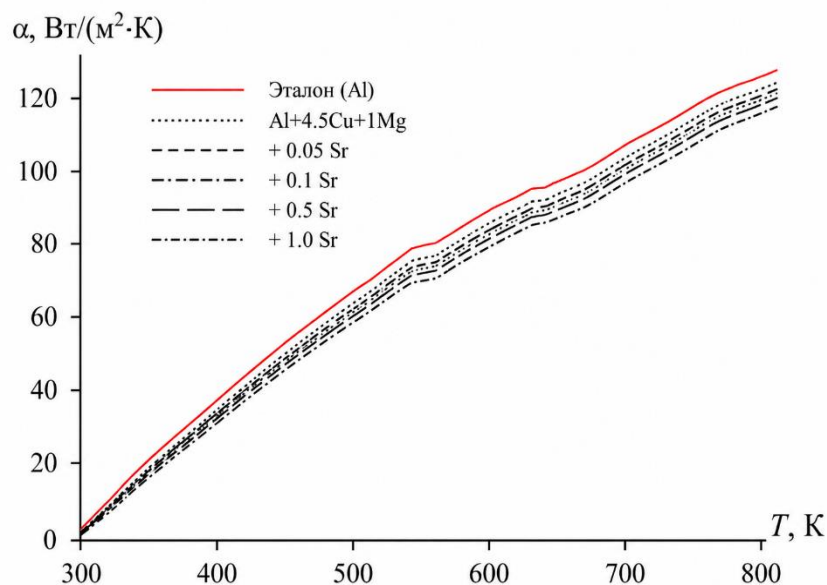
Миқдори стронсий дар хӯла, мас. %	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,56	925,42	965,73	1007,70	1056,57	1117,53
0,05	881,26	925,12	965,43	1007,41	1056,27	1117,23
0,1	880,97	924,82	965,13	1007,11	1055,97	1116,93
0,5	878,57	922,43	962,74	1004,72	1053,58	1114,54
1,0	875,58	919,44	959,75	1001,73	1050,59	1111,55
Эталон	903,70	949,58	991,97	1036,35	1088,20	1153,00



Расми 3.10. – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, тамғаи A5N)

Бо така ба қиматҳои ҳисобшудаи гармиғунҷоиш ва маълумоти таҷрибавии суръати хунукшавии намунаҳо, коэффитсиенти гармидиҳӣ $\alpha(T)$ барои ҳӯлаи алюминийи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁ бо иловаи стронсий муайян карда шуд.

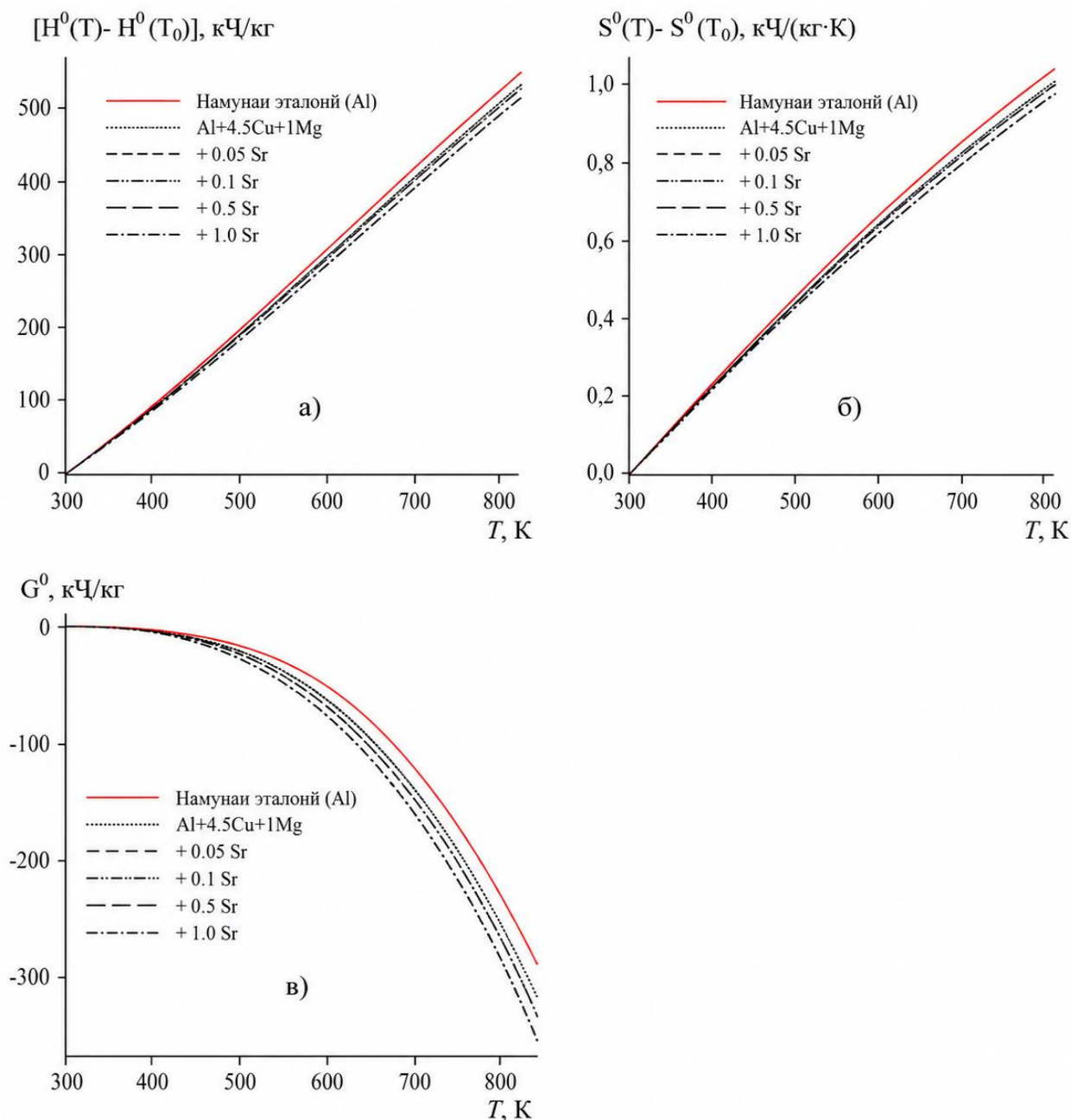
Натиҷаи ҳисобҳои коэффитсиенти гармидиҳии ҳӯлаи мазкур вобаста ба ҳарорат дар расми 3.11 нишон дода шудаанд. Натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки ҳам иловаи стронсий ва ҳам баланд шудани ҳарорат ба зиёд гардидани гармиғунҷоиш ва коэффитсиенти гармидиҳии ҳӯлаи ибтидоии AlCu_{4,5}Mg₁ (навъи дюралюминий) оварда мерасонанд.



Расми 3.11. – Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳии ҳӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al тамғаи A5N)

Дар ҷараёни ҳисобҳо вобастагии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс аз ҳарорат барои ҳўлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи стронсий муайян карда шуд. Барои ин формулаҳои (3.6)–(3.8) истифода гардиданд. Дар ин раванд интегралҳои гармиғунҷоиши хос, ки мувофиқи муодилаи (3.4) ифода ёфтаанд, истифода гардиданд.

Натиҷаҳои ҳисобкунии функсияҳои термодинамикии ҳўлаи мазкур дар ҷадвали 3.9 ва расми 3.12 оварда шудаанд [67].



Расми 3.12. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббс (в)-и ҳўлаи алюминии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, тамғи A5N)

Ҷадвали 3.9. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий ва эталон (Al, тамғаи A5N)

Миқдори стронсий дар хӯла, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо					
	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0,0	1,630	92,030	186,596	285,232	388,367	496,950
0.05	1,629	92,000	186,535	285,142	388,247	496,800
0.1	1,628	91,969	186,475	285,052	388,127	496,650
0.5	1,624	91,726	185,992	284,330	387,166	495,449
1.0	1,619	91,421	185,389	283,427	385,964	493,949
Эталон	1,670	94,386	191,471	292,848	398,991	510,921
$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кҶ/(кг} \cdot \text{К)}$ барои хӯлаҳо						
0,0	0,0054	0,2652	0,4760	0,6557	0,8146	0,9595
0.05	0,0054	0,2651	0,4759	0,6555	0,8144	0,9592
0.1	0,0054	0,2650	0,4757	0,6553	0,8141	0,9589
0.5	0,0054	0,2637	0,4734	0,6522	0,8104	0,9546
1.0	0,0054	0,2634	0,4729	0,6516	0,8095	0,9536
Эталон	0,0055	0,2719	0,4884	0,6731	0,8366	0,9860
$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо						
0,0	-0,0050	-14,0553	-51,4364	-108,238	-181,902	-270,708
0.05	-0,0050	-14,0506	-51,4194	-108,203	-181,844	-270,622
0.1	-0,0050	-14,0459	-51,4025	-108,168	-181,785	-270,536
0.5	-0,0013	-13,7733	-50,7499	-107,047	-180,123	-268,269
1.0	-0,0050	-13,9614	-51,0975	-107,534	-180,733	-268,987
Эталон	-0,0051	-14,4125	-52,7590	-111,054	-186,69	-277,922

Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий полиномаҳои ҳосил карда шуданд, ки бо коэффитсиенти коррелятсияшон $R^2_{\text{кор.}} = 0,999$ тағйироти онҳоро тавсиф мекунад.

«Натиҷаҳои таҳқиқи гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий нишон доданд, ки компоненти ҷавҳаркунанда дар фосилаи

концентратсияҳои мавриди таҳқиқ (0,05-1,0 мас.%) онҳоро кам мекунад, дар баробари ин ҳарорат, гармиғунҷоиш, коэффитсиенти гармидихӣ, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи ибтидоӣ баръакс меафзоянд. Инчунин, вобаста ба ҳарорат ва миқдори стронсий қимати энергияи Гиббсӣ ҳӯлаҳо зиёд мешавад» [38].

3.4. Гармиғунҷоиш ва функсияҳои гармодинамикии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий

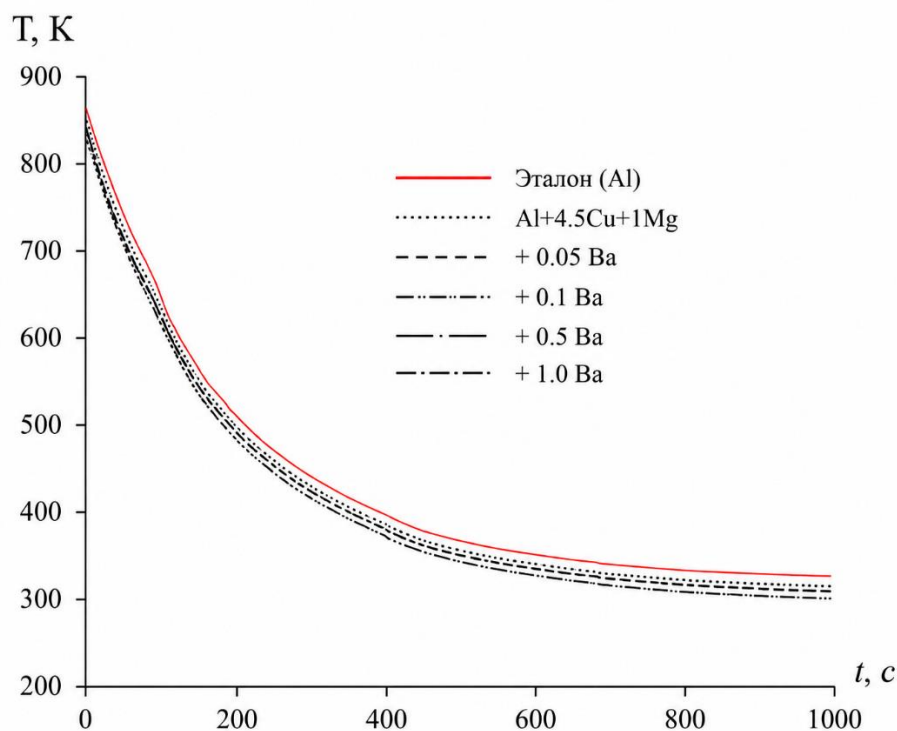
«Хусусиятҳои муҳимми гармофизикии мавод, аз ҷумла гармиғунҷоиш ва гармигузаронӣ, ҳангоми тағйир ёфтани шароити ҳароратӣ (гармкунӣ ё хунуккунӣ) зоҳир мегарданд. Ин параметрҳо мустақиман ба ҳарорат вобаста буда, одатан бо усулҳои таҷрибавӣ ва бо истифода аз дастгоҳҳои махсус чен карда мешаванд» [38].

Таҳлили адабиёти илмӣ нишон дод, ки оид ба хосиятҳои гармофизикии ҳӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи барий маълумоти кофӣ дастрас нест. Аз ҳамин сабаб, дар доираи ин тадқиқот гармиғунҷоиши ин ҳӯла дар фосилаи ҳароратии 300–800 К бори аввал муайян карда шуд. «Натиҷаҳои бадастомада имконият фароҳам оварданд, ки функсияҳои асосии гармодинамикӣ, аз ҷумла энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои ҳӯлаҳои мазкур ҳисоб карда шаванд» [132, с. 109-119].

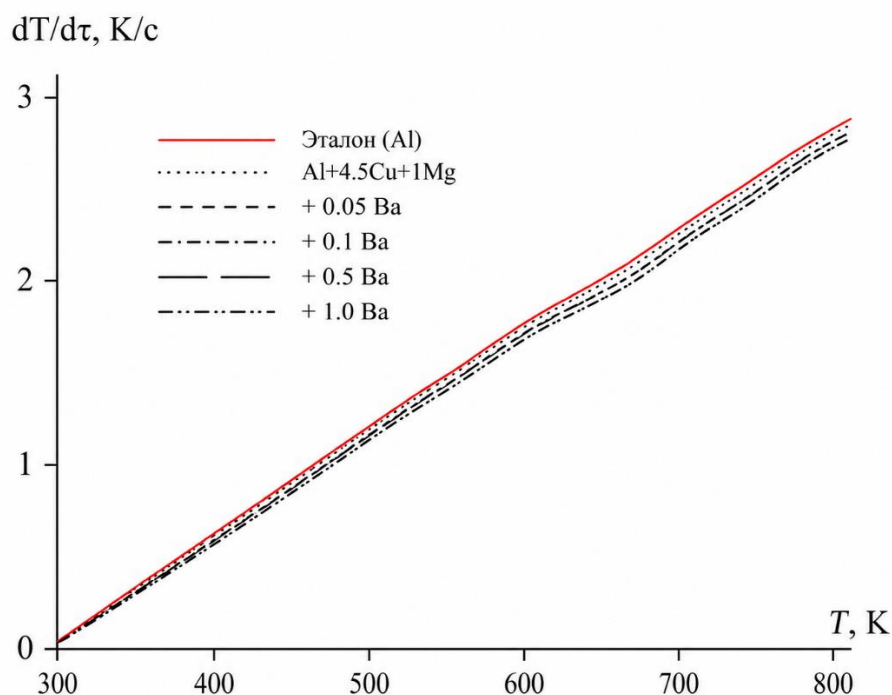
Дар ин бахш натиҷаҳои таҷрибавии муайян намудани гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминийи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи барий баррасӣ карда мешаванд. Ҳамзамон, ҳисобҳои вобаста ба тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаҳои мазкур дар шароити ҳароратҳои гуногун пешниҳод мегарданд.

Аз натиҷаи озмоиш дар расми 3.13 қачхатаҳои хунукшавии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон пешниҳод шудаанд. Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk дар муодилаи (3.3) ба шакли ҷадвал (3.10) пешниҳод карда мешаванд.

Дар расми 3.14 қачхатаҳои вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳои ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, навъи дюралюминий бо барий инъикос ёфтаанд.



Расми 3.13. – Термограммаҳои намунаҳо аз хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон (Al тамғаи A5N)



Расми 3.14. – Графики вобастагии суръати хунукшавӣ аз ҳарорат барои намунаҳои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон (Al тамғаи A5N)

Дар қадами минбаъда, бо истифода аз қиматҳои қаблан ҳисобшудаи суръати хунукшавии намунаҳои хӯла ва дар асоси муодилаи (2.8), гармиғунҷоиши хоси хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи барий муайян карда шуд.

Дар ҳарорати муқаррарӣ (яъне ҳарорати хонагӣ) боло будан, вобастагии гармиғунҷоиши хӯлаҳо аз ҳарорат бо муодилаи эмпирикии (3.4) тавсиф мегардад [38].

Ҷадвали 3.10. – Қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk -и муодилаи (3.3) барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон (Al, тамғаи A5N)

Миқдори барий дар хӯла, мас.%	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, $с^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $с^{-1}$	ab , $Кс^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}$, $Кс^{-1}$
0,0	517.43	0,61	312.89	0,44	3,17	1.40
0,05	517.44	0,61	323.68	0,43	3,17	1.40
0,1	517.44	0,61	324.68	0,43	3,17	1.40
0,5	517.44	0,61	324.78	0,43	3,17	1.40
1,0	517.44	0,61	325.78	0,42	3,17	1.40
Эталон	540.10	0,61	315.19	0,56	3,31	1,77

Қиматҳои коэффитсиентҳое, ки вобастагии гармиғунҷоишро аз ҳарорат дар доираи муодилаи (3.4) тавсиф мекунанд, барои хӯлаи алюминийи дюралюминий бо барий тағйирдодашуда муайян гардида, дар ҷадвали 3.11 ҷой дода шудаанд.

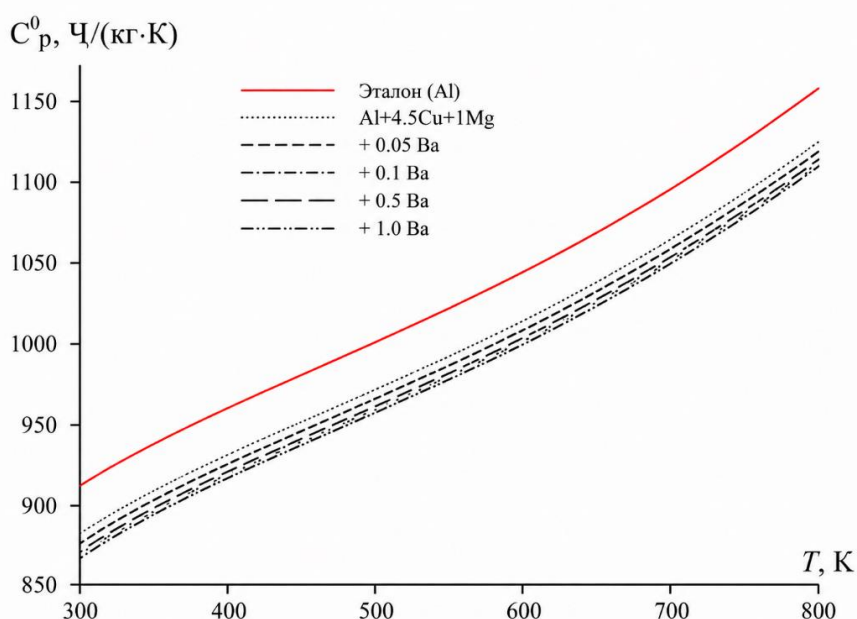
Ҷадвали 3.11. – Қиматҳои коэффисцентҳои a , b , c , d -и муодилаи (3.4) барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон (Al, тамғаи A5N)

Миқдори барий дар хӯла, мас.%	a , $°C/(кг \cdot K)$	b , $°C/(кг \cdot K)$	$c \cdot 10^{-3}$, $°C/(кг \cdot K)$	$d \cdot 10^{-5}$, $°C/(кг \cdot K)$	Коэффитсиенти коррелятсия (R^2)
0,0	676,60	0,97	-1,22	0,087	0.999
0,05	676,20	0,97	-1,23	0,087	0.999
0,1	675,88	0,97	-1,23	0,087	0.999
0,5	677,21	0,96	-1,23	0,088	0.999
1,0	672,16	0,99	-1,27	0,089	0.999
Эталон	690,34	1.01	-1,27	0.091	1,00

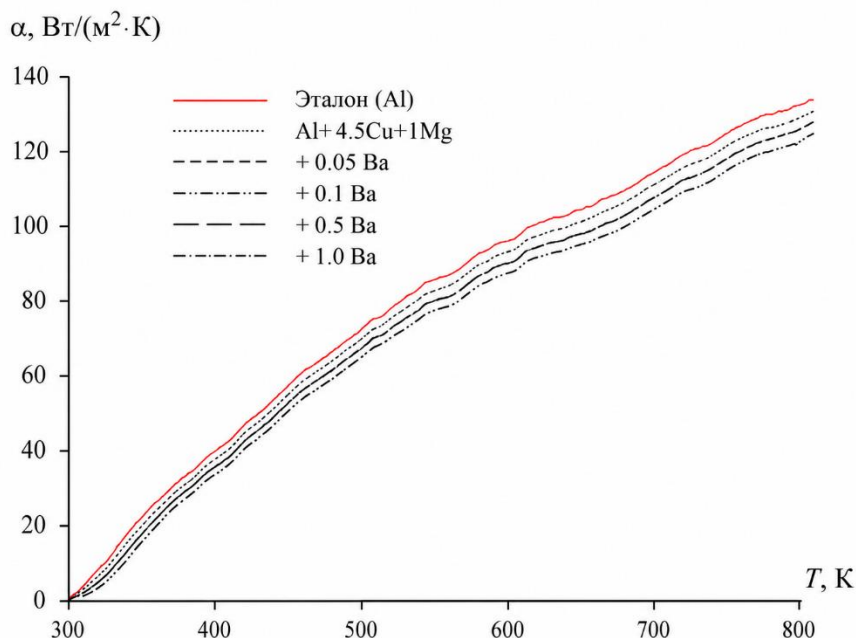
Ҳамзамон, натиҷаҳои ҳисобкунии тағйирёбии гармиғунҷоиш вобаста ба ҳарорат барои хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи барий, ки дар асоси формулаҳои

(2.8) ва (3.4) ва бо қадами 100 К ба даст оварда шудаанд, дар ҷадвали 3.12 ва расми 3.15 пешниҳод мегарданд. Чуноне мушоҳида гардид, бо зиёдшавии ҳарорат гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо меафзояд, аммо мавҷудияти миқдори барий онро коҳиш медиҳад [67].

Микдори барий дар хӯла, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,56	925,42	965,73	1007,70	1056,57	1117,53
0,05	881,21	925,07	965,38	1007,36	1056,22	1117,18
0,1	880,87	924,72	965,03	1007,01	1055,87	1116,83
0,5	878,08	921,93	962,24	1004,22	1053,08	1114,04
1,0	874,59	918,44	958,75	1000,73	1049,59	1110,55
Эталон	903,70	949,58	991,97	1036,35	1088,20	1153,00



Дар расми 3.16 натиҷаҳои ҳисобкунии коэффитсиенти гармидихии хӯлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий вобаста ба ҳарорат оварда шудаанд. Иловаи барий коэффитсиенти гармидихии хӯлаи ибтидоии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминиро кам мекунад, дар ҳоле ки баланд шудани ҳарорат онро зиёд менамояд [93].



Расми 3.16. – Вобастагии ҳарорати коэффитсиенти гармидихии хӯлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий ва эталон (Al тамғаи А5N) [67]

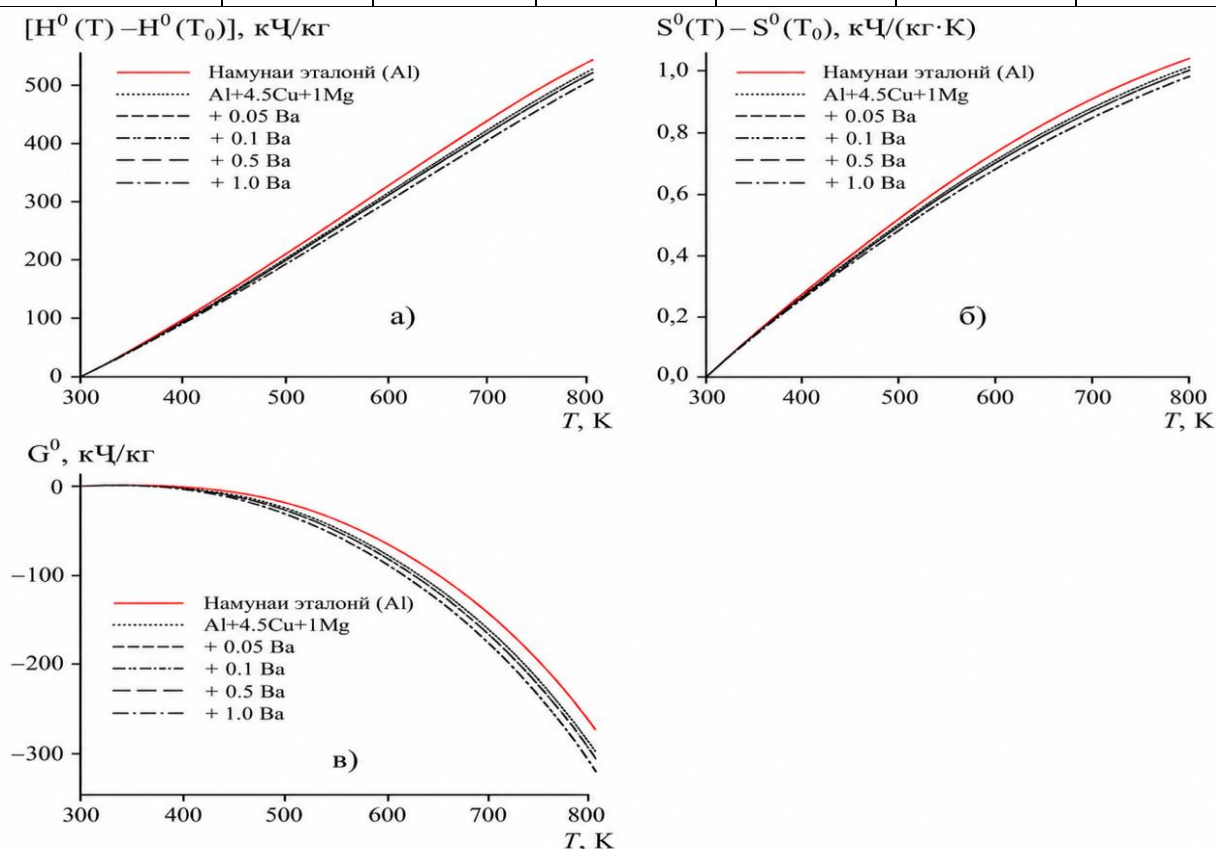
«Барои муайян намудани тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс вобаста аз ҳарорат, дар асоси ифодаҳои (3.6)–(3.8), барои хӯлаи алюминии дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи барий интегралҳои гармиғунҷоии хос» [38], ки бо муодилаи (3.4) тавсиф шудаанд, истифода гардиданд.

Тавре ки аз ҷадвали 3.13 ва расми 3.17 дида мешавад, дар онҳо натиҷаҳои ҳисобҳо оид ба тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи барий оварда шудаанд.

Ҷадвали 3.13. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи барий дар муқоиса бо эталон (Al тамғаи А5N)

Микдори барий дар хӯла, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо					
	T, K					
	300	400	500	600	700	800
0,0	1,630	92,030	186,596	285,232	388,367	496,950

Идомаи ҷадвали 3.13						
0.05	1,629	91,995	186,525	285,127	388,227	496,775
0.1	1,628	91,959	186,455	285,022	388,087	496,600
0.5	1,623	91,675	185,892	284,179	386,966	495,199
1.0	1,622	91,610	185,699	283,755	386,179	493,904
Эталон	1,670	94,386	191,471	292,848	398,991	510,921
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо						
0,0	0,0054	0,2652	0,4760	0,6557	0,8146	0,9595
0.05	0,0054	0,2651	0,4758	0,6555	0,8143	0,9592
0.1	0,0054	0,2650	0,4757	0,6552	0,8140	0,9588
0.5	0,0054	0,2641	0,4742	0,6533	0,8116	0,9561
1.0	0,0054	0,2640	0,4737	0,6524	0,8102	0,9540
Эталон	0,0055	0,2719	0,4884	0,6731	0,8366	0,9860
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо						
0,0	-0,0051	-14,4125	-52,7590	-111,054	-186,69	-277,922
0.05	-0,0050	-14,0553	-51,4364	-108,238	-181,902	-270,708
0.1	-0,0050	-14,0498	-51,4166	-108,197	-181,834	-270,608
0.5	-0,0050	-14,0444	-51,3968	-108,156	-181,766	-270,507
1.0	-0,0050	-14,0006	-51,2387	-107,827	-181,22	-269,705
Эталон	-0,0050	-13,9916	-51,1983	-107,721	-180,998	-269,305



Расми 3.17. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббс (в) барои хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаи барий дар муқоиса бо эталон (Al тамғаи А5N)

«Дар речаи «хунукшавӣ» бо таъя ба қиматҳои маълумшудаи гармиғунҷоиши намунаи эталонӣ аз алюминийи тамғаи А5N, гармиғунҷоиши хос ва инчунин функсияҳои гармодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс)-и ҳӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ муайян карда шуданд. Ҳамзамон, полиномҳое ба даст оварда шуданд, ки тағйирёбии ин параметрҳоро ба таври кофӣ дақиқ тавсиф мекунанд» [38].

Таҳлил нишон дод, ки дар доираи концентратсияҳои таҳқиқшуда (0,05–1,0% масс.) иловаи ҷузъҳои ҷавҳаркунанда боиси кам шудани гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯла мегардад. Дар баробари ин, қимати энергияи Гиббс баръакс афзоиш меёбад [38].

Хулосаи боби сеюм

Таҳқиқоти таҷрибавӣ нишон доданд, ки ҷавҳаронии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ (калсий, стронсий ва барий) ба тағйирёбии қонуниятҳои ҳосиятҳои гармофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии он оварда мерасонад. Муайян гардид, ки бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши хос, энталпия ва энтропияи ҳамаи ҳӯлаҳои таҳқиқшуда тадриҷан зиёд шуда, энергияи озоди Гиббс бошад, мунтазам кам мешавад. Чунин вобастагӣ ба қонунҳои умумии термодинамика мувофиқат намуда, бо афзоиши энергияи дохилии система ва зиёд гардидани ҳаракати гармии атомҳо ҳангоми баланд шудани ҳарорат шарҳ дода мешавад.

Натиҷаҳои таҳқиқот инчунин нишон доданд, ки ворид намудани калсий, стронсий ва барий дар доираи концентратсияҳои 0,05–1,0 мас.% нисбат ба ҳӯлаи ибтидоӣ боиси коҳиш ёфтани гармиғунҷоиши хос ва дигар нишондиҳандаҳои термодинамикӣ мегардад. Ин тағйирот хусусияти қонуниятӣ дошта, дараҷаи онҳо аз табиат ва миқдори элементҳои ҷавҳаронӣ вобаста мебошад.

Муқоисаи таъсири металлҳои ишқорзаминӣ нишон медиҳад, ки ҳангоми гузаштан аз калсий ба стронсий ва сипас ба барий гармиғунҷоиши хос тадриҷан коҳиш меёбад. Таъсири нисбатан бештар доштани барийро метавон

бо хусусиятҳои сохтори электрони он, андозаи калонтари радиуси атомӣ ва таъсири онҳо ба сохтору ҳолати энергетикӣ хӯла шарҳ дод.

Тағйирёбии хосиятҳои гармофизикӣ, пеш аз ҳама, ба дигаргуншавии микросохтор ва таркиби фазавӣ хӯла вобаста мебошад. Чавҳаронӣ бо калсий, стронсий ва барий боиси майдашавии сохтори хӯла, аз нав тақсим шудани ҷузъҳои фазавӣ ва зиёд шудани дараҷаи ғайриякҷинсии сохтор мегардад. Дар натиҷа, раванди ҷамъшавӣ ва интиқоли энергияи гармӣ дар дохили хӯла тағйир ёфта, гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикӣ он то андозае паस्त мешаванд.

Бояд қайд намуд, ки сарфи назар аз тағйироти мушоҳидашуда, иловаҳои ночизи металлҳои ишқорзаминӣ ба хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ тағйироти кулӣ дар хосиятҳои гармофизикӣ ва механикӣ он ба вуҷуд намеоранд. Ин далел аз он шаҳодат медиҳад, ки дар концентратсияҳои таҳқиқшуда сохтори асосии хӯла нигоҳ дошта шуда, тағйирот бештар хусусияти чавҳаронкунанда ва такмилдиҳандаи сохторро доранд.

Илова бар ин, натиҷаҳои бадастомада аҳамияти амалӣ дошта, метавонанд ҳамчун асоси илмӣ-иттилоотӣ ҳангоми таҳия ва такмил додани маълумотномаҳои соҳавӣ, дастурҳои муҳандисӣ, ҳуҷҷатҳои меъёриву техникӣ ва пойгоҳҳои маълумот оид ба хосиятҳои гармофизикӣ ва термодинамикӣ хӯлаҳои алюминий истифода шаванд. Маълумоти ҳосилшуда инчунин барои иҷрои ҳисобҳои муҳандисӣ ва гармотехникӣ, моделсозии равандҳои гармӣ, интиҳоби мавод барои конструксияҳое, ки дар шароити ҳароратҳои гуногун кор мекунанд, арзёбии устувории гармии ҷузъҳои машинсозӣ ва авиатсионӣ, инчунин ҳангоми таҳия ва такмили технологияҳои истеҳсол ва коркарди хӯлаҳои алюминий навъи дюралюмин аҳамияти назарраси амалӣ доранд. Ғайр аз ин, натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд дар қорҳои минбаъдаи илмӣ, ҳангоми муқоисаи маълумоти таҷрибавӣ бо ҳисобҳои назариявӣ ва ташаккули базаҳои маълумот оид ба хосиятҳои физикӣ ва термодинамикӣ маводҳои металлӣ мавриди истифода қарор гиранд.

БОБИ 4. ТАҲҚИҚИ ТАЪСИРИ ИЛОВАҲОИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ БА КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ AlCu_{4,5}Mg₁ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНИЙ, ДАР ҲОЛАТИ САХТӢ

4.1. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий бо калсий, дар ҳолати сахтӣ

Дар расмҳои 4.1–4.6 ва ҷадвалҳои 4.1 ва 4.2 натиҷаҳои таҳқиқи кинетикаи оксидшавии хӯлаи AlCu_{4,5}Mg₁ бо иловаи калсий ба таври муфассал инъикос ёфтаанд.

Аз ҷумла, тавре ки дар ҷадвали 4.1 дида мешавад, дар он қиматҳои ҳисобшудаи нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавӣ барои хӯлаи AlCu_{4,5}Mg₁ бо калсий ҷамъбаст гардидаанд.

Аз рӯйи қачхатаҳои оксидшавӣ бармеояд, ки дар 15-20 дақиқаи аввали оғози раванд афзоиши вазни намунаҳо босуръат ба амал меояд. Баъд аз ин марҳала суръати оксидшавӣ тадриҷан паст шуда, раванд ба ҳолати нисбатан муътадил мегузарад. Ин ҳолат асосан бо пайдоиши қабати муҳофизатии оксидӣ дар сатҳи таъсири реаксия алоқаманд аст (расмҳои 4.1; 4.2).

Мушоҳида мешавад, ки илова намудани калсий ба хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий суръати ҳақиқии оксидшавиро каме зиёд менамояд. Аз ҷумла, «барои хӯлаи аслӣ (ибтидоӣ) суръати ҳақиқии оксидшавӣ дар ҳароратҳои 723 К ва 823 К мутаносибан ба $2,26 \cdot 10^{-4}$ ва $2,73 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹ баробар бошад, барои хӯлаи AlCu_{4,5}Mg₁, ки дорои 1,0 мас.% калсий мебошад» [132, с. 109-119], ин нишондиҳандаҳо дар ҳамин ҳароратҳо мутаносибан ба $2,42 \cdot 10^{-4}$ ва $2,88 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹ мерасанд. Ҳамзамон, энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонии оксидшавӣ барои хӯлаи аслӣ (ибтидоӣ) 118,5 кҶ/мол-ро ташкил медиҳад, дар ҳоле ки барои хӯлаи AlCu_{4,5}Mg₁ бо 1,0 мас.% калсий ин нишондиҳанда ба 107,8 кҶ/мол баробар мебошад.

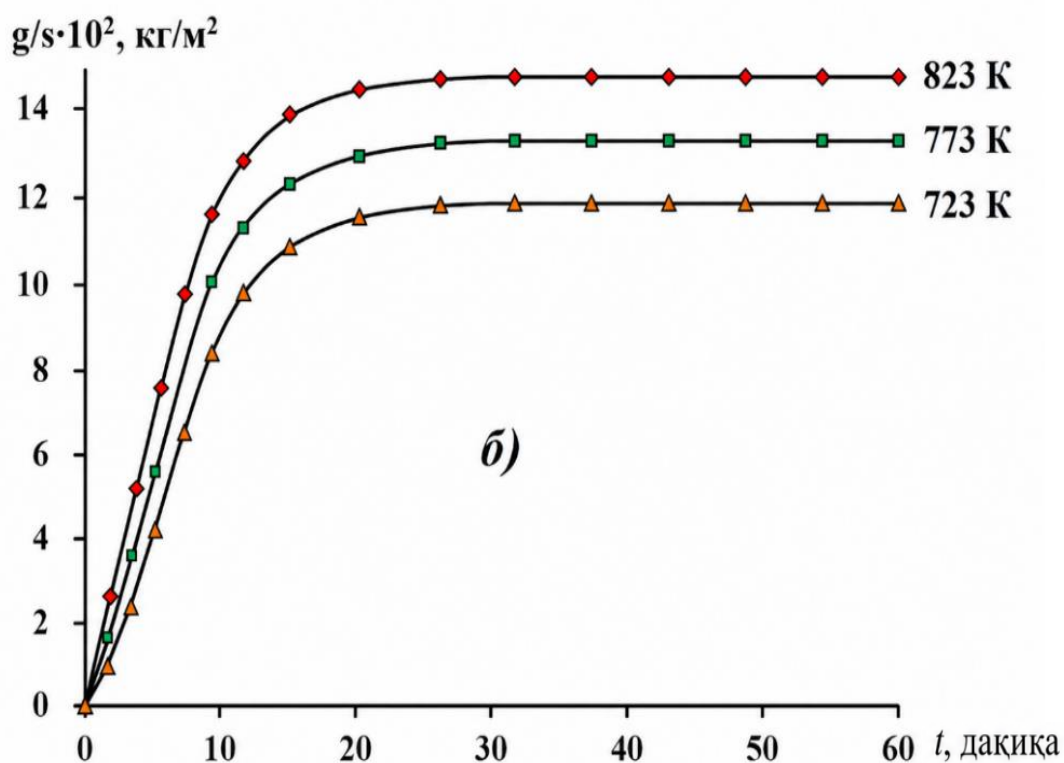
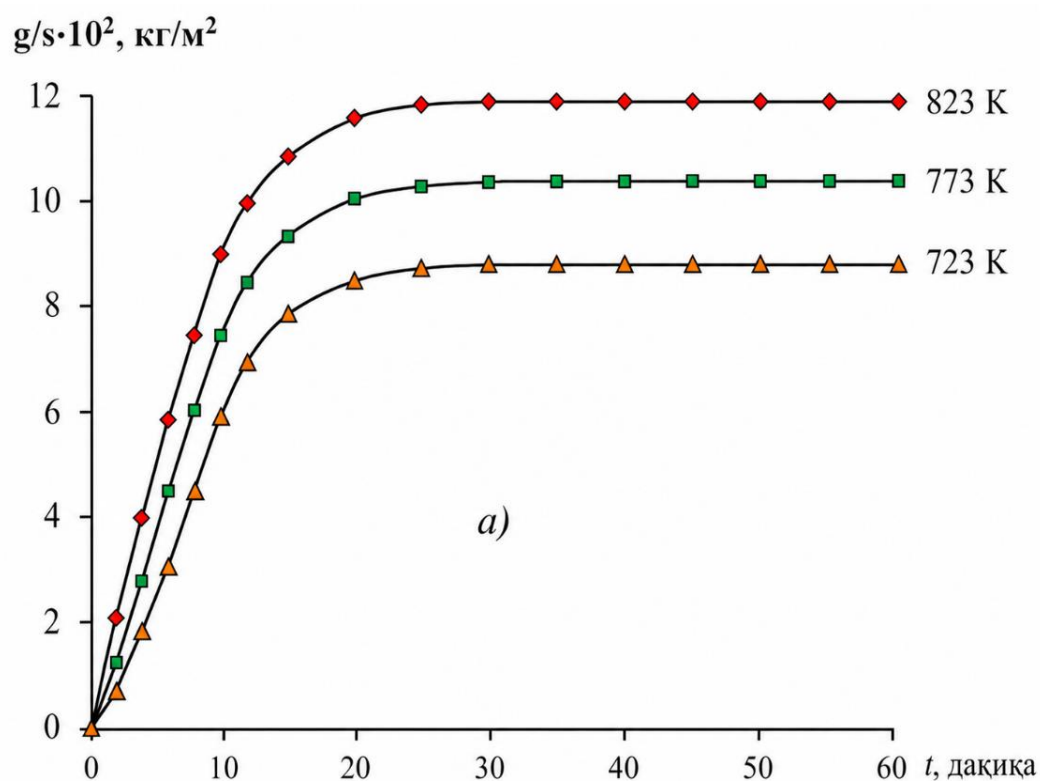
Қачхатаҳои квадрати кинетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁-и навъи дюралюминий, ки бо калсий легиронида шудааст, шакли ростхатта надоранд. Ин ҳолат нишон медиҳад, ки суръати

оксидшавӣ дар тамоми давраи таҷриба доимӣ намоёнад ва вобаста ба давомнокии гармкунӣ тағйир меёбад. Аз ин рӯ, раванди оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшуда пурра ба қонуни парабола мутобикат намекунад (ниг. расмҳои 4.3 ва 4.4).

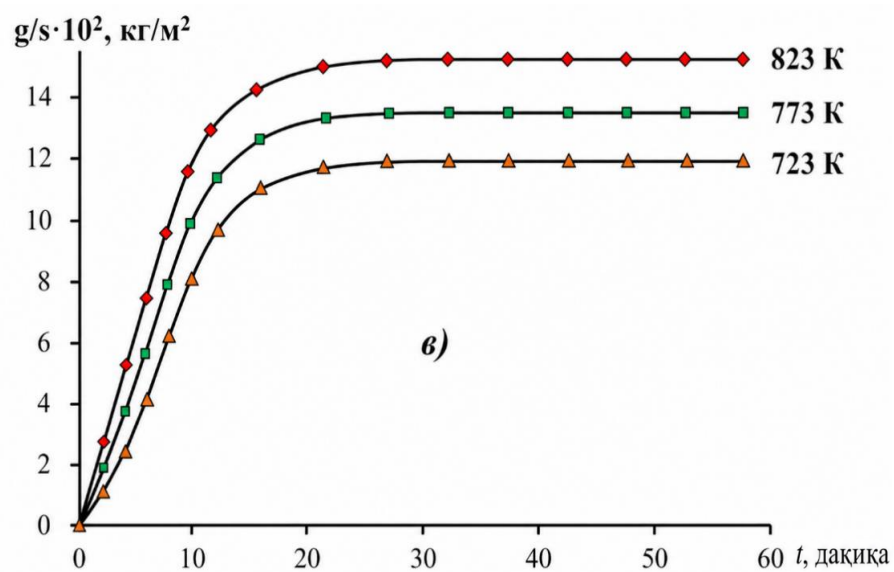
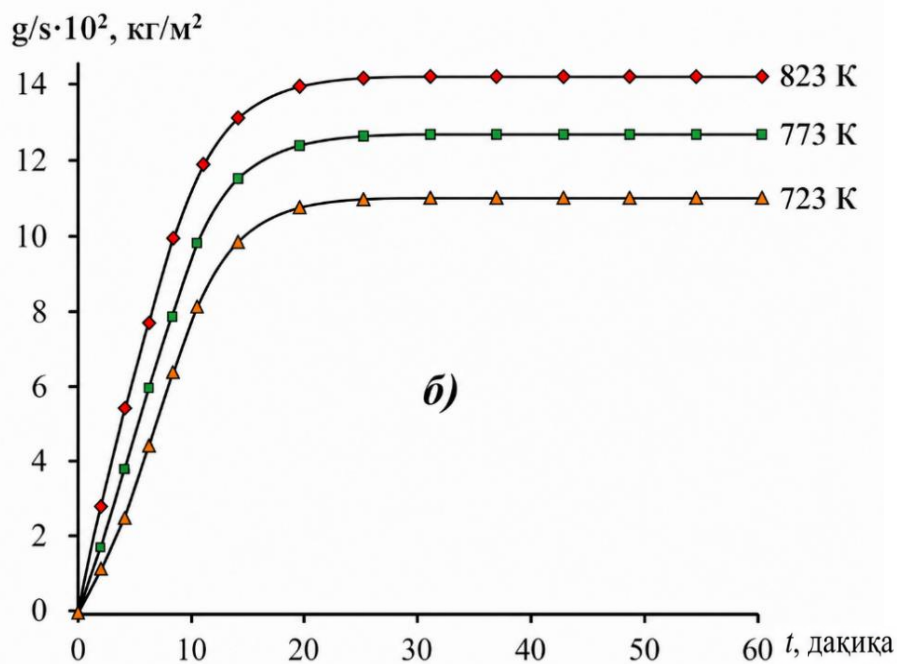
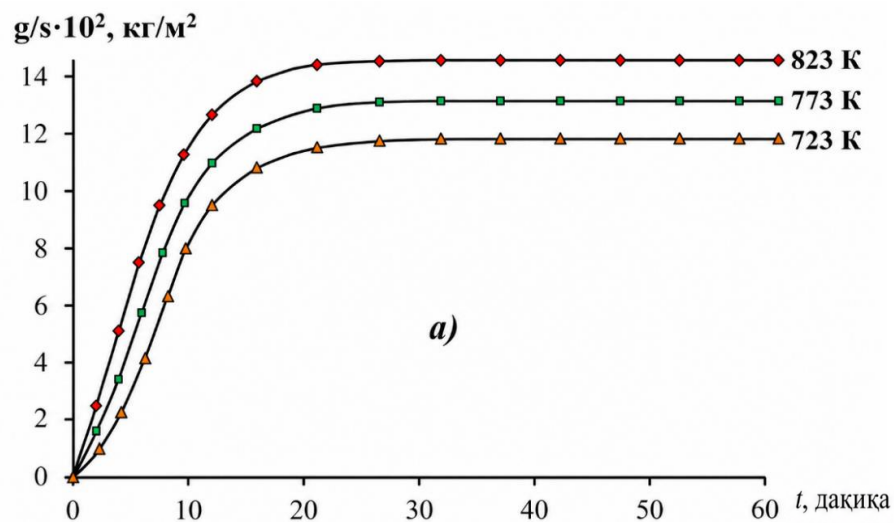
Ҷадвали 4.1. – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар ҳолати сахт.

Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи ҳоси фаъолгардонӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.29	116.0
	773	2.48	
	823	2.76	
0.1	723	2.34	114.1
	773	2.52	
	823	2.80	
0.5	723	2.38	110.9
	773	2.56	
	823	2.84	
1.0	723	2.42	107.8
	773	2.60	
	823	2.88	

Полиномҳои қатъхатаҳои кинетикӣи оксидшавӣ дар ҷадвали 4.2 ҷамъбаст гардидаанд. Барои тавсифи умумии онҳо вобастагии ($y = k \cdot x^n$) истифода шуд, ки дар он коэффисиенти (k) хусусияти суръатнокии равандро ифода намуда, нишондиҳандаи (n) вобаста ба ҳарорат ва таркиби хӯла одатан аз 1 то 4 тағйир меёбад. Тағйирёбии қимати (n) аз он шаҳодат медиҳад, ки раванди оксидшавӣ дар марҳилаҳои гуногун бо як қонунияти ягона идома намеёбад.



Расми 4.1. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминии AlCu4, 5Mg1 нави дюралюминий (а) бо 0,05мас. % калсий (б) дар ҳолати сахтӣ



Расми 4.2. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳўлаи алюминии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий, мас. %: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

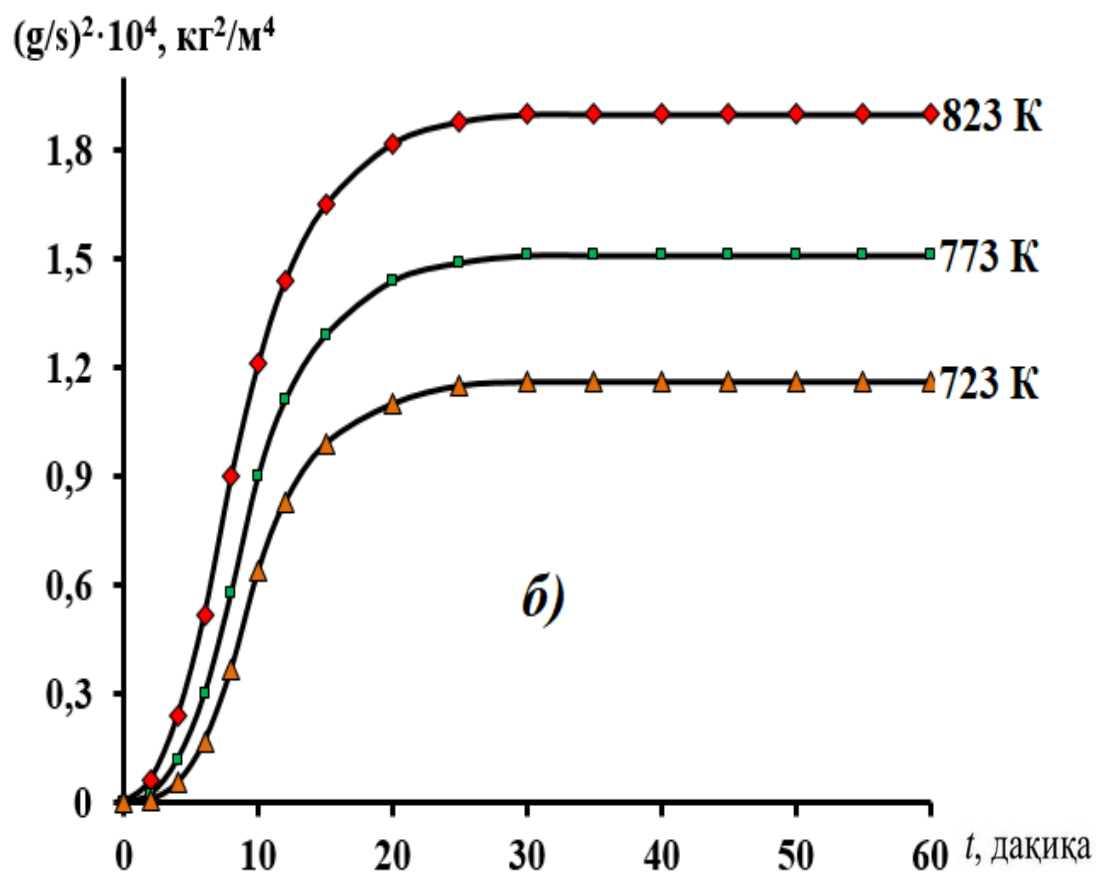
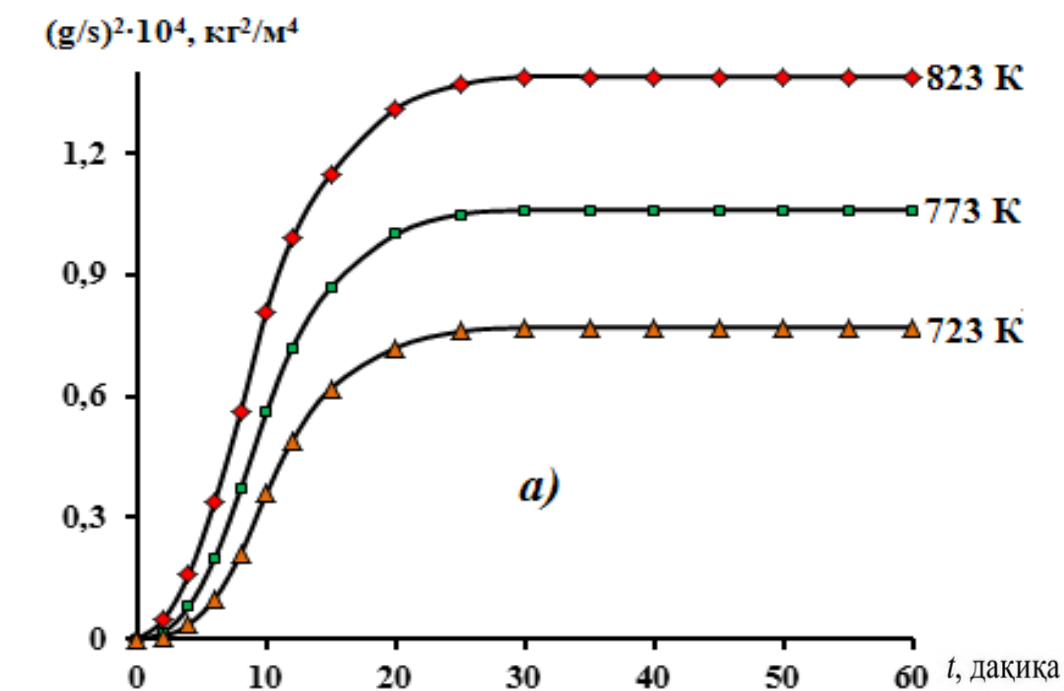
Цадвали 4.2. – Полиномҳои қачхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи дюралюминий AlCu4,5Mg1 бо иловаи калсий дар ҳолати сахт

Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои қачхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти регрессия (R^2)
0.0	723	$y^* = -0,7 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,7584x^{**}$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0238x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3014x$	0,997
0.05	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,22 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0184x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,77 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2953x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,74 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,6243x$	0,996
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,53 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0847x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,18 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3744x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,14 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,703x$	0,995
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,88 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1613x$	0,976
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,52 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4497x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,42 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,7679x$	0,995
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,3 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,242x$	0,979
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,88 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,5229x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,71 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,8323x$	0,995

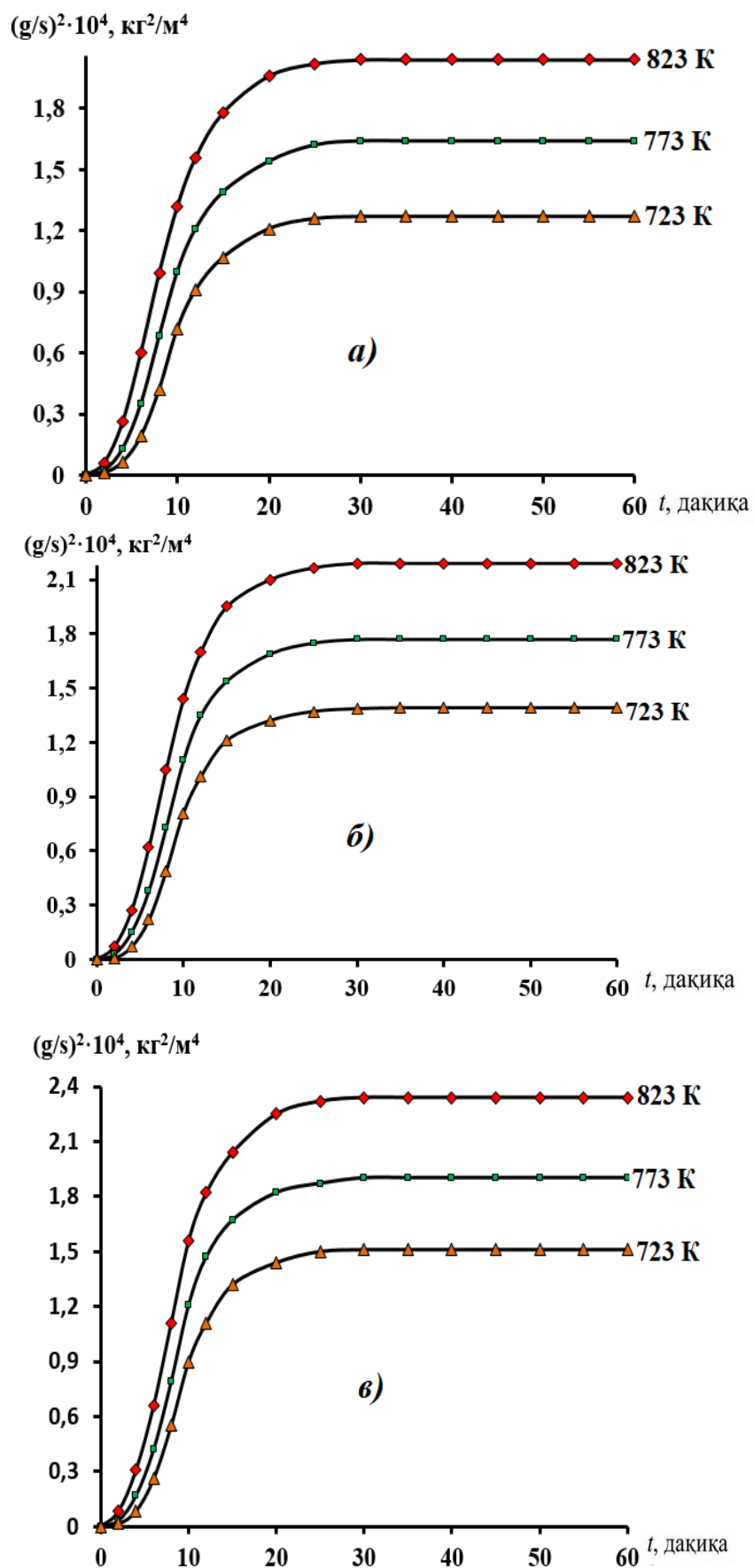
Эзоҳ: y^* - зиёдшавии вазни намунаҳо, (кг/м²);

x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t, дақ.).

Ғайр аз ин, тавсифи қачхатаҳои кинетикӣ бо истифода аз муодилаҳои полиномии дараҷаи чорум нишон медиҳад, ки механизми оксидшавӣ хусусияти оддӣ надорад. Эҳтимол, дар чараёни раванд на танҳо афзоиши қабати оксидӣ, балки тағйирёбии сохтор ва хосиятҳои муҳофизатии он низ таъсир мерасонанд. Аз ин рӯ, истифодаи модели полиномӣ барои шарҳи рафтори кинетикии хӯлаҳои мазкур нисбат ба вобастагии оддии параболий мувофиқтар мебошад.

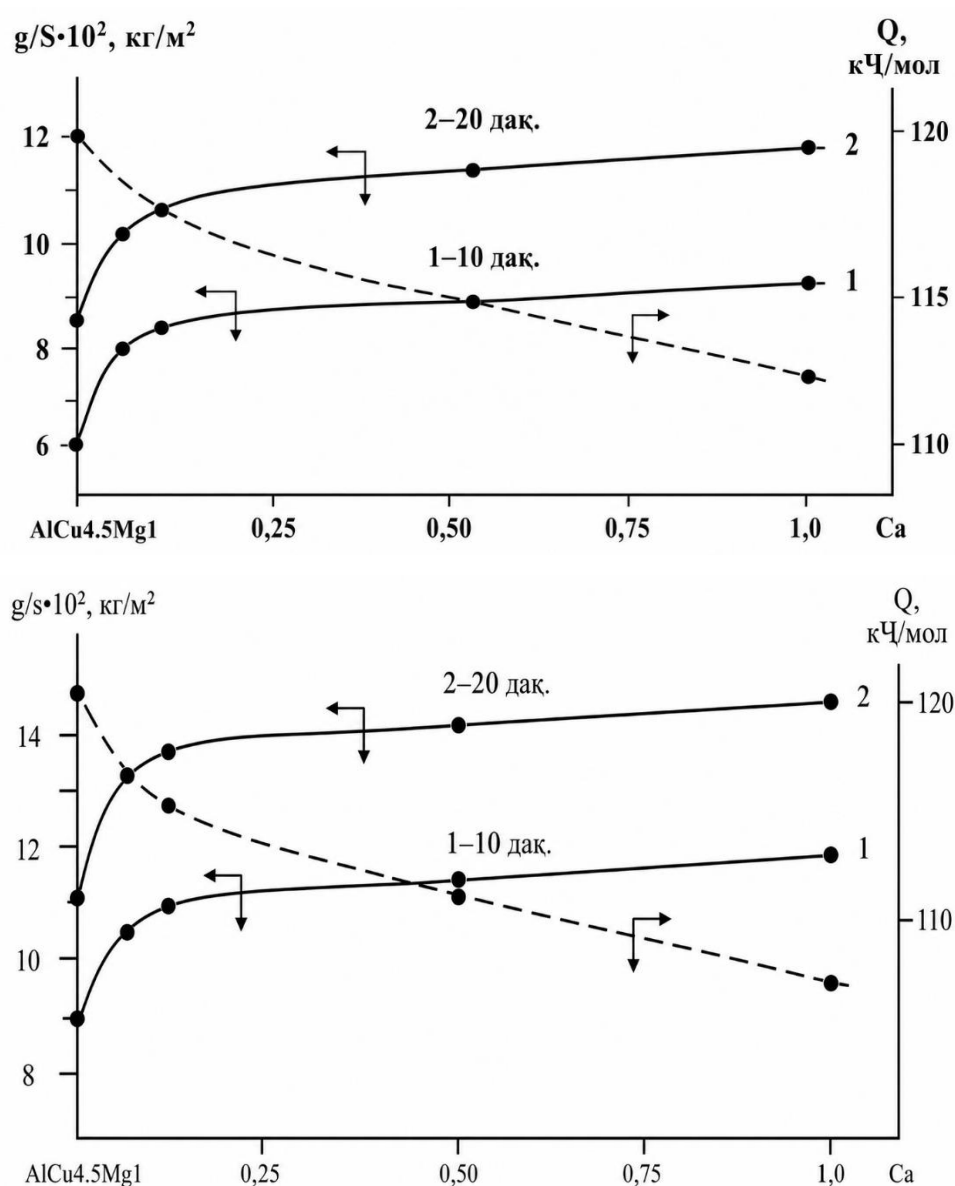


Расми 4.3. – Қачхатаҳои квадрати кинетики оксидшавии ҳӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий (а) бо 0,05мас.% калсий (б), дар ҳолати сахтӣ



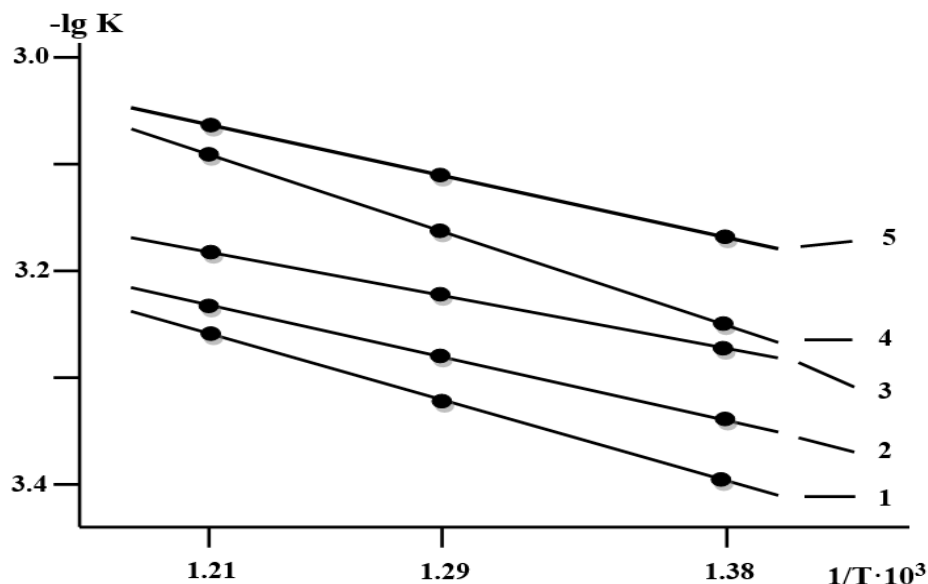
Расми 4.4. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁ бо иловаи калсий (мас.%): 0,1 (а); 0,5 (б); 1,0 (в)

Дар расми 4.5 изохронҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий ҷавҳаронидашуда, пешниҳод гардидаанд. Мушоҳида мегардад, ки агар дар хӯла консентратсияи калсий зиёд карда шавад, суръати оксидшавӣ ҳам дар давоми 10 дақиқаи аввал (қачхатаи 1) ва ҳам дар давоми 20 дақиқаи нигоҳдории намунаҳо дар атмосфераи оксидшавӣ (қачхатаи 2) меафзояд. Ин қонуният дар ҳарорати 823 К боз ҳам равшантар зоҳир мегардад, ки онро камшавии қимати энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонии оксидшавии хӯлаҳо бо зиёд шудани консентратсияи калсий тасдиқ менамояд.

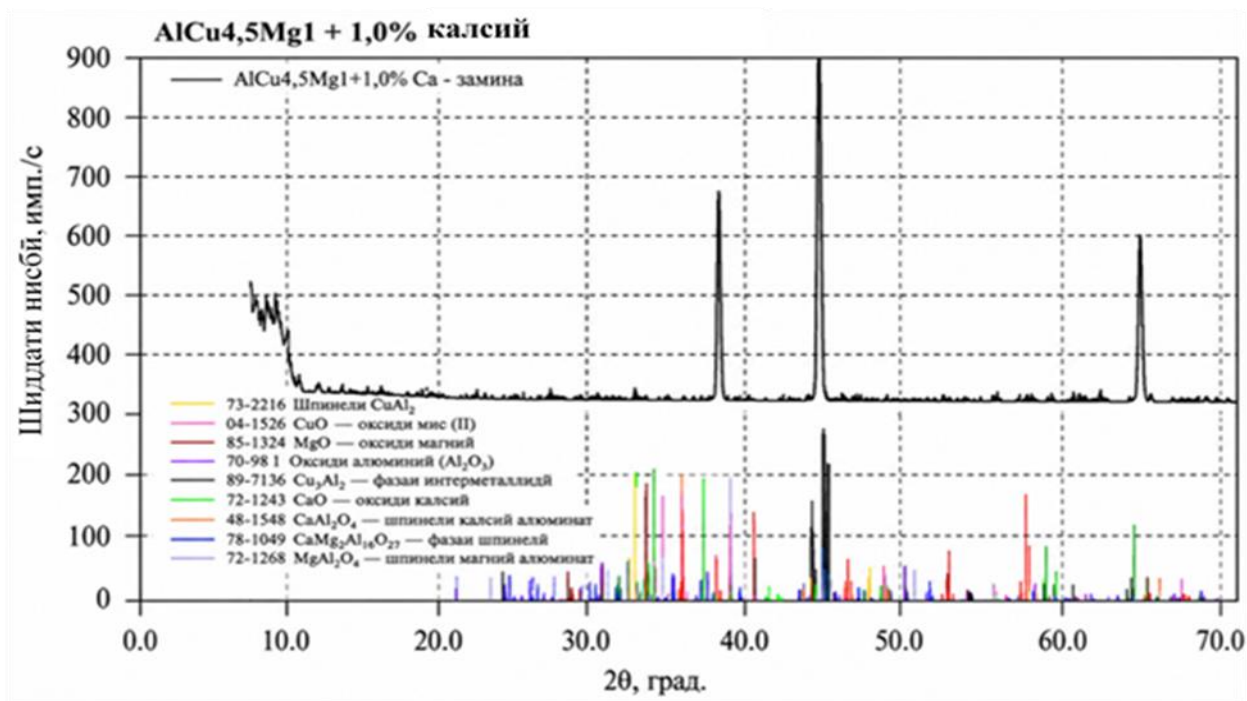


Расми 4.5. – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи калсий дар ҳароратҳои 723 К (а) ва 823 К (б)

Дар расми 4.6 вобастагии $-\lg K=f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, ки дорои 0,05–1,0 мас.% калсий мебошад, тасвир шудааст, ки хусусияти ростхатта дорад. Дар асоси тангенси кунчи нишебии (майли) ростхаттаҳо қиматҳои энергияи тасаввушавандаи фаъолгардонии раванди оксидшавии хӯлаҳо муайян карда шуданд.



Расми 4.6. – Вобастагии $-\lg K=f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, бо калсий (1), мас. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5)



Расми 4.7. – Дифрактограммаи маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий ҷавҳаронидашуда

Дар асоси натиҷаҳои таҳлили фазавии рентгении маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий (расми 4.7),

муқаррар гардид, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо оксидҳои: AlO ; CuO ; $\text{Mg}_{0.67}\text{Al}_{10.33}\text{O}_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; CaAl_2O_4 ; $\text{Ca}_{0.950}\text{Mg}_{0.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$ ҳосил мешаванд.

Муайян карда шуд, ки оксидҳои одӣ ва оксидҳои навъи шпинелӣ (аз ҷумла CaAl_2O_4 , $\text{Ca}_{0.950}\text{Mg}_{0.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$ ва ғайра), ки ҳангоми оксидшавии хӯлаи мазкур ба вучуд меоянд, хосиятҳои муҳофизатии кофӣ надоранд, аз ин рӯ, вобаста ба миқдори иловаҳои ҷавҳаркунанда ва ҳарорат афзоиши суръати оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ мушоҳида мегардад.

Дар маҷмӯъ, илова намудани калсий ба хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий дар ҳудуди 0,05-1,0 мас.% суръати оксидшавии онро зиёд менамояд. Бинобар ин, истифодаи чунин хӯлаҳо барои истеҳсоли конструксияҳо, маснуот ва иншооте, ки дар ҳароратҳои баланд кор мекунанд, тавсия дода намешавад.

Таҳқиқи таъсири калсий ба оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ нишон дод, ки бо зиёд гардидани миқдори ҷавҳаронанда то 1,0 мас.% оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ шиддат меёбад. Ин раванд ба ҳосилшавии оксидҳои бисёркомпонентаи навъи шпинелҳо вобаста буда, қабати ҳосилшуда хосиятҳои муҳофизатии кофӣ надорад.

Ҳамзамон, натиҷаҳои таҳлил нишон медиҳанд, ки миқдори ками калсий ба раванди оксидшавӣ таъсири ҷиддӣ намерасонад. Аз ин рӯ, хӯлаҳои дорои миқдори камтари калсийро метавон барои тайёр намудани маҳсулоте истифода бурд, ки дар шароити ҳароратҳои нисбатан паст фаъолият мекунанд. Ҳангоми интихоби таркиби хӯла бояд муҳити истифода ва ҳарорати кори маснуот ба назар гирифта шавад, зеро афзоиши миқдори калсий метавонад устувории оксидшавии онро коҳиш диҳад.

4.2. Таъсири стронсий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи

$\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, дар ҳолати сахтӣ

Тавре ки дар ҷадвали 4.3 дида мешавад, дар он натиҷаҳои таҳлили термогравиметрӣ ҷамъбаст шудаанд, ки барои омузиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дар ҳолати сахт ва бо иловаи стронсий

истифода гардидаанд. Вобаста ба ҳарорат ва таркиб иловаи концентратсияи стронсий дар ҳудуди 0,05-1,0 мас.%, зиёдшавии суръати миёнаи оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ мушоҳида мегардад.

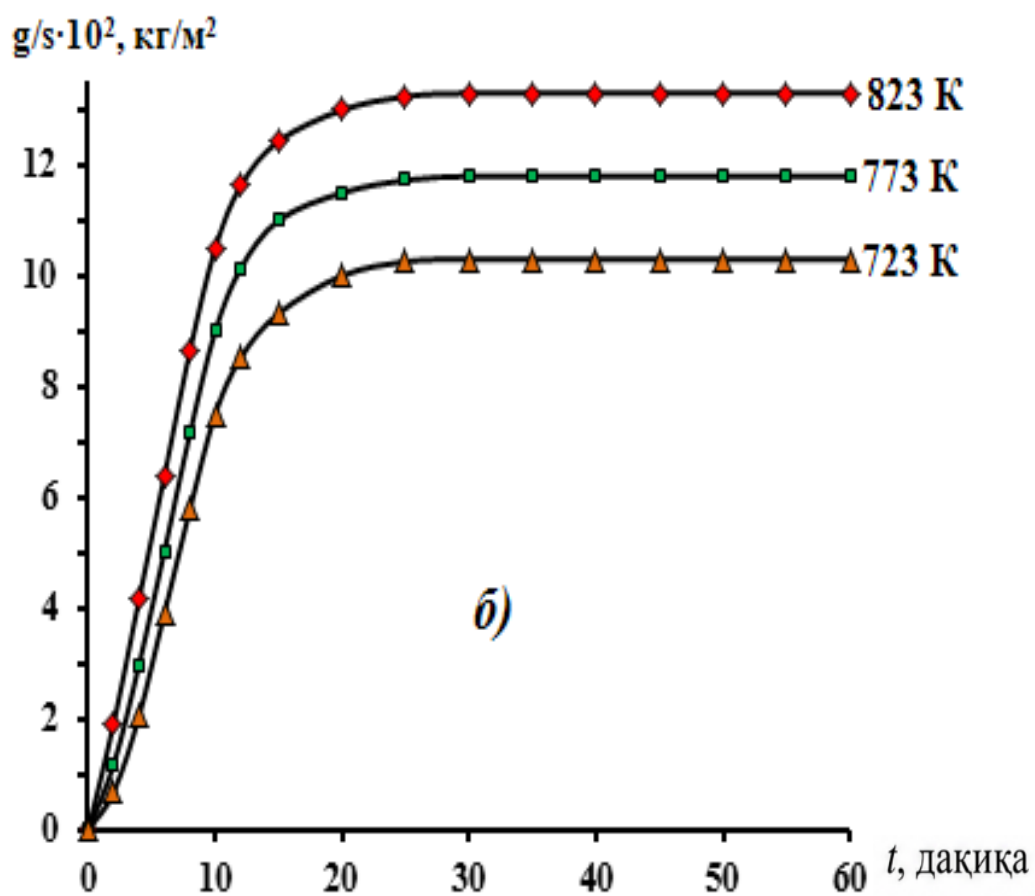
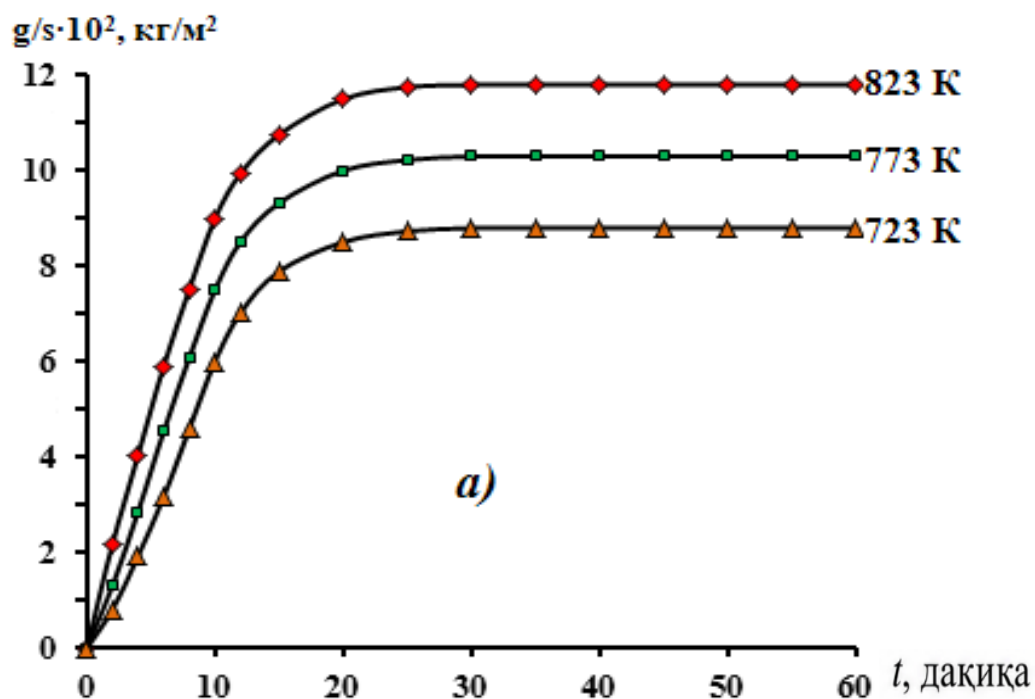
Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки дар ҳароратҳои 723 К ва 823 К суръати миёнаи оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ мутаносибан $2,26 \cdot 10^{-2}$ ва $2,73 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ -ро ташкил медиҳад. Барои хӯлаи дорои 1,0 мас.% стронсий ин нишондиҳандаҳо дар ҳамин ҳароратҳо мутаносибан ба $2,47 \cdot 10^{-2}$ ва $2,92 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ мерасанд. Дар баробари ин энергияи самараноки фаъолгардонии раванди оксидшавии хӯлаҳои мазкур кам гардида, мутаносибан аз 118,5 то 105,1 кҶ/молро ташкил медиҳад.

Ҷадвали 4.3. – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи стронсий дар ҳолати саҳт.

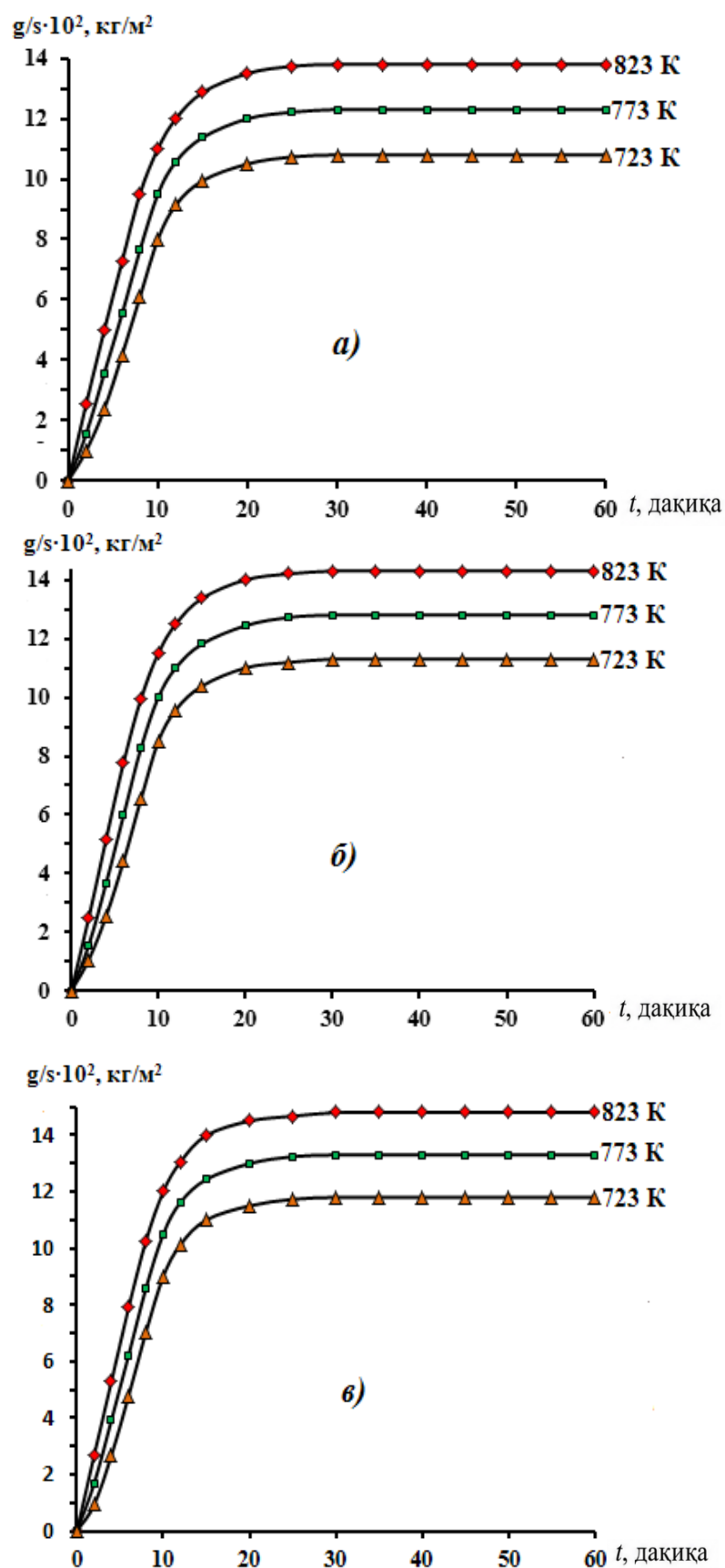
Миқдори стронсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати аслии оксидшавӣ $\text{К} \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонӣ, к Ҷ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.01	723	2.34	113.9
	773	2.52	
	823	2.80	
0.1	723	2.38	111.5
	773	2.57	
	823	2.84	
0.5	723	2.43	108.0
	773	2.60	
	823	2.88	
1.0	723	2.47	105.1
	773	2.65	
	823	2.92	

Ба сифати намуна, қачхатаҳои муқаррарии кинетикӣ ва қачхатаҳои квадрати кинетикӣ раванди оксидшавӣ, ки тағйирёбии массаи хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминро вобаста ба вақт инъикос менамоянд, дар расмҳои 4.8–4.11 пешниҳод шудаанд. Таҳқиқот барои намунаҳои хӯлае гузаронида шуд, ки дар таркибашон 0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.% стронсий доранд. Санҷишҳо дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К анҷом дода шуданд.

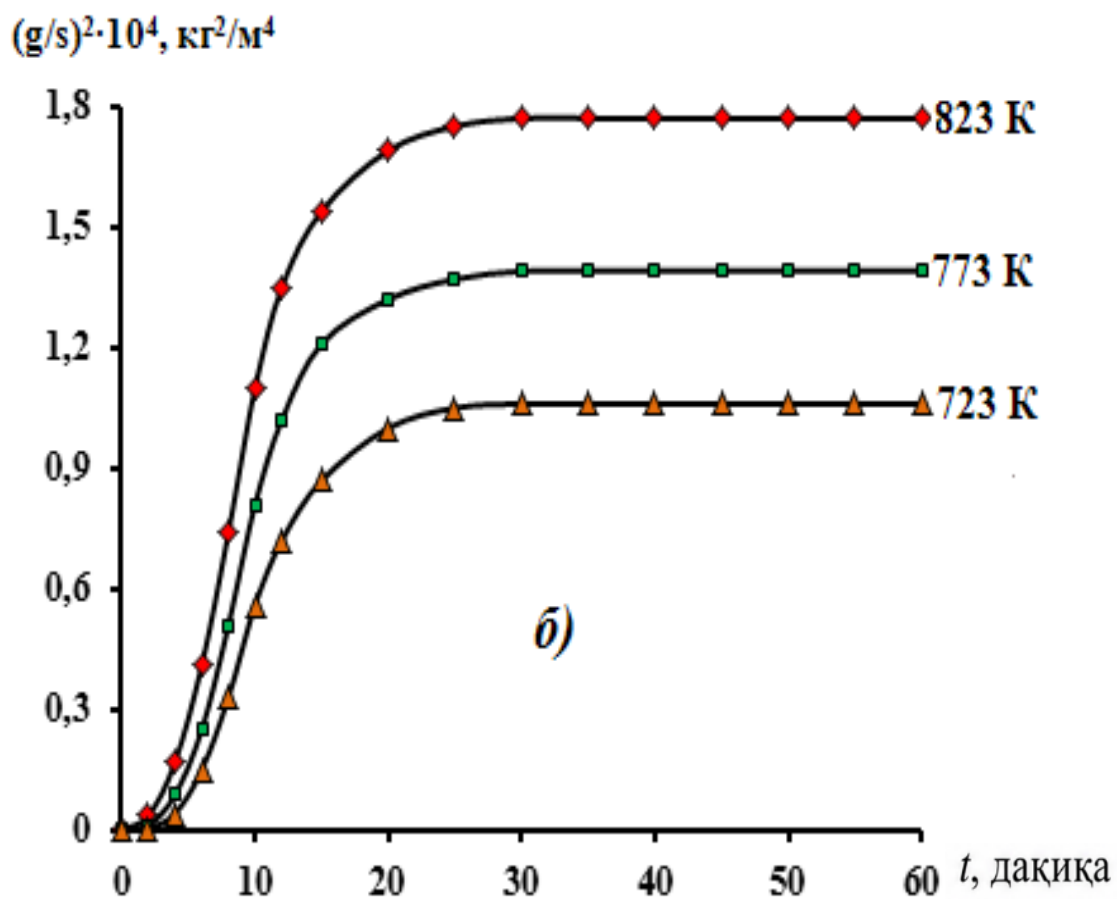
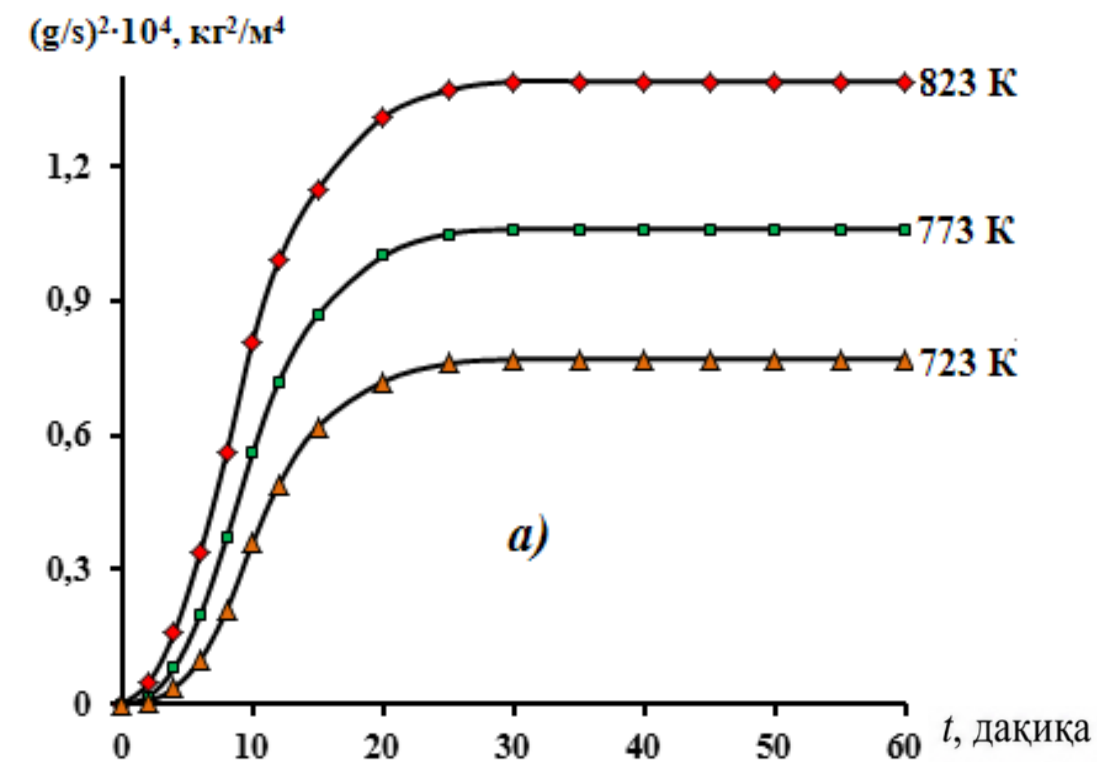
Раванди оксидшавӣ бо мушкилоти диффузионӣ сурат гирифта, дар дақиқаҳои 15 ва 20 ба анҷом мерасад.



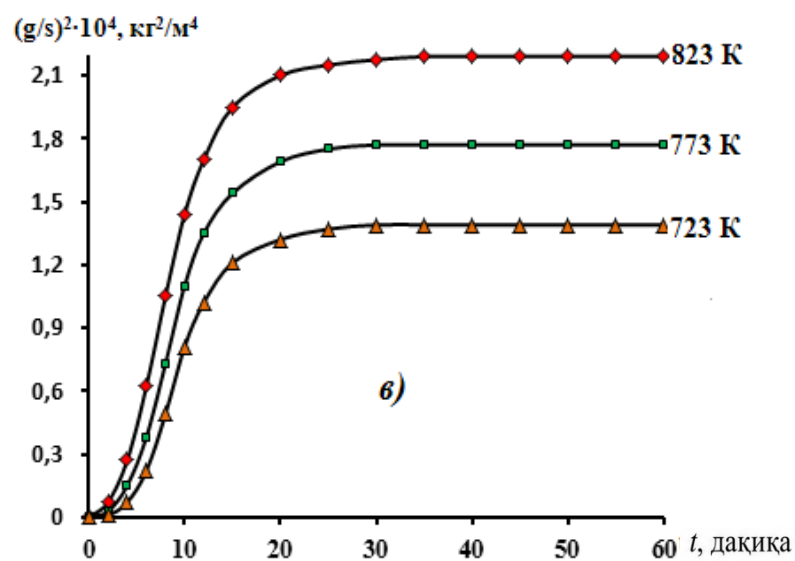
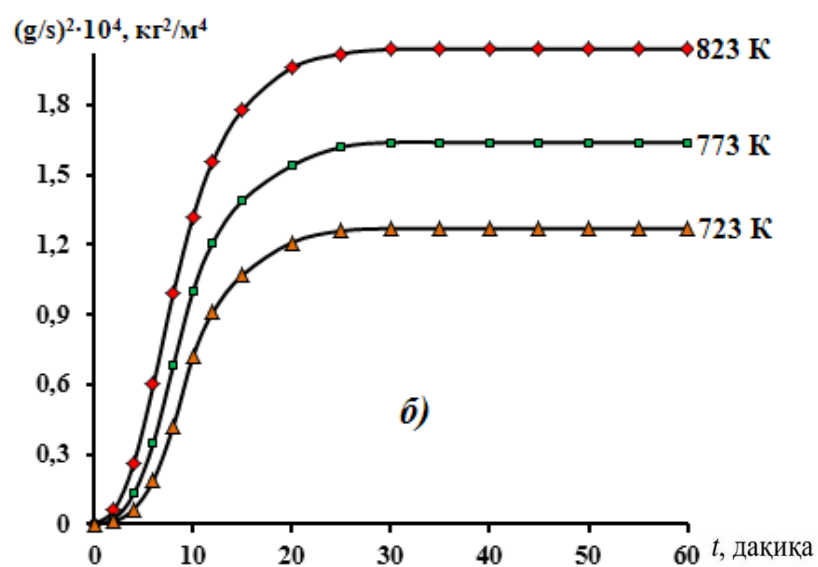
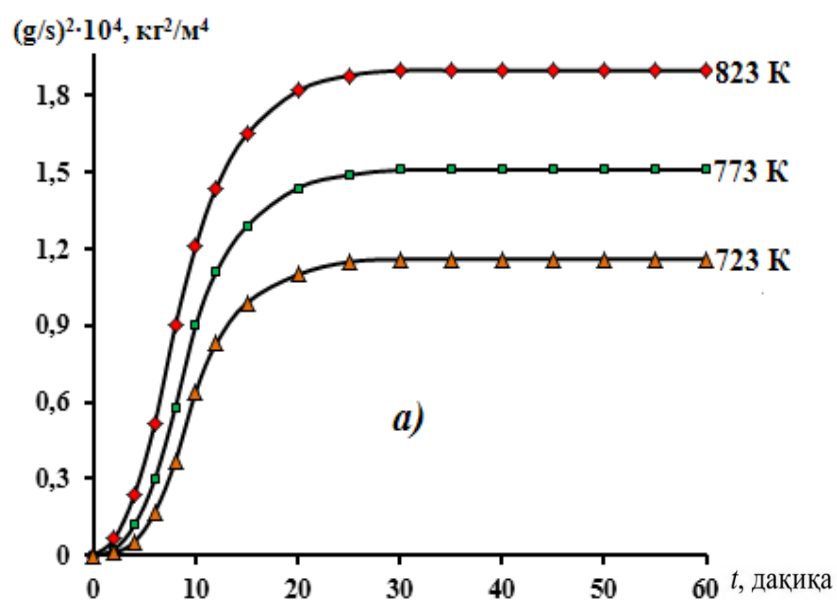
Расми 4.8. – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавиҳои хӯлаи алюминии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий (а) бо 0,05мас.% стронсий (б)



Расми 4.9. – Қаҷхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъии дюралюминий бо стронсий, мас. %: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)



Расми 4.10. – Қачхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий (а) бо 0,05 мас.% стронсий (б)



Расми 4.11. – Качхатаҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо стронсий, мас. %: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

Хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳо ба таркиб ва сохтори қабати оксидии ба вучудодада саҳт вобастаанд. Вақте ки ин қабат сохтори фучур дорад, оксиген бе душворӣ аз он гузашта метавонад ва дар натиҷа суръати оксидшавӣ зиёд мегардад. Аммо агар қабати оксидӣ зичу мустаҳкам бошад, ҳаракати оксиген маҳдуд шуда, раванд сусттар мегузарад.

Натиҷаҳои таҳлили математикӣ ва коркарди қачхатаҳои квадратии кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо дар ҷадвали 4.4 ҷамъбаст ва пешниҳод шудаанд.

Бо мақсади муайян намудани механизми оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо стронсий дар ҳолати саҳтӣ, бо ёрии маҷмӯи воситаҳои ҳисоббарории барномаи Microsoft Excel муодилаҳои қачхатаҳои квадратии кинетикӣ оксидшавӣ бо қимати коэффитсиенти коррелятсияи $R = 0,979-0,994$ муқаррар гардиданд. (ҷадвали 4.4).

Таҳлили полиномаҳои квадратии қачхатаҳои кинетикӣ оксидшавии хӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи стронсий нишон медиҳад, ки раванди оксидшавӣ ба қонуни гиперболӣ итоат мекунад. Ин вобастагӣ бо муодилаи умумии $y=k \times x^n$ ифода меёбад, ки дар он қимати дараҷа (n) дар ҳудуди 1 то 4 тағйир меёбад (нигаред ба ҷадвали 4.4).

Дар ин ифода y афзоиши массаи намунаҳоро ($кг/м^2$) нишон медиҳад, дар ҳоле ки (x) давомнокии раванди оксидшавиро бо дақиқа ифода мекунад.

Тавре ки дар расми 4.12 дида мешавад, изохронҳои оксидшавии хӯлаҳо ба ҳароратҳои 723 ва 823 К мувофиқат мекунанд. Таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки бо зиёд шудани миқдори стронсий дар таркиби хӯла то 1,0 мас.% суръати оксидшавӣ тамоюли афзоиш дошта, ҳамзамон энергияи эҳтимолии фаъолгардонии ин раванд коҳиш меёбад.

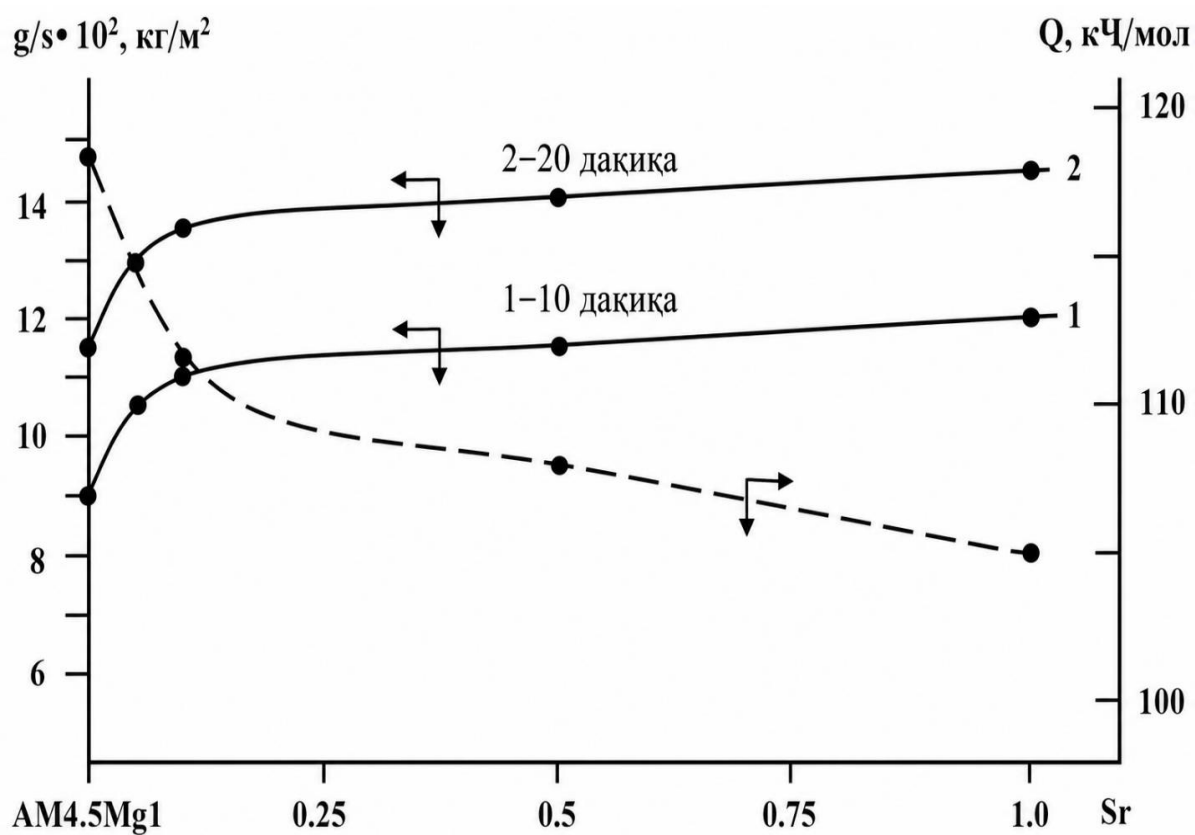
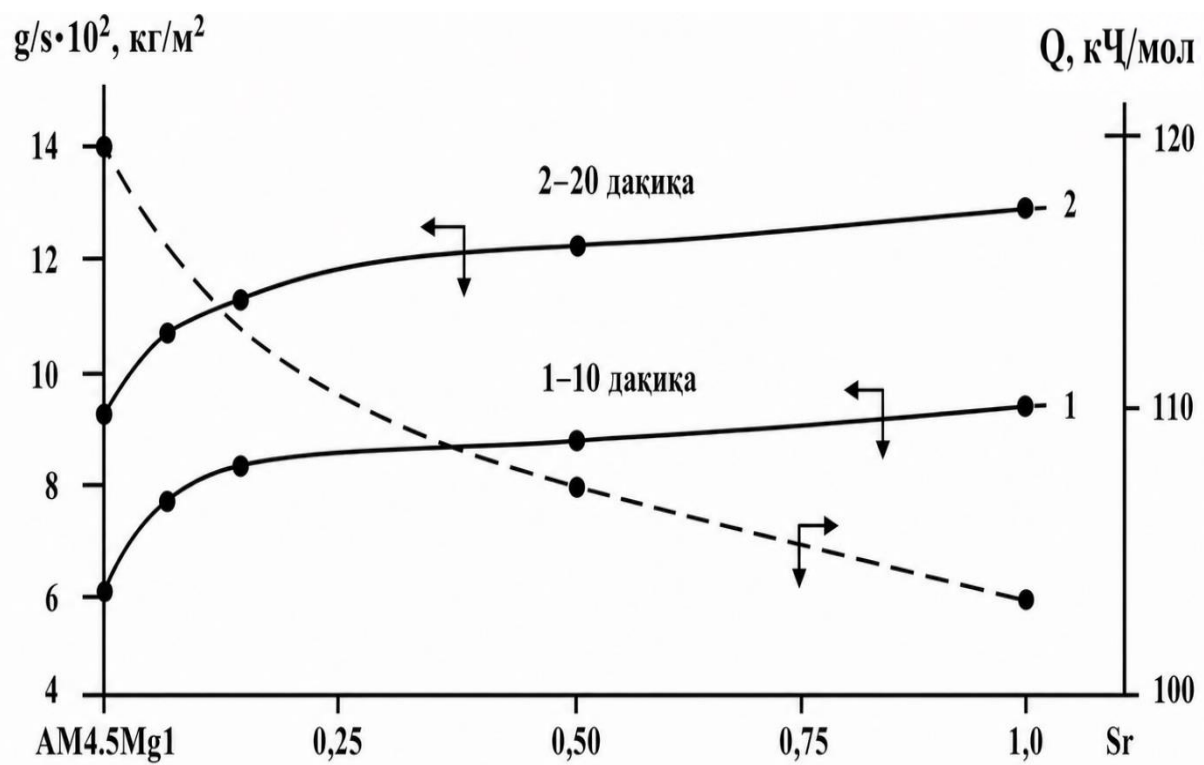
Ҷадвали 4.4. - Полиномҳои қатъхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи дюралюминий AlCu4,5Mg1 бо иловаи стронсий дар ҳолати сахт.

Миқдори стронсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои қатъхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффисиенти регрессии (R^2)
0.0	723	$y = -0,7 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,7584x$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0238x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3014x$	0,997
0.05	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,31 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,17 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,9357x$	0,976
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,17 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1957x$	0,981
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,74 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4760x$	0,989
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,21 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0183x$	0,977
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,76 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2952x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,743 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,6242x$	0,995
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,52 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0846x$	0,976
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,17 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3743x$	0,986
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,13 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,702x$	0,994
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,87 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1612x$	0,975
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,51 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4496x$	0,985
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,41 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,7678x$	0,993

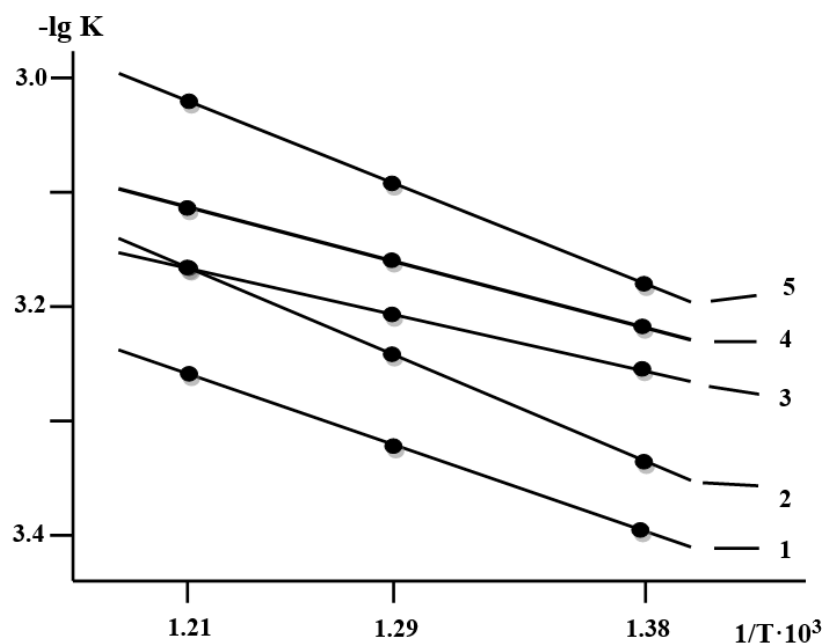
Эзоҳ: y -зиёдишавии массаи намунаҳо ($\text{кг}/\text{м}^2$);

x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ (t , дақ.).

Вобастагҳои $-\lg K = f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо стронсий дар расми 4.13 нишон дода шудаанд. Мушоҳида мешавад, ки қатъхатаҳо дар координатаҳои $-\lg K = f(1/T)$ хусусияти ростхатта дошта, қатъхатаҳо, ки ба хӯлаҳои бо стронсий ҷавҳаронида тааллуқ доранд, нисбат ба хӯлаи ибтидоии алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий болотар ҷойгир шудаанд. Ин ҳолат аз он шаҳодат медиҳад, ки суръати аслии оксидшавии хӯлаҳои дорои стронсий нисбат ба хӯлаи ибтидоӣ баландтар мебошад. Ин ҳолатро интизор будан дуруст аст, зеро суръати умумии оксидшавӣ аз маҷмӯи чанд раванд иборат мебошад, ки ҳар кадоми онҳо табиати хоси худро доранд. Бо вучуди ин, дар ҷараёни таҳлил метавон як қатор қонуниятҳои умумиро мушоҳида кард, ки барои оксидшавии хӯлаҳои ин система дар ҳолати сахт хос мебошанд.



Расми 4.12. – Изохронҳои оксидшавии ҳўлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи стронсий дар ҳароратҳои 723 К (а) ва 823 К (б)



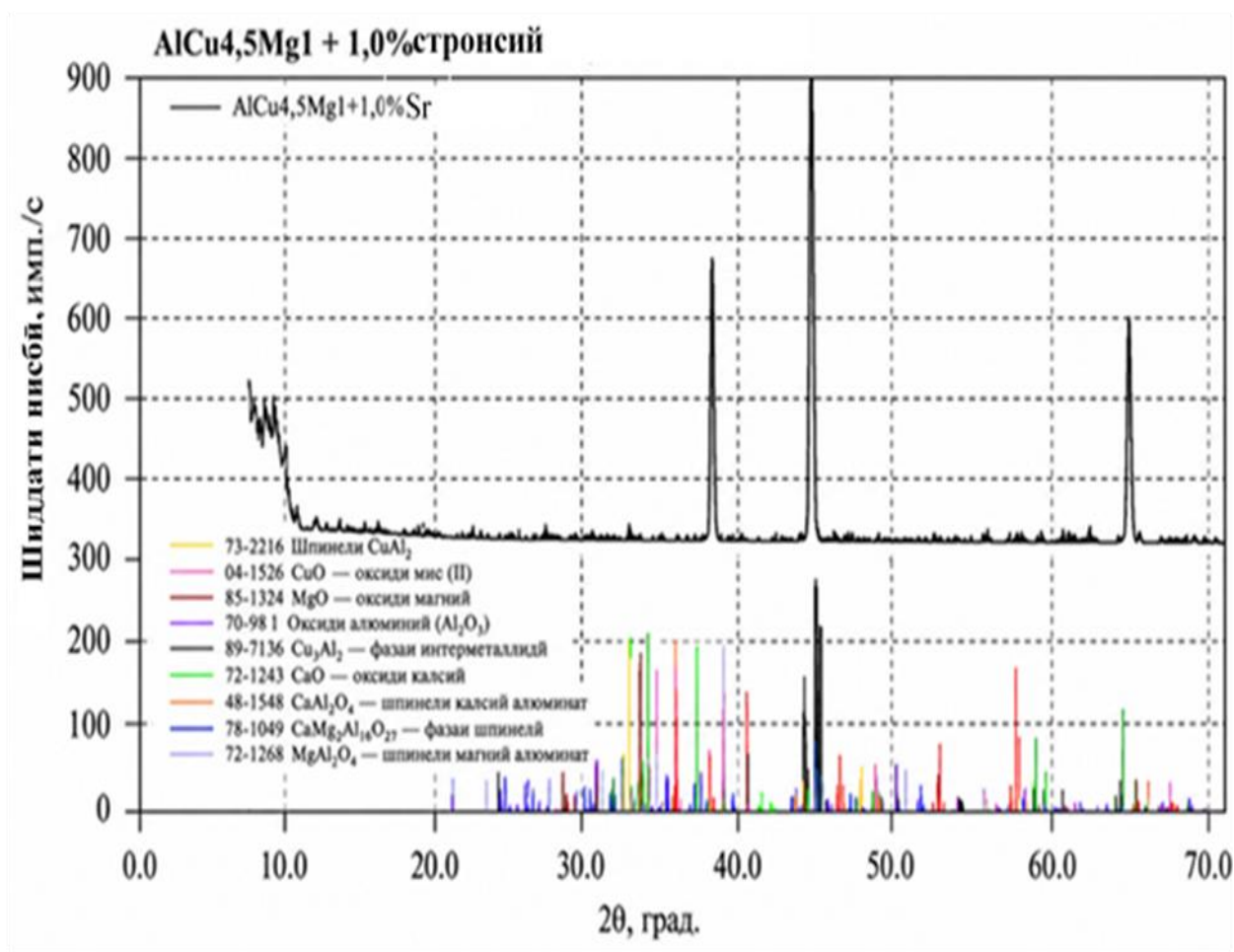
Расми 4.13. – Вобастагии $-\lg K=f(1/T)$ барои хӯлаи алюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо стронсий, мас.‰: 0,0 (1); 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5)

Пеш аз ҳама, бо зиёд шудани ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаҳо меафзояд. Иловаҳои стронсий оксидшавии алюминийи ибтидоиро меафзояд, ки ин дар навбати худ ба коҳиш ёфтани энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардони раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, бо стронсий дар ҳолати саҳтӣ ҳамроҳӣ мекунад. Қимати доимии суръати ибтидоии оксидшавӣ дар як ҳарорат барои хӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо 0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.‰ стронсий ғанӣ гардонида шудааст, нисбат ба хӯлаи аслий андаке баландтар буда, дар сатҳи тақрибан 10^{-4} қарор мегирад.

Барои фаҳмидани он ки кадом омилҳо ба тағйирёбии суръати оксидшавии чунин хӯлаҳои тағйирдодашуда таъсир мерасонанд, морфология ва сохтори маҳсулоти оксидшуда мавриди таҳлили муфассал қарор дода шуданд.

Таҳлили рентгенофазавӣ нишон дод, ки дар чараёни оксидшавии хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо 1,0 мас.‰ стронсий як қатор пайвастагиҳои оксидӣ ба вуҷуд меоянд: Al_2MgO_4 ; CuO ; $Mg_{0.36}Al_{2.44}O_4$; $SrAl_4O_7$; $MgAl_2O_4$; $SrCuO_{2.5}$; Al_2O_3 ; $Sr_{1.81}Cu_{0.905}O_{3.4}$; $Sr_6Cu_6.6Al_{7.4}$; $SrO(Al_2O_3)_2$ (расми 4.14). Дар

маҷмӯъ иловаҳои стронсий дар ҳудуди 0,05–1,0 мас.% ба ҳӯлаи алюминийи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ боиси афзоиши оксидшавии он мегарданд.



Расми 4.14. – Дифрактограммаҳои маҳсулоти оксидшавии ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дуралюмолюминий бо 1.0 мас.% стронсий

4.3. Кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дуралюминий бо барий чавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ

Усули омузиши кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи навъи дуралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи барий дар баҳши 2.2 оварда шудааст. Дар чараёни таҷриба миқдори барий дар таркиби ҳӯла аз 0,05 то 1,0 мас.% интихоб гардида буд.

Натиҷаҳои таҳқиқ, вобаста ба оксидшавии ин ҳӯла, ки бо барий чавҳаронидааст, дар расмҳои 4.15–4.20 ва ҷадвалҳои 4.5, 4.6 пешниҳод шудаанд. Таҳлил нишон медиҳад, ки дар 15–20 дақиқаи аввали раванд афзоиши назарраси массаи намунаҳо ба қайд гирифта мешавад, минбаъд раванд муътадил мегардад, ки ин ба ташаккули пардаи оксидӣ дар сатҳи таъсир вобаста аст (расми 4.15).

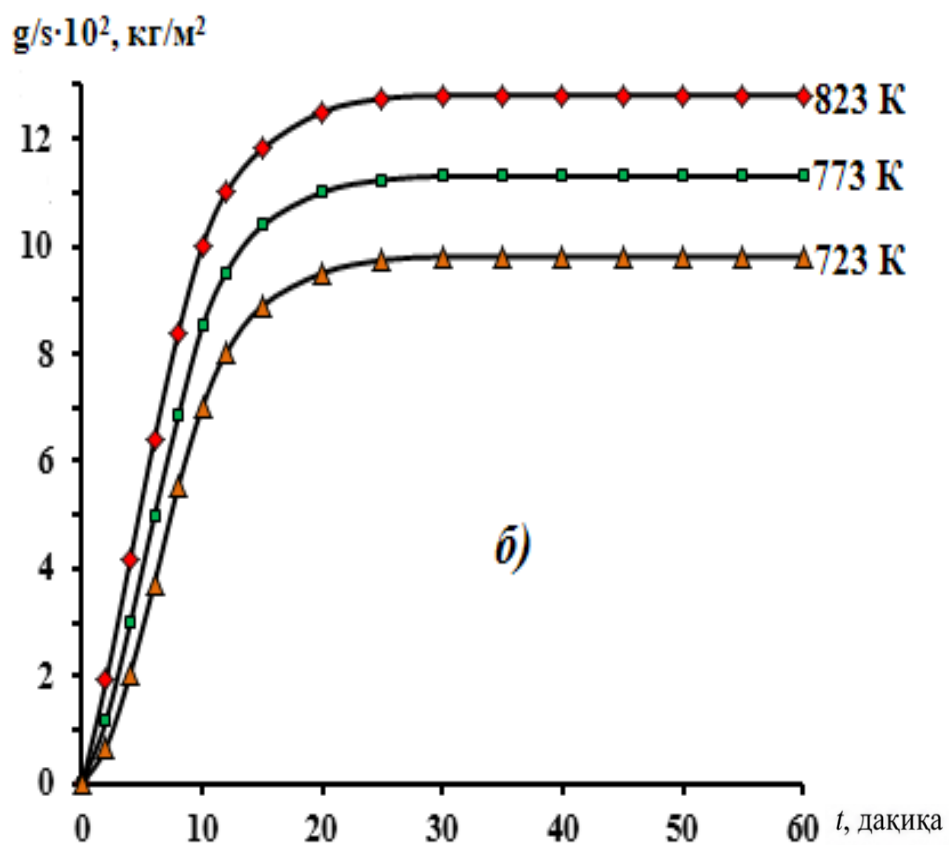
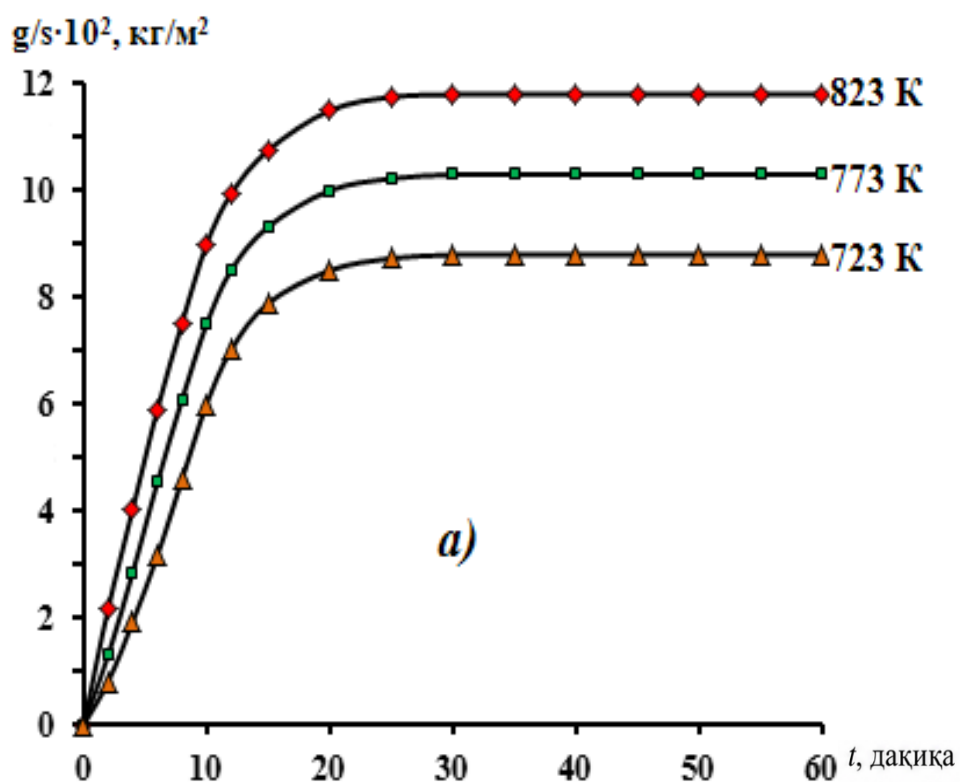
Ҷадвали 4.5. – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи дюралюминийи AlCu4,5Mg1 бо иловаи барий дар ҳолати сахт

Миқдори барий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати аслии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.39	110.0
	773	2.57	
	823	2.85	
0.1	723	2.42	107.1
	773	2.62	
	823	2.89	
0.5	723	2.47	103.5
	773	2.65	
	823	2.92	
1.0	723	2.52	99.9
	773	2.69	
	823	2.96	

Дар расми 4.15 раванди тағйирёбии вазни ҳолиси намунаҳои хӯлаҳо вобаста ба вақт, ҳарорат ва таъсири оксигени фазаи газӣ дар шакли қатъхатаҳои кинетикӣ инъикос ёфтааст.

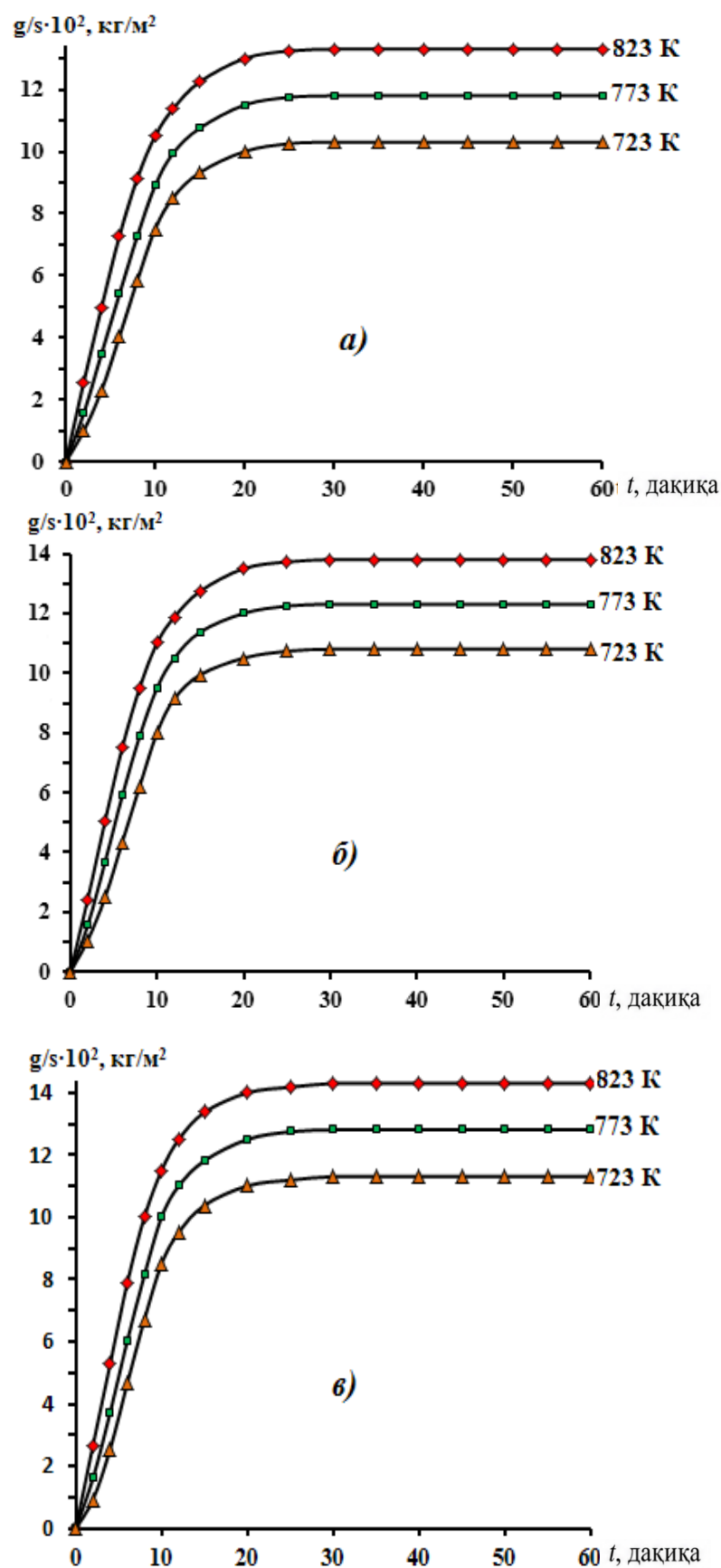
Аз баррасии ин маълумотҳо бармеояд, ки дар оғози раванди оксидшавӣ қабати оксиди ташаккулёфта ҳанӯз пурра шакл нагирифта, қобилияти муҳофизатии кофӣ надорад. Маҳз ба ҳамин сабаб дар ин марҳала суръати оксидшавӣ нисбатан баланд боқӣ мемонад, ки ин ҳолат дар натиҷаҳои таҷрибавӣ низ равшан дида мешавад (ниг. расмҳои 4.15–4.21).

Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки суръати миёнаи оксидшавии хӯлаи дюралюминий AlCu4,5Mg1 дар ҳароратҳои 723 К ва 823 К мутаносибан ба $2,26 \cdot 10^{-2}$ ва $2,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробар аст. Барои хӯлае, ки дорои 1,0 мас.% барий мебошад, ин нишондиҳандаҳо дар ҳамон ҳароратҳо то $2,52 \cdot 10^{-2}$ ва $2,96 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ меафзоянд.



Расми 4.15. – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$:

(а) – хӯлаи ибтидоӣ; (б) – хӯла бо 0,05 мас.% барий



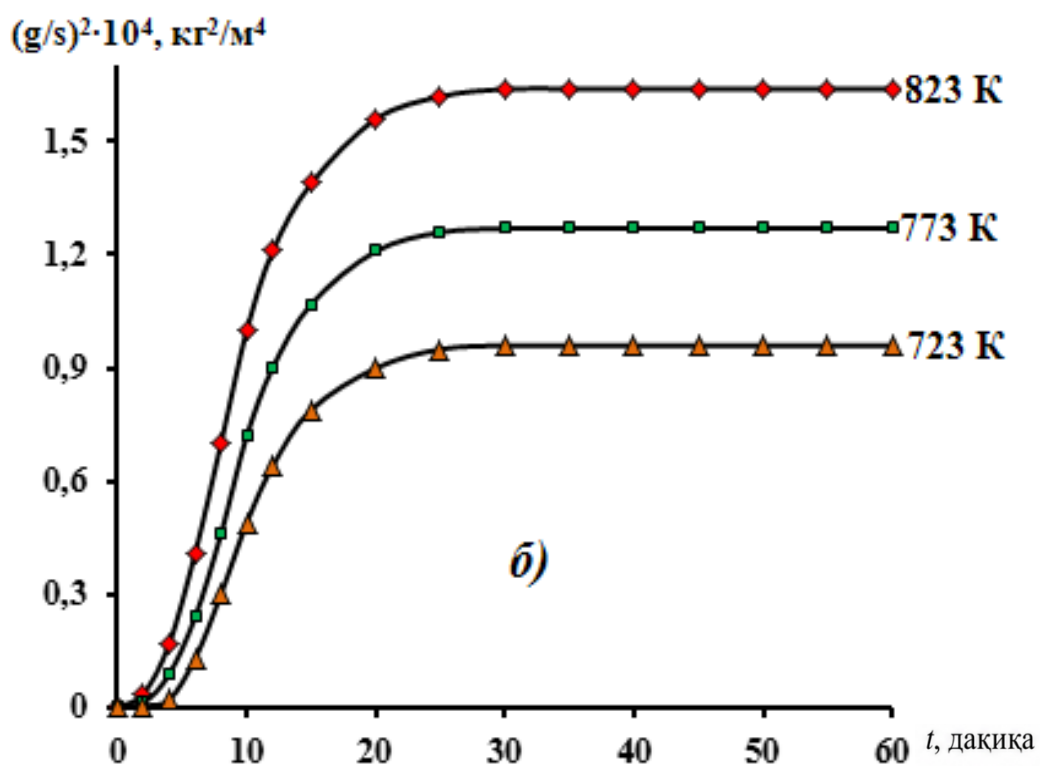
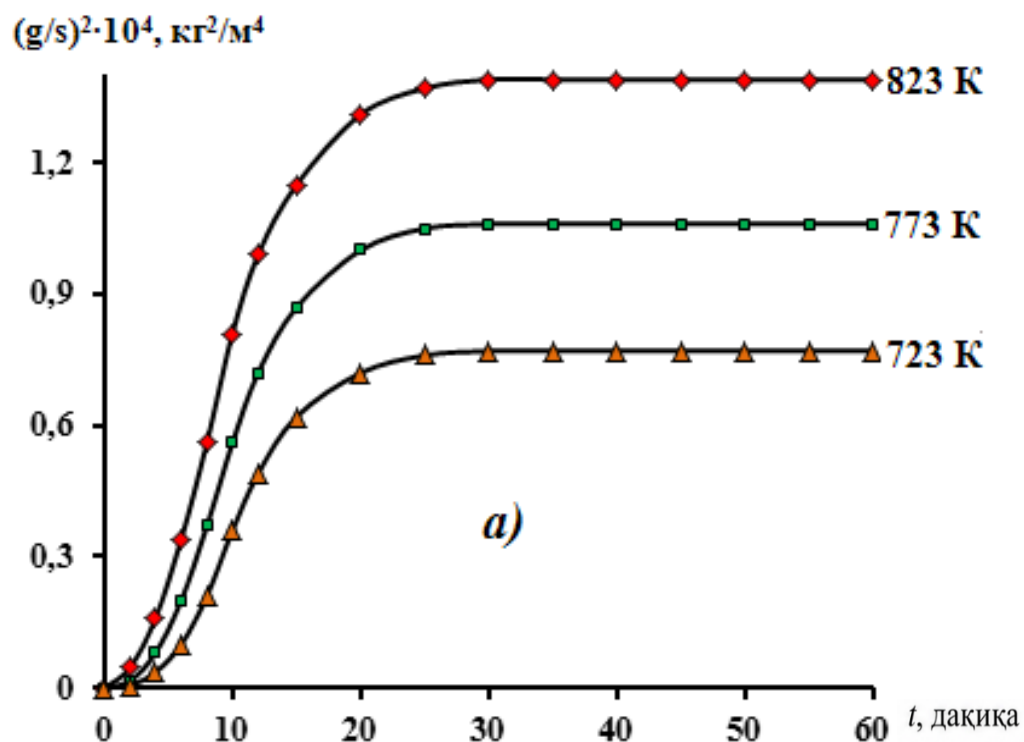
Расми 4.16. – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳулаи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁ бо иловаи барий (мас.%): 0,1 (а); 0,5 (б); 1,0 (в)

Ҳамзамон, энергияи самарабахши фаъолгардонии раванди оксидшавӣ дар шароити ҳарорати баланд барои ҳулаҳои таҳқиқшуда дар ҳудуди аз 118,5 то 99,9 кҶ/мол тағйир меёбад (ҷадвали 4.6).

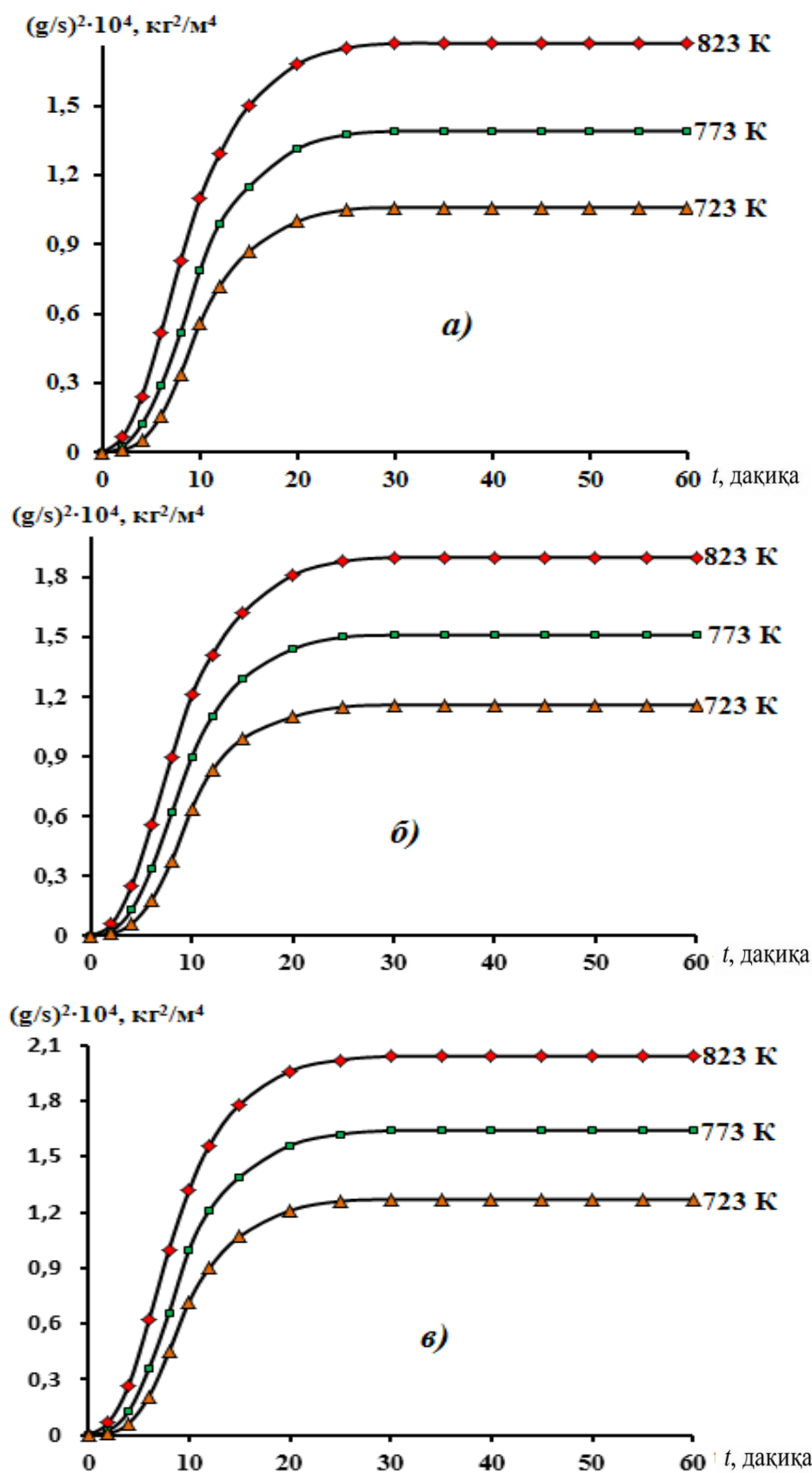
Ҷадвали 4.6. – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии ҳулаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо барий, дар ҳолати сахтӣ

Миқдори барий дар ҳула, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати аслии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.39	110.0
	773	2.57	
	823	2.85	
0.1	723	2.42	107.1
	773	2.62	
	823	2.89	
0.5	723	2.47	103.5
	773	2.65	
	823	2.92	
1.0	723	2.52	99.9
	773	2.69	
	823	2.96	

Қаҷхатаҳои квадрати кинетикаи оксидшавии ҳулаи алюминий шакли хаттии оддӣ надоранд, балки хусусияти ғайрихаттӣ нишон медиҳанд. Ин ҳолат аз он гувоҳӣ медиҳад, ки раванди оксидшавии чунин ҳулаҳо ба қонуни параболии классикӣ пурра мувофиқат намекунад ва хусусияти мураккабтар дорад (расмҳои 4.17, 4.18).



Расми 4.17. – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁:
(а) – хӯлаи ибтидоӣ; (б) – хӯла бо 0,01 мас.% барий



Расми 4.18. – Качхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий, мас. %: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

Чадвали 4.7. – Полиномаҳои қачхатаҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо барий, дар ҳолати сахтӣ

Микдори барий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои қачхатаҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти регрессия (R^2)
0.0	723	$y = -0,7 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,7584x$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0238x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3014x$	0,997
0.05	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,66 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,8678x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 4 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1309x$	0,985
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,0 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,62 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4169x$	0,993
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,02 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,9618x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,48 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2375x$	0,990
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,56 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,5592x$	0,997
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,39 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0387x$	0,980
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,02 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3265x$	0,989
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,79 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,6374x$	0,995
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,65 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0897x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,18 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3746x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,3 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,6212x$	0,997

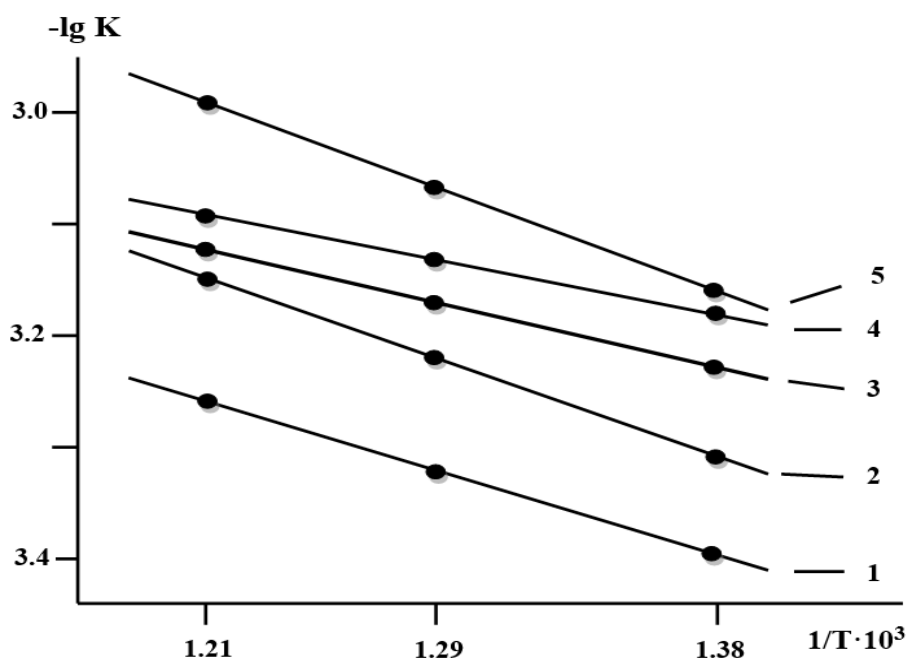
Эзоҳ: y^* - зиёдашавии вазни намунаҳо, ($\text{кг}/\text{м}^2$);

x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ (t , дақ.).

Таъсири мутақобилаи хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий дар концентратсияҳои гуногуни барий ва оксигени фазаи газӣ дар ҳароратҳои таҳқиқшуда аз хусусиятҳои оксидшавии хӯлаи аслий ба таври назаррас фарқ мекунад. Дар 10-15 дақиқаи аввали раванд вобастагӣ асосан хаттӣ боқӣ мемонад. Аммо баъд аз ин, бо ташаккули қабати оксидӣ, ҷараёни оксидшавӣ тадричан хусусияти гиперболий мегирад. То тақрибан дақиқаи 20-ум қабати муҳофизатии оксидӣ пурра шакл гирифта, минбаъд раванди оксидшавӣ бо суръати устувортар идома меёбад (расми 4.19).

Ҳангоми тасвири натиҷаҳо дар координатаҳои $-\lg K$ нисбат ба $1/T$, қачхатаҳои ба раванди оксидшавии ҳарорати баланд мувофиқ шакли хатҳои ростро мегиранд (расми 4.19). Аз рӯи кунҷи нишебии ин хатҳо энергияи самарабахши фаъолгардонии оксидшавии хӯлаҳо ҳисоб карда шуданд. Мувофиқи натиҷаҳои бадастомада, дар байни хӯлаҳои ҷавҳаронида, хӯлаи алюминийи дюралюминий AlCu4,5Mg1 бо 1,0 мас.% барий суръати

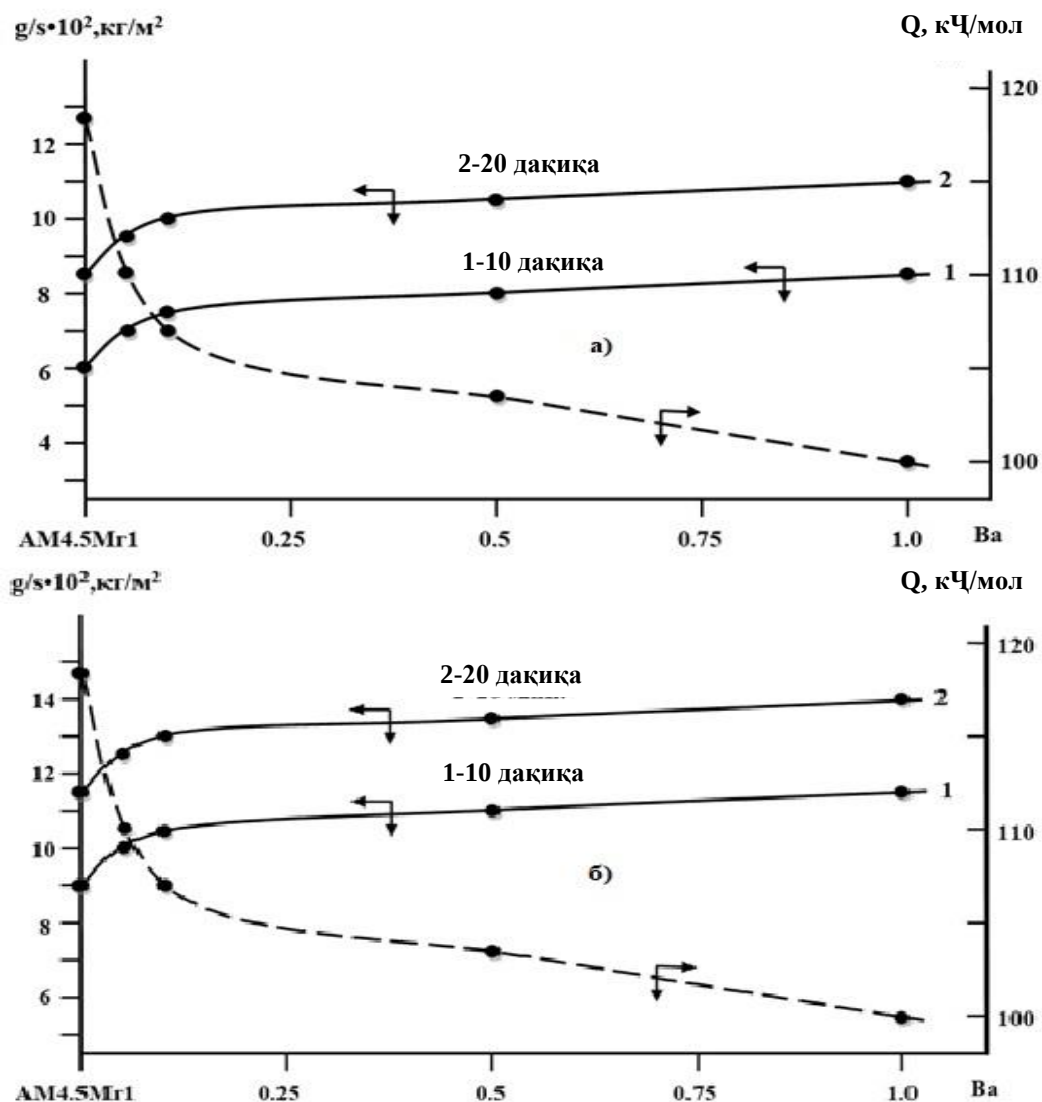
баландтарини оксидшавиро нишон дод. Тавре ки аз маълумотҳо бармеояд, энергияи фаългардонӣ барои ин ҳӯла 99,9 кҶ/мол буда, барои ҳӯлаи ибтидоӣ он баландтар – 118,5 кҶ/мол мебошад (ҷадвали 4.8).



Расми 4.19. – Вобастагии $-\lg K$ аз $1/T$ барои ҳӯлаи алюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий (1) бо барий, мас. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5)

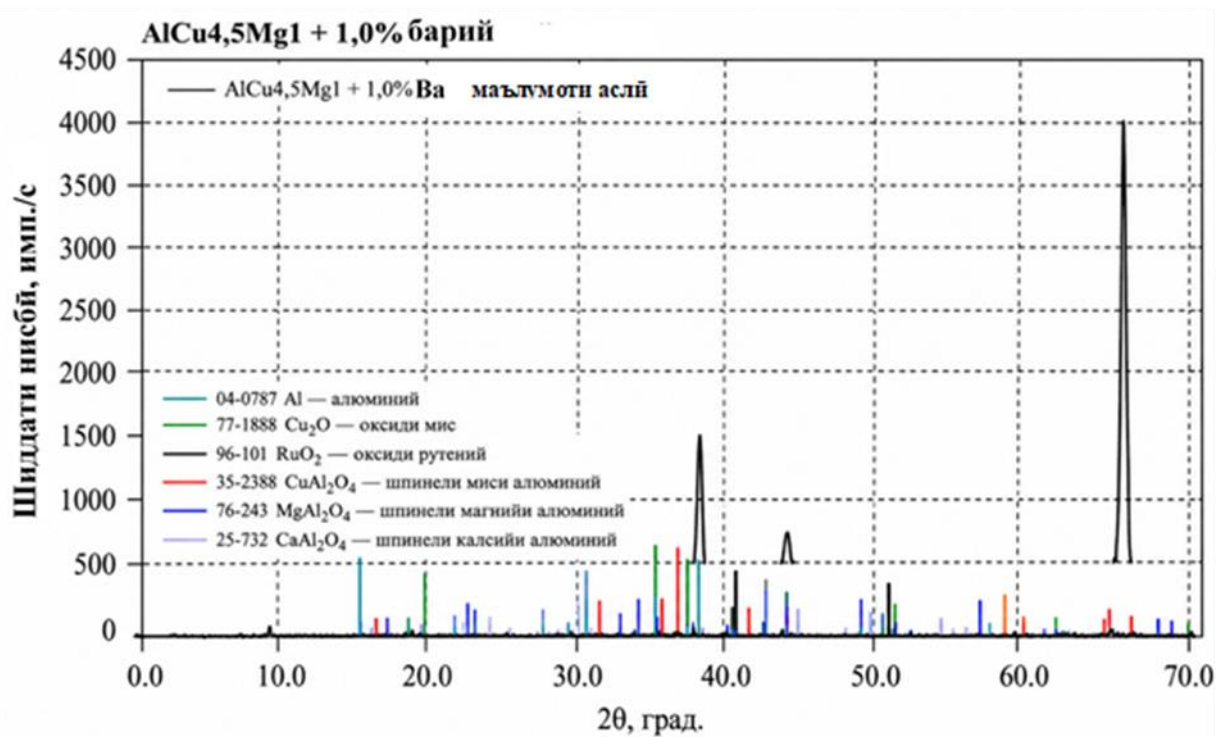
Қаҷхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳарорати баланди ҳӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо барий тағйир дода шудааст, афзоиши нисбатан яхелаи суръати ибтидоии оксидшавиро нишон медиҳанд. Ҳамзамон, мушоҳида мешавад, ки энергияи самараноки фаългардонӣ дар ин раванд коҳиш меёбад (расми 3.20).

Таҳқиқи маҳсулоти оксидшавии ҳӯлаҳо, бахусус қабати оксиде, ки хангоми гармкунӣ дар рӯи намунаҳо ташаккул меёбад, имконият медиҳад, ки дар бораи механизми ҷараёни оксидшавӣ маълумоти муҳиму бозғаймӣ ба даст оварда шавад. Қабати оксидӣ натиҷаи таъсири байни металл ва оксигени атмосфера буда, дар сатҳи намуна ташаккул меёбад ва дар навбати худ ба сатҳи фаълнокии химиявӣ он таъсиргузор мебошад.



Расми 4.20. – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи барий дар ҳароратҳои 723 К (а) ва 823 К (б)

Маҳсулоте, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий чавҳаронидашуда ҳосил шуданд, бо усули таҳлили рентгенофазавӣ таҳқиқ карда шудаанд. Таҳлили рентгенофазавӣ нишон дод, ки дар чараёни оксидшавӣ дар таркиби хӯлаҳо як қатор оксидҳо ва гидроксидҳо ба вуҷуд меоянд. Аз ҷумла, моддаҳои зерин мушоҳида шуданд: Cu_6O , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CuAlO_2 , $\text{Mg}_{0.77}\text{Al}_{0.23}$, $(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$, $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$ ва $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (расми 4.21).



Расми 4.21. – Дифрактограммаҳои маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо 1,0 мас.% барий

Дар асоси натиҷаҳои таҷрибаҳои омӯзиши кинетикаи оксидшавии ҳарорати баланди хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо барий дар ҳолати саҳт ва дар муҳити оксигени фазаи газӣ тағйир дода шудааст, муайян гардид, ки хӯлаҳои дорои 0,5 ва 1,0 мас.% барий дар муқоиса бо намунаҳои камтар ҷавҳаронидашуда (0,05–0,1 мас.%) дорои суръати баландтари оксидшавӣ мебошанд. Ҳамзамон, дар онҳо қимати энергияи самараноки фаъолгардонӣ пасттар ба қайд гирифта мешавад. Ошкор гардид, ки компоненти ҷавҳаркунанда дар ҳудуди 0,05–1,0 мас.% барий, оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминиро андаке зиёд мекунад.

Хулосаи боби чорум

Ҳалли аксар масъалаҳои техникаи муосир ба истифодаи маводе алоқаманд аст, ки ба оксидшавӣ муқовимати баланд дошта бошанд. Барои сохтани маводди нави ба зангзанӣ тобовар ва беҳтар намудани хусусиятҳои зиддизангзании маводҳои мавҷуда, равандҳои ҷавҳаронӣ нақши муҳим мебозанд. Бо назардошти он ки маълумот дар бораи рафтори металлҳо ва хӯлаҳо дар муҳитҳои оксидкунанда аҳамияти калон дорад, зарурати

чамъоварӣ, таҳлил ва ба низом даровардани чунин иттилоот ба таври мукамал бештар эҳсос мегардад.

Дар ин боб натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавӣ, ки ба рафтори ҳӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар муҳити газӣ ва дар ҳароратҳои баланд марбутанд, ҷамъбаст карда шудаанд. Дар асоси натиҷаҳои бадастомада як қатор қонуниятҳои тағйирёбии энергияи самараноки фаъолшавии раванди оксидшавии ин ҳӯлаҳо муайян карда шуданд. Ҳангоми гузариш аз ҳӯлаҳои дорои калсий ба системаҳои бо стронсий ва барий тағйирёфтани коҳиши қимати энергияи самараноки фаъолшавии оксидшавӣ ба назар мерасад.

Дар маҷмӯъ, таҳлилҳои таҷрибавии кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий таҳқиқ шудааст, нишон медиҳанд, ки суръати баландтарини оксидшавӣ ба ҳӯлаи дорои барий рост меояд, дар ҳоле ки камтарин қимат ба намунаи бо калсий ҷавҳаронидашуда хос аст. Ҳӯлаҳои дорои стронсий аз рӯйи ин нишондиҳанда мавқеи миёнаро ишғол мекунанд. Ҳамзамон муайян гардид, ки илова кардани ин унсурҳои ҷавҳаронӣ дар маҷмӯъ ба таври назаррас оксидшавии ҳӯлаи ибтидоиро зиёд намекунад.

Таҳлили муқоисавии хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар ҳолати саҳт имкон дод, ки як қатор ҳулосаҳои муҳим ба даст оварда шаванд. Аз ҷумла:

- муайян гардид, ки раванди оксидшавӣ барои ин ҳӯлаҳо ба қонуни гиперболий наздик буда, суръати миёнаи он тақрибан дар сатҳи $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ қарор дорад;

- собит шуд, ки ҳӯлаи дорои барий нисбат ба ҳӯлаҳои бо калсий ва стронсий тағйирдодашуда босуръаттар оксид мешавад;

- ҳамчунин маълум гардид, ки иловаи миқдори ками калсий, стронсий ва барий (дар ҳудуди 0,05–1,0 мас.%) танҳо ба тағйироти ночизи дараҷаи оксидшавии ҳӯлаи ибтидоӣ оварда мерасонад.

Омузиши рентгенофазавии маҳсулоти оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо калсий, стронсий ва барий нишон дод, ки дар чараёни оксидшавӣ як қатор оксидҳо ва гидроксидҳои зерин ҳосил мешаванд: AlO ; CuO ; $\text{Mg}_{0.67}\text{Al}_{10.33}\text{O}_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; CaAl_2O_4 ; $\text{Ca}_{.950}\text{Mg}_{.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$; Al_2MgO_4 ; $\text{Mg}_{0.36}\text{Al}_{2.44}\text{O}_4$; SrAl_4O_7 ; MgAl_2O_4 ; $\text{SrCuO}_{2.5}$; Al_2O_3 ; $\text{Sr}_{1.81}\text{Cu}_{0.905}\text{O}_{3.4}$; $\text{Sr}_6\text{Cu}_{6.6}\text{Al}_{7.4}$; $\text{SrO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$; Cu_{64}O ; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; CuAlO_2 ; $(\text{Mg}_{0.77}\text{Al}_{0.23})(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$; $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$.

Маълум аст, ки унсурҳои чавҳаркунанда ва омехтаҳои иловагӣ метавонанд ба чараёни кинетикии оксидшавии хӯлаҳо ва инчунин ба сохтору хусусияти қабати оксидӣ таъсири назаррас расонанд. «Ин таъсир пеш аз ҳама бо ҳосиятҳои физикавӣ-химиявии худ унсурҳо ва инчунин бо консентратсияи онҳо дар таркиби хӯла вобаста мебошад. Одатан, афзоиши суръати оксидшавии хӯлаҳоро бо меёри Пиллинг–Бедворс шарҳ медиҳанд, ки он бо таносуби $V_{\text{ок}}/V_{\text{ме}} < 1$, ки дар он $V_{\text{ок}}$ ифода меёбад. Дар ин ҷо $V_{\text{ок}}$ ҳаҷми молекулярии оксид ва $V_{\text{ме}}$ ҳаҷми металли барои ташаккули ҳамин оксид сарфшуда мебошад» [158, с. 122]. Вақте ки ин таносуб аз як хурдтар мешавад, қабати ҳосилшуда зич ва устувор нест, ки дар натиҷа имкони воридшавии оксиген ба сатҳи металл осонтар мегардад ва раванди оксидшавӣ шиддат мегирад.

«Ин ҳолат махсусан дар мавридҳои бештар ба назар мерасад, ки унсурҳои фаъолнокии баланди сатҳӣ бошад, фишори баланди буғ дошта бошад ва бо оксиген тамоюли баланди пайваستшавӣ нишон диҳад. Унсурҳое, ки дорои энергияи озоди ташаккули оксид аз энергияи мувофиқи оксидҳои чӯзҳои асосии хӯла пасттар нестанд, метавонанд ба таркиб ва якпорчагии қабати оксидӣ таъсири ҷиддӣ расонанд. Ба чунин гурӯҳ асосан металлҳои ишқорзаминӣ дохил мешаванд, ки таносуби Пиллинг–Бедворси онҳо аз 1 кам буда, аз ҷиҳати химиявӣ хеле фаъол мебошанд» [158, с. 88].

Дар таҳқиқоти мо муайян гардид, ки оксидҳои калсий, стронсий ва барий, ки дар таркиби маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дохил мешаванд, метавонанд якпорчагии қабати

муҳофизатии оксиди алюминийро вайрон намојанд. Дар натиҷаи ин, дар қабат микроканалҳо ва роҳҳои гузар пайдо мешаванд, ки тавассути онҳо оксигени ҳаво ба осонӣ ба сатҳи металл мерасад. Ин раванд дар маҷмӯъ ба афзоиши суръати оксидшавии хӯла оварда мерасонад.

БОБИ 5. ТАҲҚИҚИ ПОТЕНСИОСТАТИКИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИИ $AlCu_{4,5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНИИ БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

5.1. Таъсири иловаи калсий ба рафтори зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминии $AlCu_{4,5}Mg_1$ нави дюралюминий дар муҳити электролити NaCl

«Дар айнаи замон талабот ба маводди нави конструксионӣ, ки дорои хосиятҳои баланди истифодабарӣ, аз ҷумла муқовимати хуб ба зангзанӣ мебошанд, ба таври назаррас афзоиш ёфтааст. Дар шароити муосир масъалаи зангзании металлҳо ва ҳифзи онҳо аз ин раванд яке аз самтҳои муҳимтарини таҳқиқоти илмӣ-техникӣ ва ҳамзамон иқтисодӣ ба ҳисоб меравад» [131, с. 109]. Мушоҳида мешавад, ки пешрафти як қатор соҳаҳои саноат то андозае аз сабаби ҳанӯз пурра ҳал нашудани масъалаҳои вобаста ба зангзанӣ маҳдуд мегардад. Зарарҳои иқтисодие, ки аз ҳисоби вайроншавии металлҳо ба вуҷуд меоянд, хеле калон буда, аҳаммияти ин масъаларо боз ҳам бештар мекунад. «Аз ин рӯ, талаботи замони муосир ба таҳия ва истифодаи маводҳои нави конструксионӣ, махсусан дар асоси хӯлаҳои алюминий бо иловаҳои хурди унсурҳои чавҳаркунанда, равона шудааст» [158, с. 122]. «Чунин иловаҳо метавонанд сатҳи устувории хӯлаҳоро ба зангзанӣ баланд бардоранд ва онҳоро барои истифода дар шароити душвори корӣ муносибтар гардонанд» [12, с. 155].

Маълум аст, ки ҳар сол як қисми назарраси металлҳои истеҳсолшуда дар натиҷаи зангзанӣ аз байн меравад ва ин талафот тақрибан 10–15%-и ҳаҷми умумии истеҳсолро ташкил медиҳад. Яке аз роҳҳои самараноки кам кардани ин мушкилот баланд бардоштани муқовимати металлҳо ба зангзанӣ мебошад. «Дар ин самт яке аз равишҳои муҳим - ин тағйир додани таркиби хӯла тавассути илова кардани унсурҳои махсуси чавҳаркунанда ба ҳисоб меравад. Чунин унсурҳо метавонанд ба таври маҷмӯӣ ба хусусиятҳои электрохимиявӣ ва рафтори зангзании хӯла таъсир расонанд ва устувории онро дар муҳитҳои хашин беҳтар намоянд» [70; 120].

Дар ин бахши диссертатсия натиҷаҳои таҳқиқи таъсири калсий ҳамчун модификатори сохтор ба рафтори зангзании электрохимиявӣ ва хосиятҳои анодии хӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар муҳити электролити $NaCl$ баррасӣ мешаванд.

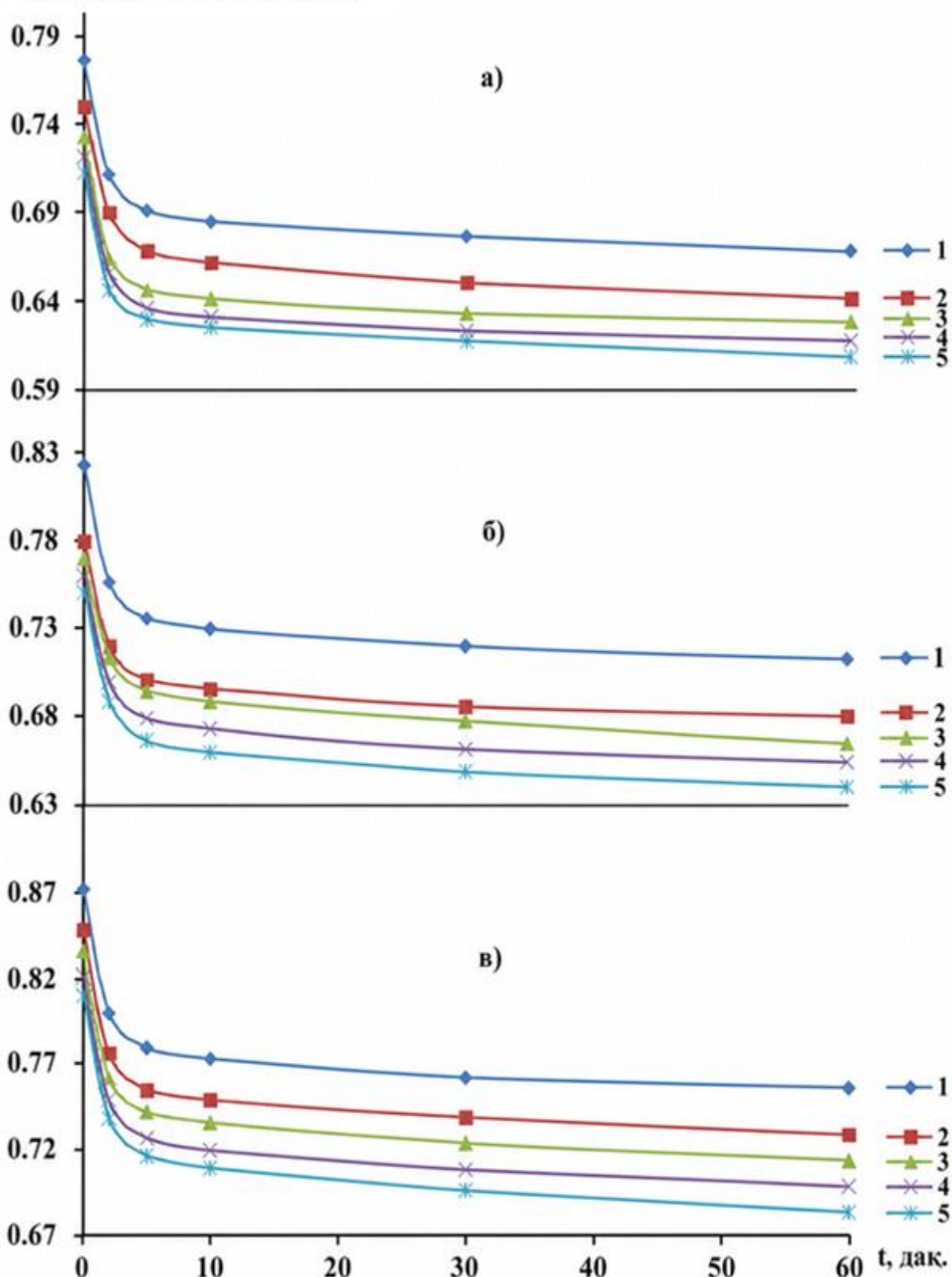
Миқдори калсий дар таркиби хӯла дар ҳудуди 0,05–1,0 мас.% интиҳоб гардида буд. Дар чараёни таҳқиқот, тағйирёбии потенциали зангзании озод дар давоми як соати нигоҳдории намунаҳо дар муҳити $NaCl$ мавриди омузиш қарор гирифт (ҷадвали 5.1).

Натиҷаҳои бадастомада оид ба потенциали зангзании озоди хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи калсий дар муҳити мазкур дар расми 5.1 ва ҷадвали 5.1 пешниҳод шудаанд.

Ҷадвали 5.1. - Вобастагии замони потенциали зангзании озоди (Езанг.оз., В) хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий аз миқдори калсий дар муҳити электролити $NaCl$.

Муҳит NaCl	Микдори калсий дар хӯла	Вақт, дақиқа							
		0,15	0,5	2	5	10	20	40	60
мас. %									
0,03	0,0	0,763	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,740	0,705	0,690	0,668	0,662	0,656	0,646	0,641
	0,1	0,722	0,680	0,665	0,646	0,641	0,637	0,630	0,628
	0,5	0,710	0,670	0,656	0,636	0,631	0,627	0,620	0,617
	1,0	0,700	0,660	0,646	0,630	0,625	0,621	0,613	0,608
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,725	0,716	0,713
	0,05	0,766	0,736	0,720	0,702	0,696	0,690	0,682	0,680
	0,1	0,757	0,728	0,714	0,695	0,689	0,683	0,672	0,665
	0,5	0,749	0,716	0,700	0,679	0,673	0,667	0,658	0,654
	1,0	0,743	0,707	0,689	0,667	0,660	0,654	0,645	0,640
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,837	0,795	0,777	0,756	0,750	0,745	0,736	0,730
	0,1	0,825	0,780	0,763	0,743	0,737	0,731	0,718	0,715
	0,5	0,811	0,769	0,750	0,728	0,721	0,715	0,706	0,700
	1,0	0,800	0,756	0,740	0,718	0,711	0,704	0,692	0,685

Потенсали озоди зангзанй,
В, (элетроди нукрагй-хлоридй)



Расми 5.1. – Вобастагии замони потенциал зангзани озоди хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий (1) бо калсий, мас. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5), дар муҳити электролитй 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0% (в) NaCl

Тавре ки дар чадвали 5.2 дида мешавад, натиҷаҳои таҳқиқоти зангзании электрохимиявии хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо калсий дар муҳити $NaCl$ (0,03; 0,3 ва 3,0 мас.%) ҷамъбаст шудаанд. Ин натиҷаҳо имкон медиҳанд таъсири тағйирёбии муҳити электролитӣ ба рафтори зангзании хӯларо арзёбӣ намудан осонтар гардад.

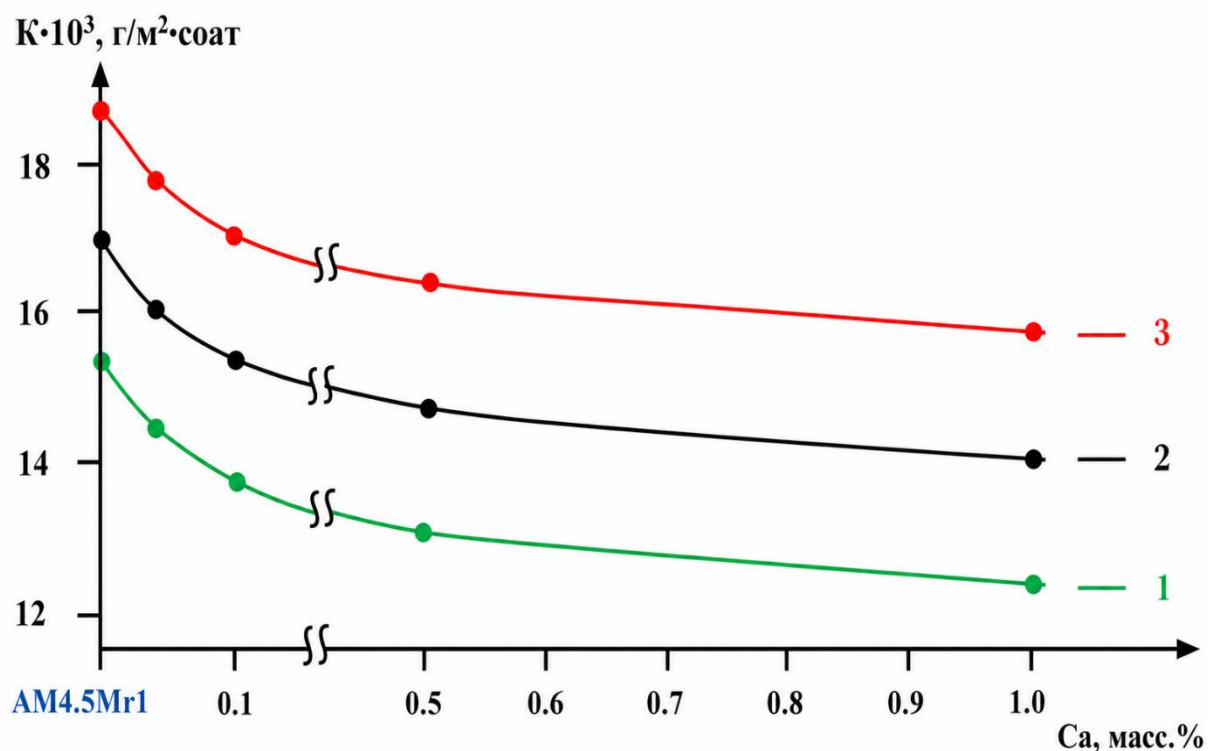
Чадвали 5.2. – Хусусиятҳои зангзании электрохимиявии хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи калсий дар муҳити электролитии $NaCl$.

Муҳит NaCl	Микдори калсий дар хӯла	Потенсиалҳои электрохимиявии, В (х.с.э.)				Суръати зангзании хӯлаҳо	
		−E _{св.кор.}	−E _{кор.}	−E _{п.о.}	−E _{рп.}	I _{кор.} · 10 ² , А/м ²	K · 10 ³ , г/м ² ·ч
мас. %							
0,03	0,0	0.668	1.090	0.602	0.680	4.6	15.41
	0,05	0.640	1.061	0.581	0.657	4.3	14.40
	0,1	0.628	1.050	0.570	0.648	4.1	13.73
	0,5	0.617	1.041	0.561	0.639	3.9	13.06
	1,0	0.608	1.030	0.550	0.630	3.7	12.23
0,30	0,0	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0,05	0.680	1.090	0.614	0.691	4.8	16.08
	0,1	0.665	1.079	0.605	0.681	4.6	15.41
	0,5	0.654	1.069	0.594	0.670	4.4	14.74
	1,0	0.640	1.060	0.585	0.660	4.2	14.07
3,0	0,0	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0,05	0.730	1.140	0.657	0.704	5.3	17.75
	0,1	0.715	1.130	0.646	0.695	5.1	17.08
	0,5	0.700	1.121	0.636	0.684	4.9	16.41
	1,0	0.685	1.110	0.625	0.675	4.7	15.74

Натиҷаҳои бадастомада нишон медиҳанд, ки бо афзоиш ёфтани миқдори калсий дар таркиби хӯлаи алюминийи навъи дюралюмин $AlCu_{4,5}Mg_1$, потенциалҳои марбут ба зангзанӣ, ҳосилшавии питтинг ва раванди репассиватсия тадриҷан ба самти қиматҳои мусбат ҳаракат мекунад. Дар баробари ин, таъсири ионҳои хлорид баръакс рафтор намуда, ин нишондиҳандаҳо ба самти қиматҳои манфӣ коҳиш медиҳад. Ҳамзамон муайян гардид, ки илова намудани калсий ба таркиби хӯла метавонад

суръати умумии зангзаниро тақрибан 16–20% паст намояд, ки ин ба беҳтар шудани устувории электрохимиявии мавод ишора мекунад.

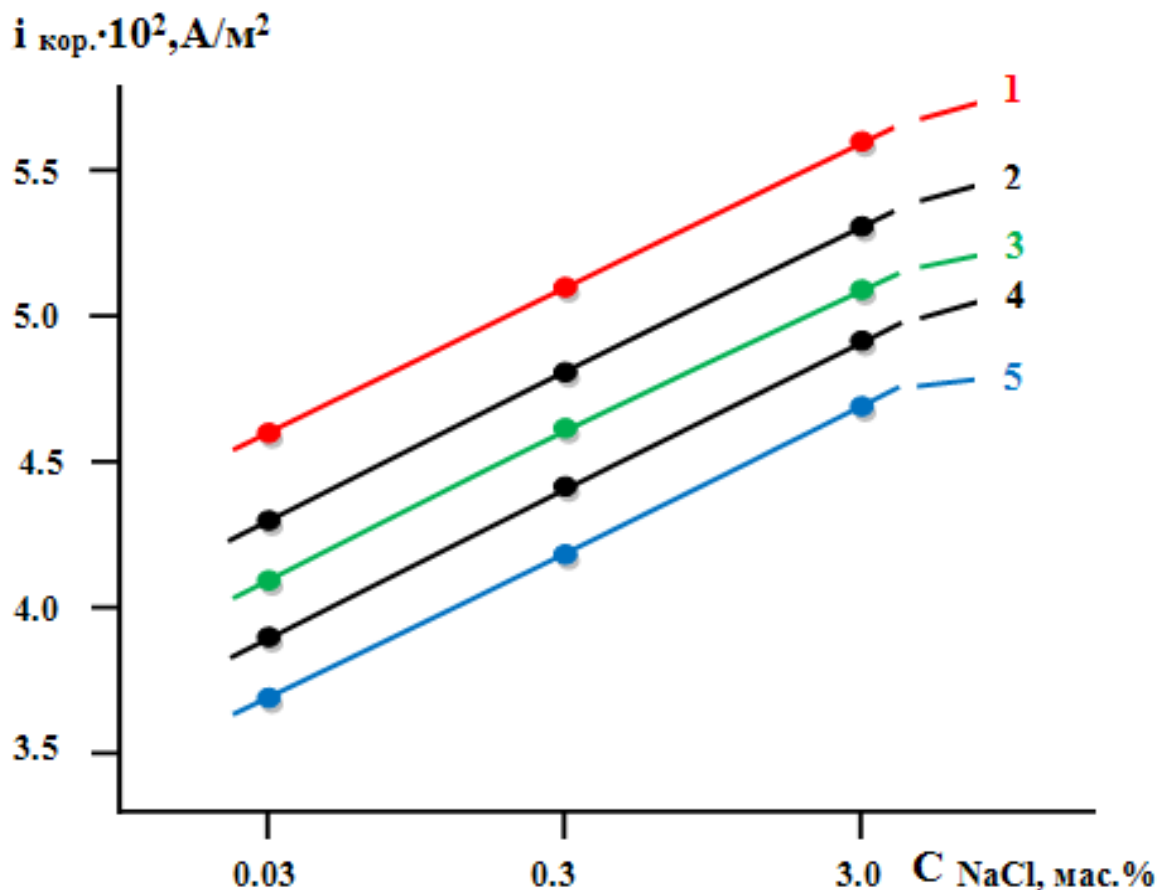
Дар расми 5.2 вобастагии суръати зангзании хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ аз миқдори калсий дар муҳитҳои NaCl бо консентратсияҳои гуногун ба таври графикӣ нишон дода шудааст. Таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки дар ҳамаи ҳолатҳои муҳити санҷидашуда, ворид намудани калсий ба таркиби хӯла ба таври пайдарпай ба коҳиш ёфтани суръати зангзании хӯлаи ибтидоӣ мусоидат мекунад ва устувории онро дар муҳитҳои хлориддор беҳтар месозад.



Расми 5.2. – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи калсий дар муҳити NaCl : 0,03 (1); 0,3 (2); 3,0 (3) мас.%.

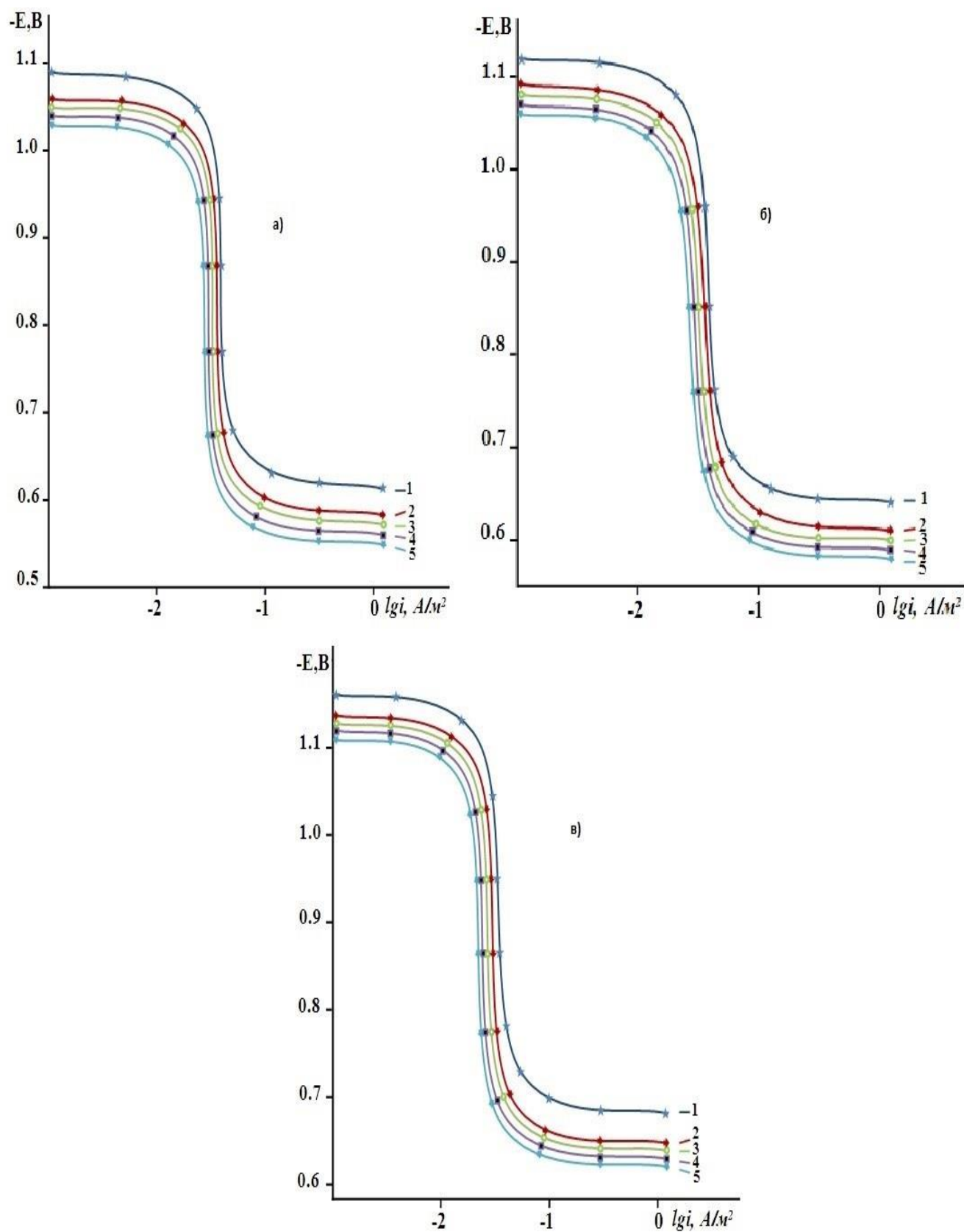
Тавре ки дар расми 5.3 дида мешавад, дар он тағйирёбии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминийи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо калсий инъикос ёфтааст. Аз натиҷаҳо бармеояд, ки ворид намудани калсий ба таркиби хӯла ба коҳиши зичии ҷараёни зангзанӣ мусоидат мекунад, ки ин нишонаи беҳтар шудани муқовимати электрохимиявии мавод мебошад. Таҳлил нишон дод, ки зиёд шудани консентратсияи ионҳои хлорид дар муҳити NaCl ба афзоиши

зичии чараёни зангзанӣ дар ҳамаи намунаҳо оварда мерасонад, новобаста аз мавҷудияти калсий дар таркиби онҳо. Ин ҳолат нишон медиҳад, ки ионҳои хлорид таъсири фаъол дошта, раванди вайроншавии қабати муҳофизатиро шиддат мебахшанд.



Расми 5.3. – Вобастагии зичии чараёни зангзании хӯлаи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁ аз консентратсияи NaCl: (1) – хӯлаи ибтидоӣ; (2–5) – бо иловаи калсий (0,01; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.%).

Дар расми 5.3 шохаҳои анодии қатъхатаҳои потенциодинамикии таҳқиқи хӯлаҳо пешниҳод шудаанд. Мушоҳида мегардад, ки бо афзудани консентратсияи калсий, зичии чараёни зангзании хӯлаи ибтидоӣ кам гардида, потенциалҳои зангзании озод ($E_{з.оз.}$) ва ҳосилшавии питтинг ($E_{п.х.}$) зиёд мешавад.



Расми 5.4. – Качхатаҳои потенциодинамикии анодии поляризатсионӣ (2 мВ/с) барои хӯлаи дюралюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар муҳити NaCl : 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0% (в). (1) – хӯлаи ибтидоӣ; (2–5) – бо иловаи калсий (0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.%).

Агар, ба миқдори 1,0 мас.% калсийро ба хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий дар муҳити электролитии NaCl илова кунем устувории онро ба зангзанӣ баланд мекунад. Афзудани минбаъдаи миқдори калсий дар хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, боиси якбора паст шудани устувории электрод дар натиҷаи зангзании байникристаллӣ мегардад.

Дар мавриди хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий чавҳаронида шудааст, муайян гардид, ки бинобар маҳлулияти баланди калсий дар маҳлули саҳти алюминий бо мис ва магний, муқовимати ибтидоии он ба зангзанӣ дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl бо афзоиши миқдори калсий то 1 мас. % тадриҷан коҳиш меёбад. Ҳамзамон муайян гардид, ки ҳангоми илова кардани то 1,0 мас.% калсий, суръати зангзании хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, новобаста аз таркиби электролити NaCl , тақрибан 10–15 % кам мешавад.

Таҳлил нишон дод, ки дар хӯлаи бо калсий ғанигардонидашуда кам шудани консентратсияи ионҳои хлорид дар электролит то 100 маротиба метавонад суръати зангзаниро қариб то 70% коҳиш диҳад. Ҳамзамон, потенциалҳои электродӣ ба самти қиматҳои мусбат тағйир меёбанд (ҷадвали 5.2).

5.2. Таҳқиқи потенциостатикӣ хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо стронсий, дар муҳити электролити NaCl

Дар ин қисми диссертатсия натиҷаҳои таҳқиқоти потенциостатикӣ оид ба хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий, ки бо стронсий чавҳаронида шудааст, дар муҳити электролити NaCl оварда шудаанд. Санҷишҳо ҳангоми суръати тағйири потенциал 2 мВ/с гузаронида шуданд. Миқдори стронсий дар таркиби хӯла аз 0,05 то 1,0 мас.% тағйир меёфт. Таҷрибаҳо дар маҳлулҳои NaCl бо консентратсияҳои 0,03; 0,3 ва 3,0 мас.% анҷом дода шуданд.

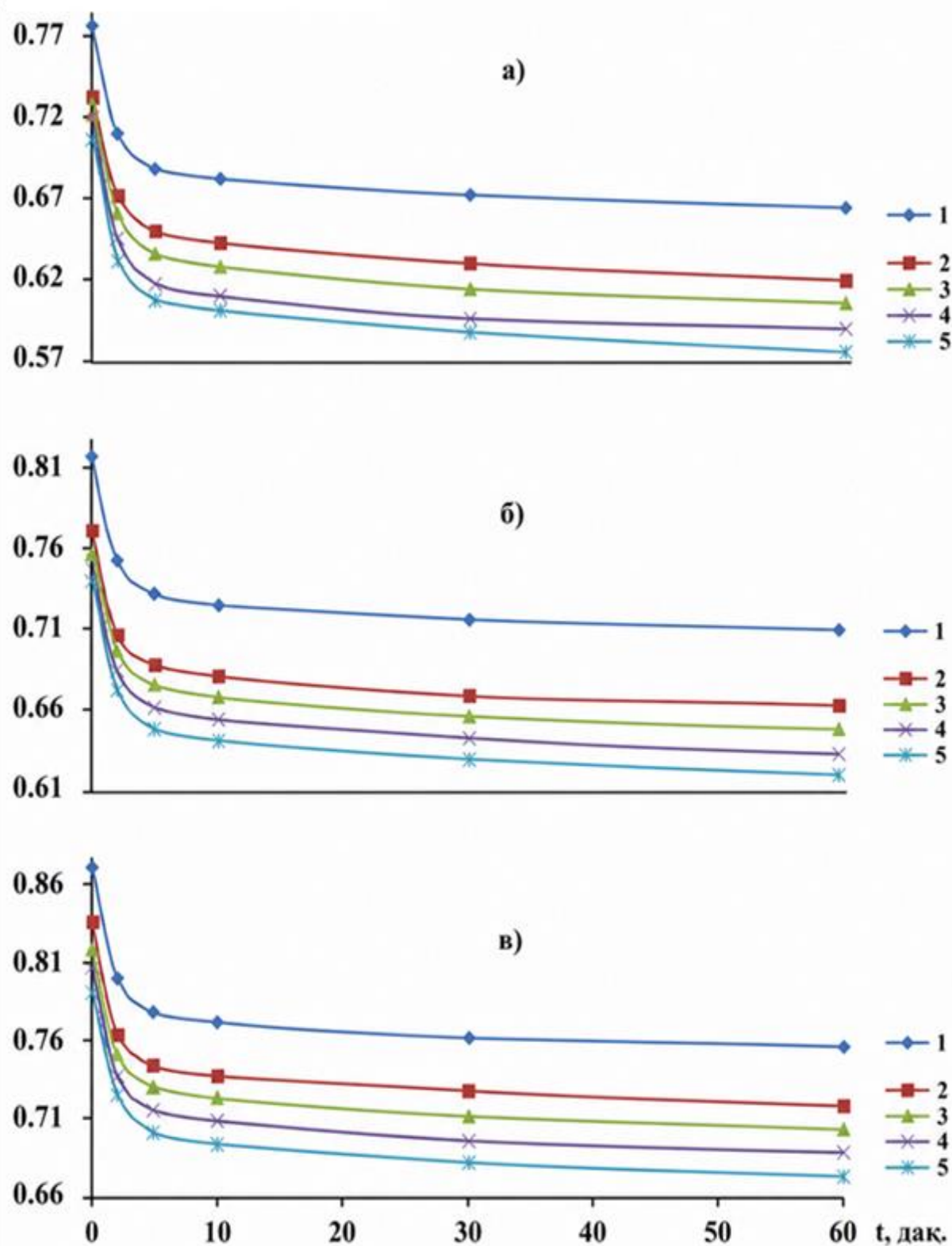
Дар рафти таҳқиқоти потенциостатикӣ муайян карда шуд, ки потенциали зангзании озод бо гузашти вақт тағйир меёбад. Ин вобастагӣ дар давоми як

соати нигоҳдории намунаҳо дар муҳити электролити NaCl ба таври муфассал мушоҳида карда шуд (ҷадвали 5.3).

Ҷадвали 5.3. – Вобастагии замонии потенциали зангзании озод (Езанг. оз., В) барои хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий аз миқдори стронсий дар муҳити электролити NaCl.

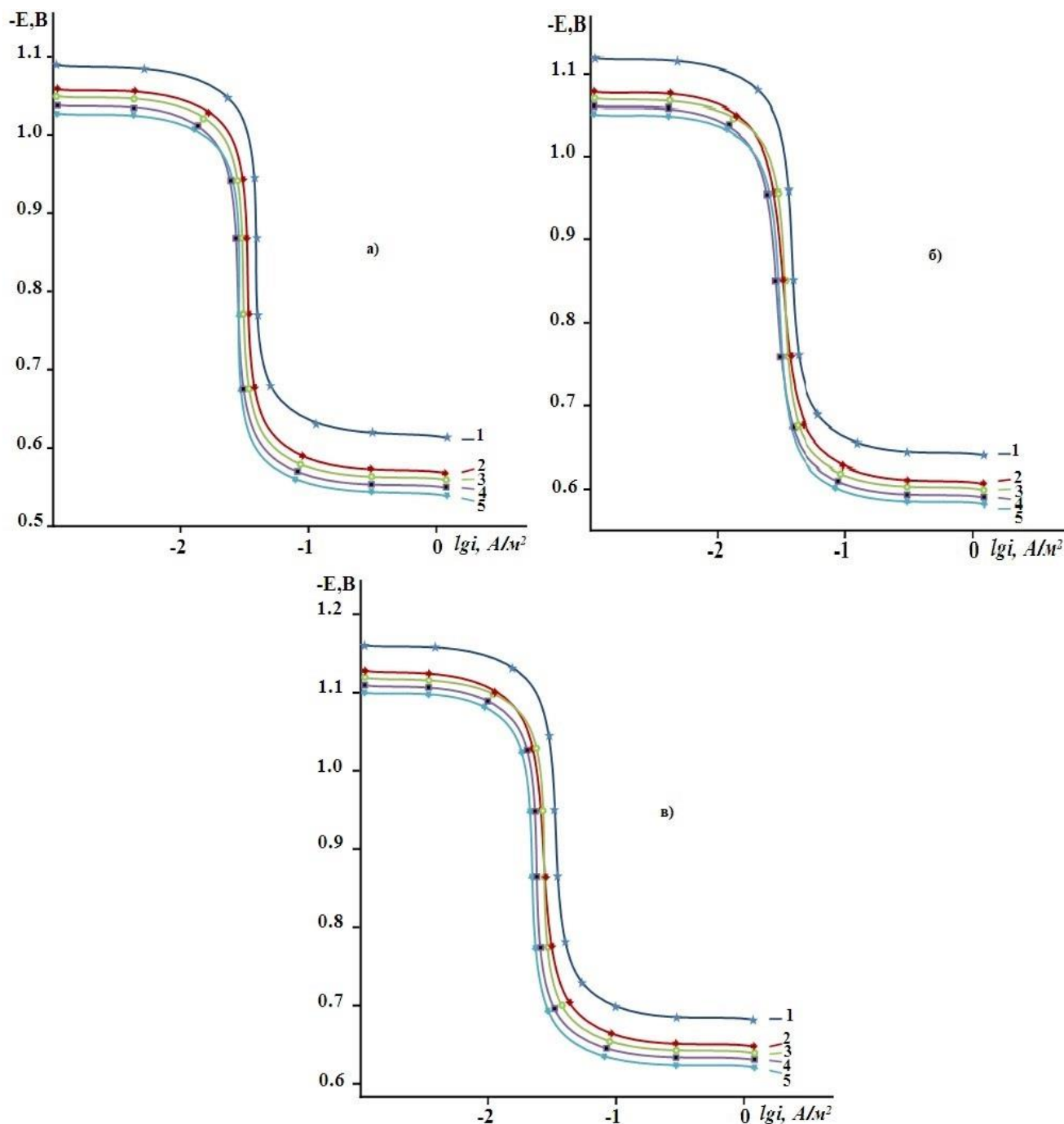
Муҳит NaCl	Микдори стронсий дар хӯла	Вақт, дақиқа							
		1/4	1/2	2	5	10	20	40	60
мас. %									
0,03	0,0	0,763	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,724	0,691	0,675	0,654	0,648	0,642	0,631	0,625
	0,1	0,723	0,683	0,665	0,641	0,634	0,627	0,615	0,612
	0,5	0,712	0,672	0,650	0,624	0,617	0,610	0,600	0,597
	1,0	0,697	0,655	0,638	0,615	0,609	0,602	0,590	0,583
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,725	0,716	0,713
	0,05	0,766	0,727	0,710	0,692	0,686	0,680	0,670	0,668
	0,1	0,748	0,718	0,701	0,680	0,674	0,668	0,659	0,654
	0,5	0,740	0,706	0,689	0,667	0,660	0,654	0,643	0,639
	1,0	0,735	0,697	0,678	0,654	0,647	0,641	0,630	0,625
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,828	0,785	0,767	0,746	0,740	0,735	0,726	0,720
	0,1	0,806	0,770	0,754	0,733	0,726	0,720	0,708	0,705
	0,5	0,795	0,758	0,740	0,718	0,711	0,705	0,695	0,691
	1,0	0,782	0,744	0,728	0,704	0,697	0,690	0,680	0,676

Потенциали озоди зангзанӣ,
В, (электроди нуқрагӣ-хлоридӣ)



Расми 5.5. – Вобастагии замони потенциали зангзании озод (Езанг.озод., В) барои хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ дар муҳити NaCl: 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0% (в). (1) – хӯлаи ибтидоӣ; (2–5) – бо иловаи стронсий (0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.%).

Натиҷаҳои таҳқиқот дар расмҳои 5.5 – 5.8 ва ҷадвали 5.4 пешниҳод гандидаанд. Тавре ки аз расм бармеояд, ҳангоми нигоҳдории намунаҳои ҳӯлаҳо дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияҳои 0,03; 0,3 ва 3,0 %, потенциали зангзании озод ($E_{\text{св. кор.}}$) ба самти қиматҳои мусбат тағйир меёбад.



Расми 5.6. – Қаҷхатаҳои потенциодинамикии анодии поляризатсионӣ (2 мВ/с) барои ҳӯлаи дюралюминий AlCu4,5Mg1 дар муҳити NaCl: 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0% (в). (1) – ҳӯлаи ибтидоӣ; (2–5) – бо иловаи стронсий (0,05; 0,1; 0,5 ва 1,0 мас.%).

Дар чадвали 5.4 нишондиҳандаҳои раванди зангзании анодии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо иловаи стронсий оварда шудаанд. Аз натиҷаҳо бармеояд, ки ворид кардани стронсий боиси ба самти киматҳои мусбат гузаштани потенциалҳои зангзанӣ, ҳосилшавии питинг ва инчунин потенциали репассиватсия мегардад. Ин тамоюл дар ҳамаи муҳитҳои санҷидашуда бо концентратсияҳои 0,03; 0,3 ва 3,0 %-и маҳлули $NaCl$ мушоҳида шудааст, ки нишон медиҳад рафтори электрохимиявии хӯла дар шароити гуногуни муҳити зангзананда якхела тағйир меёбад.

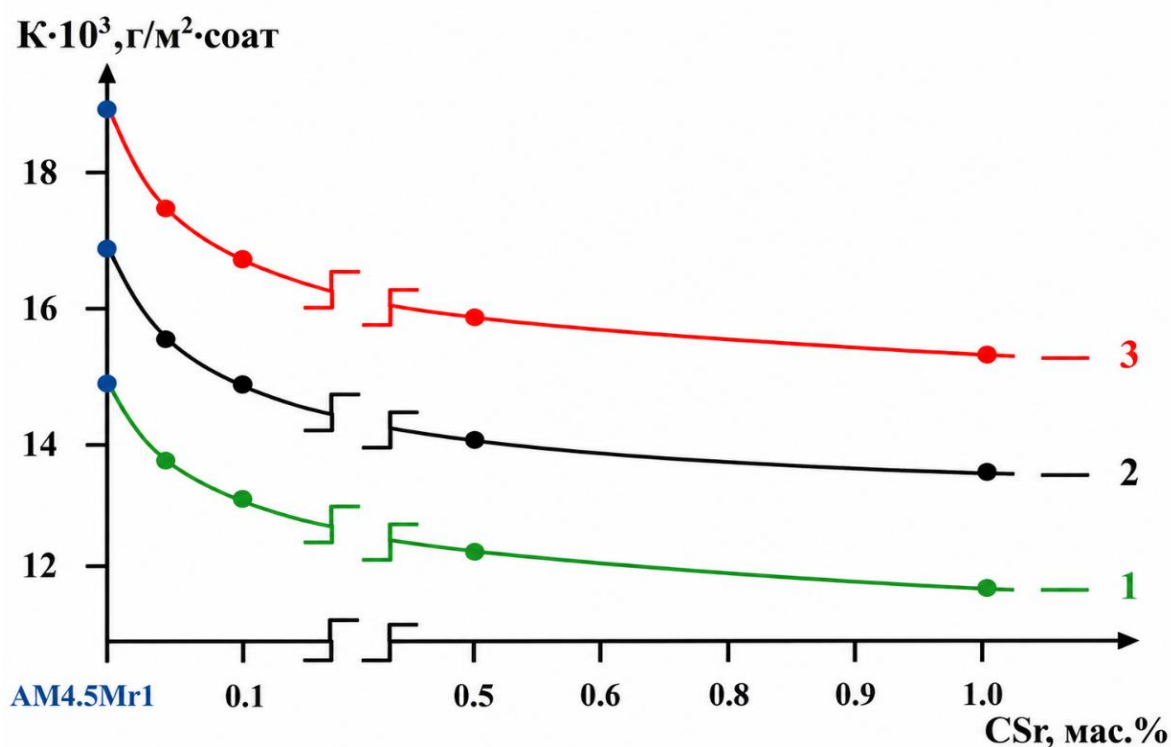
Чадвали 5.4. Хусусиятҳои зангзании электрохимиявии хӯлаи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи стронсий дар муҳити электролитии $NaCl$.

Муҳит NaCl	Микдори стронсий дар хӯла	Потенсиалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{рп.}$	$I_{кор.} \cdot 10^2$, А/м²	$K \cdot 10^3$, г/м²·ч
мас. %							
0,03	0,0	0.668	1.090	0.602	0.680	4.6	15.41
	0,05	0.625	1.059	0.570	0.650	4.1	13.72
	0,1	0.612	1.050	0.559	0.641	3.9	13.06
	0,5	0.597	1.039	0.550	0.631	3.7	12.39
	1,0	0.583	1.030	0.541	0.622	3.5	11.72
0,3	0,0	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0,05	0.668	1.080	0.609	0.680	4.6	15.41
	0,1	0.654	1.070	0.600	0.671	4.4	14.74
	0,5	0.639	1.060	0.589	0.660	4.2	14.07
	1,0	0.625	1.051	0.580	0.651	4.0	13.40
3,0	0,0	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0,05	0.720	1.130	0.650	0.700	5.1	17.08
	0,1	0.705	1.120	0.640	0.690	4.9	16.41
	0,5	0.691	1.110	0.630	0.680	4.7	15.74
	1,0	0.676	1.100	0.620	0.670	4.5	15.07

Бо афзоиши миқдори стронсий дар таркиби хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, суръати зангзанӣ тадриҷан коҳиш ёфта,

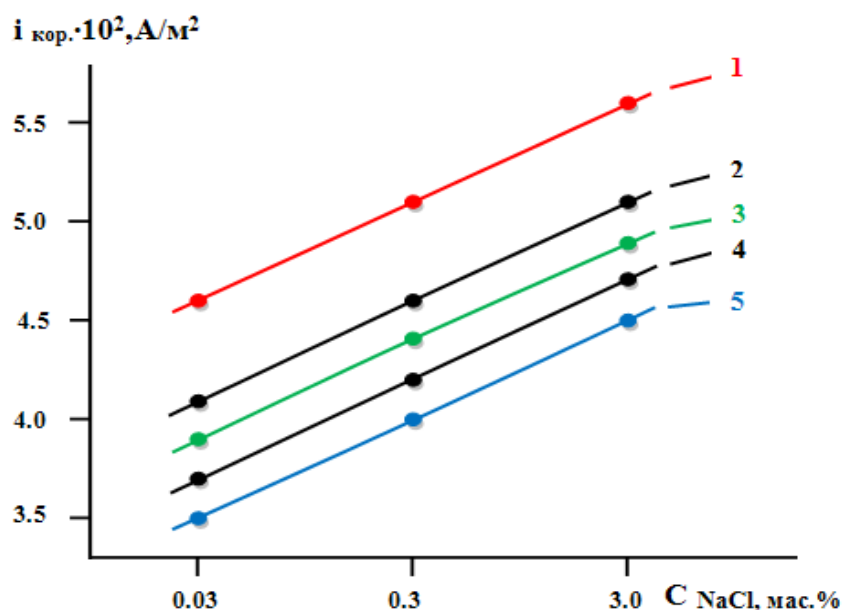
дар маҷмӯъ то 20–23 % паст мегардад. «Ин тамоюл дар ҳамаи се муҳити таҳқиқшуда низ мушоҳида шудааст» [158] (расми 5.7). «Коҳиши суръати зангзанӣ ҳамзамон бо ба самти қиматҳои мусбат гузаштани қатъаҳои анодии потенциодинамикӣ ба амал меояд» [158] (расми 5.8), ки ин ду раванд бо ҳам вобаста мебошанд. Аз як тараф, зиёд шудани консентратсияи ионҳои хлорид дар маҳлули NaCl, новобаста аз таркиби ҳӯла, боиси афзоиши зичии ҷараёни зангзанӣ мегардад (ниг. расми 5.9).

Дар маҷмӯъ, натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки зиёд шудани миқдори стронсий дар ҳӯла ба паст шудани суръати зангзанӣ мусоидат мекунад. Ҳамзамон, потенциали зангзанӣ, оғози питинг ва репассиватсия ба самти қиматҳои мусбат тағйир меёбанд.



Расми 5.7. – Вобастагии суръати зангзании ҳӯлаи алюминии AlCu_{4,5}Mg1 навъи дюралюминий бо стронсий бо мас. %: 0,03 (1); 0,3 (2); 3,0 (3) дар муҳити электролити NaCl.

Тавре ки дар расми 5.8 дида мешавад, зичии ҷараёни анодии зангзании ҳӯлаи AlCu_{4,5}Mg1 аз консентратсияи электролити NaCl вобаста буда, бо тағйир ёфтани он дигар мешавад.



Расми 5.8. – Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 (1) бо стронсий, мас. %: 0,01 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) аз консентратсияи электролити NaCl.

Илова намудани стронсий ба таркиби хӯла то 1,0 мас.% дар муҳити мавриди омузиш ба беҳтар шудани муқовимати он ба зангзанӣ мусоидат мекунад. Мушоҳидаҳо нишон медиҳанд, ки дар хӯлаи AlCu4,5Mg1 бо стронсий, ба тӯфайли ҳалшавии нисбатан хуби он дар маҳлули саҳти алюминий, зиёд шудани миқдори стронсий то 1 мас.% дар муҳити NaCl ба беҳтар шудани устувории хӯла нисбат ба зангзанӣ оварда мерасонад.

5.3. Таъсири иловаи барий ба устувории анодии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий

Муҳофизати металлҳо аз зангзанӣ имрӯз яке аз масъалаҳои муҳимми ҳамаи илмӣ ва ҳамаи иқтисодӣ ба ҳисоб меравад. Зангзанӣ раванди табиест, ки дар натиҷаи таъсири муҳити атроф ба металл ба амал омада, боиси вайроншавӣ ва коҳиши ҳосиятҳои кории он мегардад. Ин раванд дар соҳаҳои гуногун - аз саноати мошинсозӣ то сохтмон ва энергетика - зарари ҷиддӣ мерасонад. Тибқи ҳисобҳо, ҳар сол дар натиҷаи зангзанӣ миқдори зиёди металлҳо талаф меёбад, ки ин тақрибан ба 10–12% ҳаҷми умумии истеҳсоли ҷаҳонии металл баробар аст. Ин талафот на танҳо боиси зарари мустақими иқтисодӣ мегардад, балки инчунин хароҷоти иловагӣ барои таъмир, иваз

намудани таҷҳизот ва татбиқи усулҳои муҳофизатиро ба вучуд меорад. Аз ин рӯ, таҳқиқ ва коркарди усулҳои самараноки пешгирии зангзанӣ, инчунин баланд бардоштани устувории маводҳо ба муҳити ҳашин, яке аз самтҳои афзалиятноки илми муосир мебошад.

Масъалаи мубориза бо зангзании металлҳо то имрӯз дар бисёр корхонаҳои саноатӣ ҳалли пурра наёфта, ҳамоно ҳамчун яке аз омилҳои маҳдудкунандаи пешрафти техникӣ боқӣ мемонад. Дар амал зангзанӣ на танҳо ба кам шудани мӯҳлати хизмати таҷҳизот меорад, балки боиси талафоти ҷиддии моддӣ ва зиёд шудани хароҷоти истеҳсолӣ низ мегардад. Аз ин рӯ, аҳамияти ин масъала сол аз сол бештар эҳсос мешавад.

Ин мушкилот махсусан барои кишварҳое, ки дорои захираҳои ғании металлӣ мебошанд, муҳим аст, зеро талабот ба маводҳои устувор ва боэътимод пайваста афзоиш меёбад. Дар чунин шароит саноат ба маводҳое эҳтиёҷ дорад, ки на танҳо устувории механикӣ баланд дошта бошанд, балки дар муҳитҳои ҳашин, ҳароратҳои баланд ва фишорҳои зиёд низ қобилияти кори дарозмуддатро нигоҳ доранд.

Аммо таҷриба нишон медиҳад, ки маҳз дар чунин шароит равандҳои зангзанӣ ғаёлотар мегарданд. Тарқишҳои фишорӣ, зангзании байнибулӯрӣ ва питтинг метавонанд ба вайроншавии бармаҳали конструкцияҳо оварда расонанд ва талафоти маводро ба таври назаррас зиёд намоянд.

Бо дарназардошти ин, дар амалияи муосир барои ҳифзи металлҳо ва ҳӯлаҳо аз таъсири зангзанӣ усулҳои гуногун, аз тағйир додани таркиби ҳӯла то истифодаи технологияҳои муҳофизатӣ васеъ истифода бурда мешаванд. Ҷустуҷӯи роҳҳои самараноки паст кардани суръати ин раванд ва баланд бардоштани устувории зангзанӣ яке аз самтҳои муҳими тадқиқоти илмӣ боқӣ мемонад. Ин усулҳо вобаста ба хусусияти муҳити корӣ, навъи зангзанӣ ва шароити амалиётӣ интихоб карда мешаванд ва ҳар кадоме самаранокии худро дар шароити муайян нишон медиҳад.

Яке аз усулҳои самаранок ва дар амалия васеъ истифодашавандаи баланд бардоштани устувории металлҳо ва ҳулаҳо ба зангзанӣ - ин ҷавҳаронӣ мебошад. Ин раванд имконият медиҳад, ки бо роҳи ворид кардани миқдори муайяни элементҳои кимиёвӣ ба таркиби асосии металл, сохтор ва хосиятҳои электрохимиявии он тағйир дода шаванд ва дар натиҷа муқовимат ба таъсири муҳити зангзананда зиёд гардад.

Ҳангоми ҷавҳаронӣ ба таркиби металл ё ҳула элементҳои илова карда мешаванд, ки метавонанд раванди анодию катодӣ, ташаккули қабати муҳофизатӣ ва оксидиро беҳтар намуда, суръати умумии зангзаниро коҳиш диҳанд. Ин усул на танҳо устувории маводро зиёд мекунад, балки инчунин умри кори онро дар шароити муҳитҳои хашин, аз ҷумла маҳлулҳои намакдор ва муҳитҳои агрессивӣ, ба таври назаррас дароз менамояд.

Дар ин замина, барӣ яке аз элементҳои ояндадори ҷавҳаронӣ ба шумор меравад. Илова кардани он ба таркиби ҳулаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ метавонад боиси тағйирёбии сохтори дохилии ҳула, беҳтар шудани ташаккули қабатҳои муҳофизатӣ дар сатҳи металл ва коҳиши фаъолшавии нуқтаҳои анодии маҳаллӣ гардад. Дар натиҷа, суръати раванди зангзанӣ кам шуда, устувории умумии ҳула дар муҳитҳои коррозсионӣ баланд мешавад. Аз ин рӯ, истифодаи барӣ ҳамчун элементҳои ҷавҳаронӣ на танҳо аз нуқтаи назари илмӣ ҷолиб аст, балки инчунин метавонад дар таҳияи ҳулаҳои алюминийи нав бо хосиятҳои беҳтари зиддизангзанӣ аҳамияти амалӣ дошта бошад.

Хусусиятҳои зангзанӣ ва рафтори электрохимиявии ҳулаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи барӣ дар муҳити электролити $NaCl$ мавриди таҳқиқ қарор гирифтанд. Ин муҳит ҳамчун муҳити моделии шароити баҳрӣ ба ҳисоб меравад ва барои арзёбии устувории мавод дар шароити хашини зангзананда истифода мешавад.

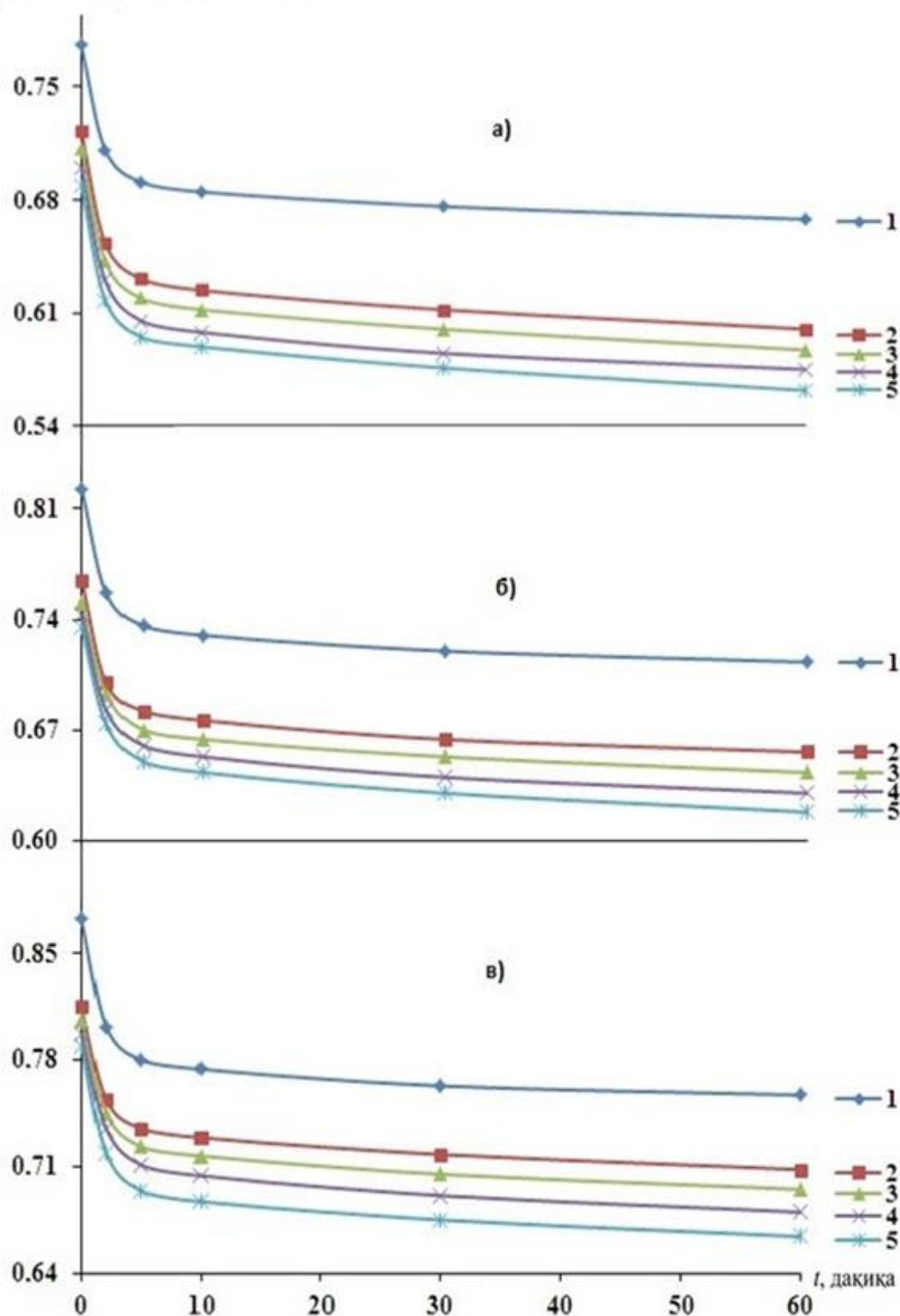
Дар ҷараёни таҳқиқ муайян карда шуд, ки потенциали зангзании озод дар муҳити $NaCl$ бо гузашти вақт тағйир меёбад. Барои ин, рафтори он дар

давоми як соати нигоҳдории намунаҳо таҳлил гардида, натиҷаҳо дар ҷадвали 5.5 оварда шудаанд. Ин нишондиҳанда имкон медиҳад, ки динамикаи устуворшавии сатҳи хӯла дар муҳити зангзананда ва раванди ташаккули қабати муҳофизатӣ арзёбӣ карда шавад. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки ҳам дар хӯлаи ибтидоӣ ва ҳам дар намунаҳои бо барий тағйирдодашуда, новобаста аз давомнокии вақт, дар марҳалаи аввали тамос бо муҳит потенциали зангзании озод ба самти қиматҳои мусбат майл мекунад. Ин ҳолат ба ғаёлшавии раванди пасившавии сатҳи хӯла ва ташаккули қабати оксидӣ дар оғози тамос бо электролит алоқаманд аст.

Ҷадвал 5.5. Вобастагии замонии потенциали зангзании озоди (Екор.озод, В) хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий аз миқдори барий дар муҳити электролити $NaCl$.

Муҳит NaCl	Микдори барий дар хӯла	Вақт, дақиқа							
		1/4	1/2	2	5	10	20	40	60
мас.%									
0,03	0,0	0,763	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,711	0,670	0,653	0,631	0,624	0,618	0,607	0,600
	0,1	0,700	0,659	0,642	0,619	0,612	0,606	0,595	0,587
	0,5	0,689	0,648	0,630	0,605	0,598	0,591	0,580	0,575
	1,0	0,677	0,636	0,618	0,595	0,589	0,582	0,570	0,562
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,725	0,716	0,713
	0,05	0,756	0,717	0,700	0,682	0,676	0,670	0,660	0,656
	0,1	0,742	0,710	0,693	0,670	0,664	0,658	0,649	0,643
	0,5	0,735	0,700	0,683	0,660	0,653	0,646	0,635	0,630
	1,0	0,726	0,690	0,674	0,650	0,643	0,636	0,625	0,618
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,805	0,770	0,754	0,735	0,729	0,723	0,714	0,708
	0,1	0,795	0,761	0,745	0,723	0,717	0,711	0,700	0,695
	0,5	0,788	0,752	0,735	0,711	0,704	0,697	0,686	0,680
	1,0	0,780	0,740	0,719	0,694	0,687	0,681	0,670	0,664

Потенциали озоди зангзанӣ,
В, (электроди нуқрагӣ-хлоридӣ)



Расми 5.9. – Вобастагии замони потенциали зангзании озоди (Екор.озод., В) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий (1) дорои барий, мас. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияҳои: 0,03 % (а), 0,3 % (б) ва 3,0 % (в)

Ҳамзамон, тавре ки аз расми 5.9 ва ҷадвали 5.5 бармеояд, дар онҳо натиҷаҳои таҳқиқи потенциали зангзании озоди ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо барий дар се муҳити $NaCl$ инъикос ёфтаанд. Таҳлилҳо нишон медиҳанд, ки барий ба рафтори электрохимиявии ҳӯла таъсир расонида, раванди устуворшавии потенциал ва хусусиятҳои муҳофизатии сатҳро дар муҳити зангзананда тағйир медиҳад.

Нишондиҳандаҳои зангзанӣ ва параметрҳои электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар муҳити $NaCl$ дар ҷадвали 5.6 пешниҳод шудаанд. Аз таҳлили натиҷаҳо бармеояд, ки бо зиёд шудани миқдори барий дар таркиби ҳӯла, потенциалҳои асосӣ, аз ҷумла потенциали зангзанӣ, оғози питинг ва репассиватсия ба самти қиматҳои мусбат тағйир меёбанд.

Ин тамоюл нишон медиҳад, ки ҷавҳаронидан бо барий ба беҳтар шудани устувории электрохимиявии ҳӯла ва баланд шудани муқовимати он ба зангзании маҳаллӣ дар муҳити $NaCl$ мусоидат мекунад.

Вобастагии мазкур дар ҳама муҳитҳои мавриди таҳқиқ, $NaCl$ -и 0,03; 0,3 ва 3,0 Ҷоизи ба назар мерасад. Иловаи барий тақрибан 23-28% суръати зангзании ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминиро дар муҳитҳои мавриди таҳқиқ коҳиш медиҳад. Бо зиёд шудани миқдори барий дар таркиби ҳӯла то 1,0 мас.%, суръати зангзании ҳӯлаи ибтидоӣ тадричан коҳиш меёбад. Аз таҳлили маълумот бармеояд, ки афзоиши консентратсияи ионҳои хлорид дар электролити $NaCl$ ба фаъол гардидани раванди зангзанӣ оварда мерасонад ва суръати онро зиёд мекунад. Дар баробари ин, тамоми потенциалҳои электрохимиявӣ ба самти қиматҳои манфӣ ҷойиваз мешаванд.

Дар расми 5.10 нишон дода шудааст, ки суръати зангзании ҳӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо тағйирёбии миқдори барий ҷӣ гуна дигар мешавад. Аз натиҷаҳои пешниҳодшуда бармеояд, ки бо зиёд шудани ҳиссаи барий дар таркиби ҳӯла, суръати зангзании намунаи ибтидоӣ дар ҳар се муҳити таҳқиқшаванда мунтазам ва якнавохт (монотонӣ) коҳиш меёбад. Ин тамоюл гувоҳӣ медиҳад, ки илова намудани барий ба таркиби

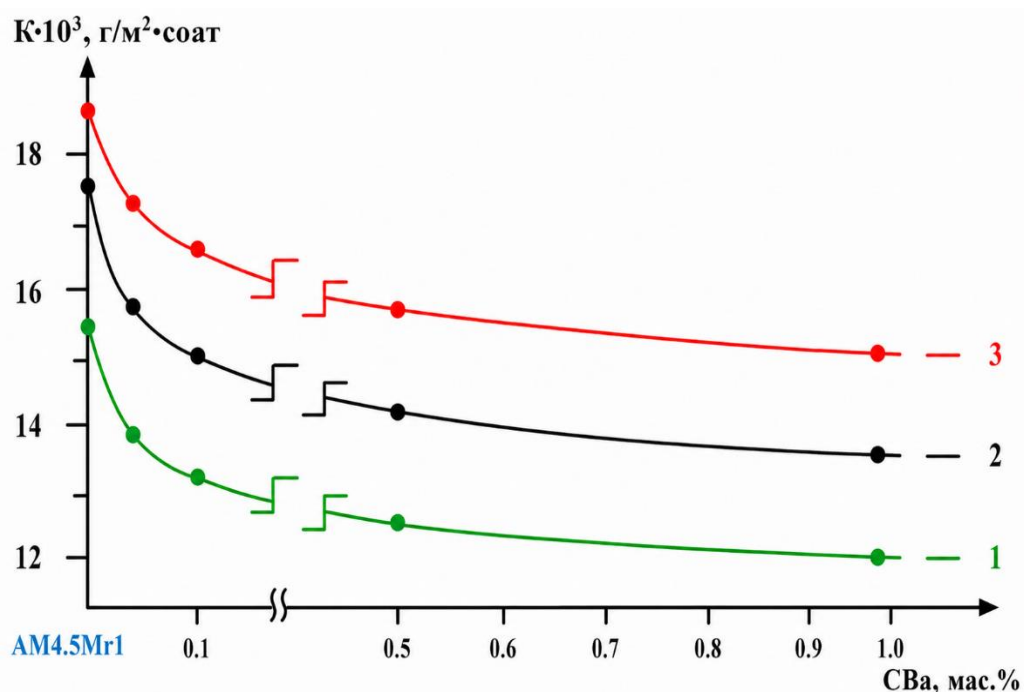
хӯла метавонад таъсири мусбат ба устувории зидди зангзанӣ дошта бошад. Эҳтимол меравад, ки барий бо тағйир додани сохтори дохилии хӯла, ташаккули фазаҳои устувортар ё коҳиш додани нуктаҳои фаъол барои оғози зангзанӣ, раванди вайроншавии электрохимиявиро сушт мекунад. Дар натиҷа, сатҳи умумии реактивнокии сатҳи металл паст шуда, муқовимати он ба муҳити ҳашин баланд мегардад.

Ҷадвал 5.6. Хусусиятҳои зангзанӣ ва электрохимиявии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо барий дар муҳити электролити NaCl .

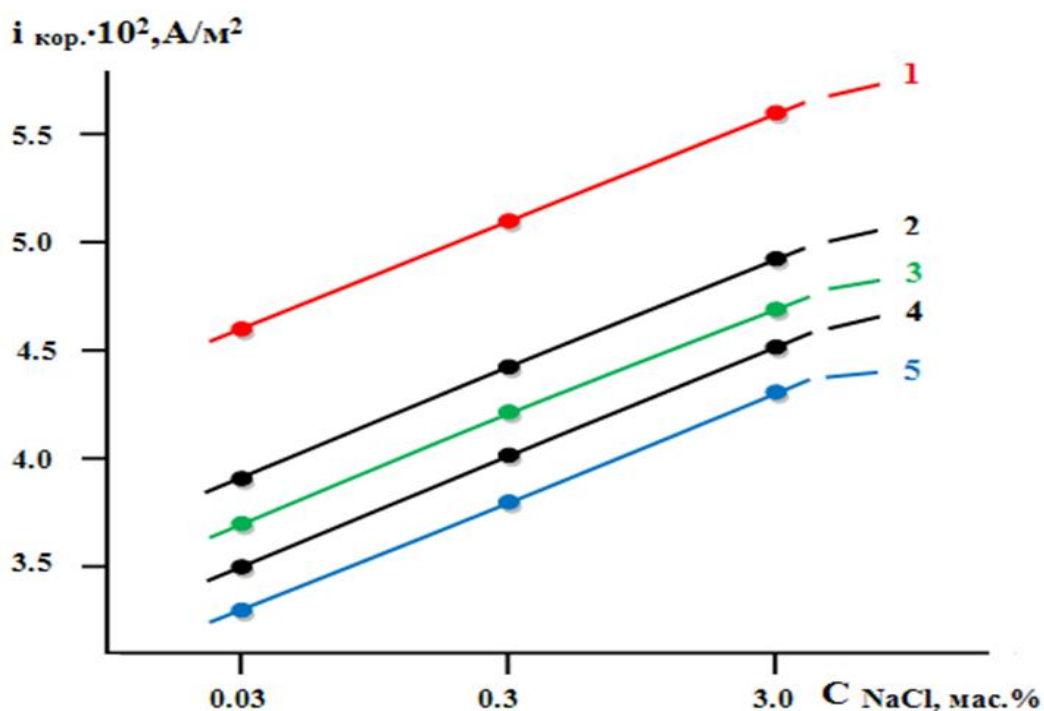
Муҳит NaCl	Микдори барий дар хӯла	Поенсиалҳои электрохимиявӣ, В (х. с. э.)				Суръати зангзанӣ	
		−E _{св.кор.}	−E _{кор.}	−E _{п.о.}	−E _{рп.}	I _{кор.} · 10 ² , А/м²	K · 10 ³ , г/м²·ч
мас. %							
0,03	0.0	0.668	1.090	0.602	0.680	4.6	15.41
	0.05	0.600	1.046	0.548	0.634	3.9	13.06
	0.1	0.587	1.035	0.538	0.625	3.7	12.39
	0.5	0.575	1.025	0.529	0.615	3.5	11.72
	1.0	0.562	1.015	0.520	0.605	3.3	11.05
0,3	0.0	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0.05	0.656	1.060	0.596	0.663	4.4	14.74
	0.1	0.643	1.051	0.585	0.654	4.2	14.07
	0.5	0.630	1.043	0.574	0.645	4.0	13.40
	1.0	0.618	1.035	0.565	0.637	3.8	12.73
3,0	0.0	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0.05	0.708	1.121	0.642	0.695	4.9	16.41
	0.1	0.695	1.108	0.629	0.684	4.7	15.74
	0.5	0.680	1.098	0.618	0.675	4.5	15.07
	1.0	0.664	1.090	0.608	0.666	4.3	14.40

Беҳтар шудани устувории зангзании хӯлаи алюминийи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ ҳангоми иловаи барийро метавон бо таъсири модификатсионии он ба сохтори маҳлули саҳти алюминий шарҳ дод. Ғайр аз ин, иловаи барий ба фаъолшавии раванди анодӣ мусоидат намуда, ҳамзамон ба ташаккули

қабати оксидии зичтар ва устувортар оварда мерасонад. Ин қабат, ки асосан аз маҳсулоти камҳалшавандаи оксидшавӣ таркиб ёфтааст, сатҳи хӯларо аз таъсири муҳити беруна самараноктар муҳофизат мекунад.



Расми 5.10. – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо барий дар муҳити электролитии 0,03 (1); 0,3 (2); 3,0 (3) NaCl



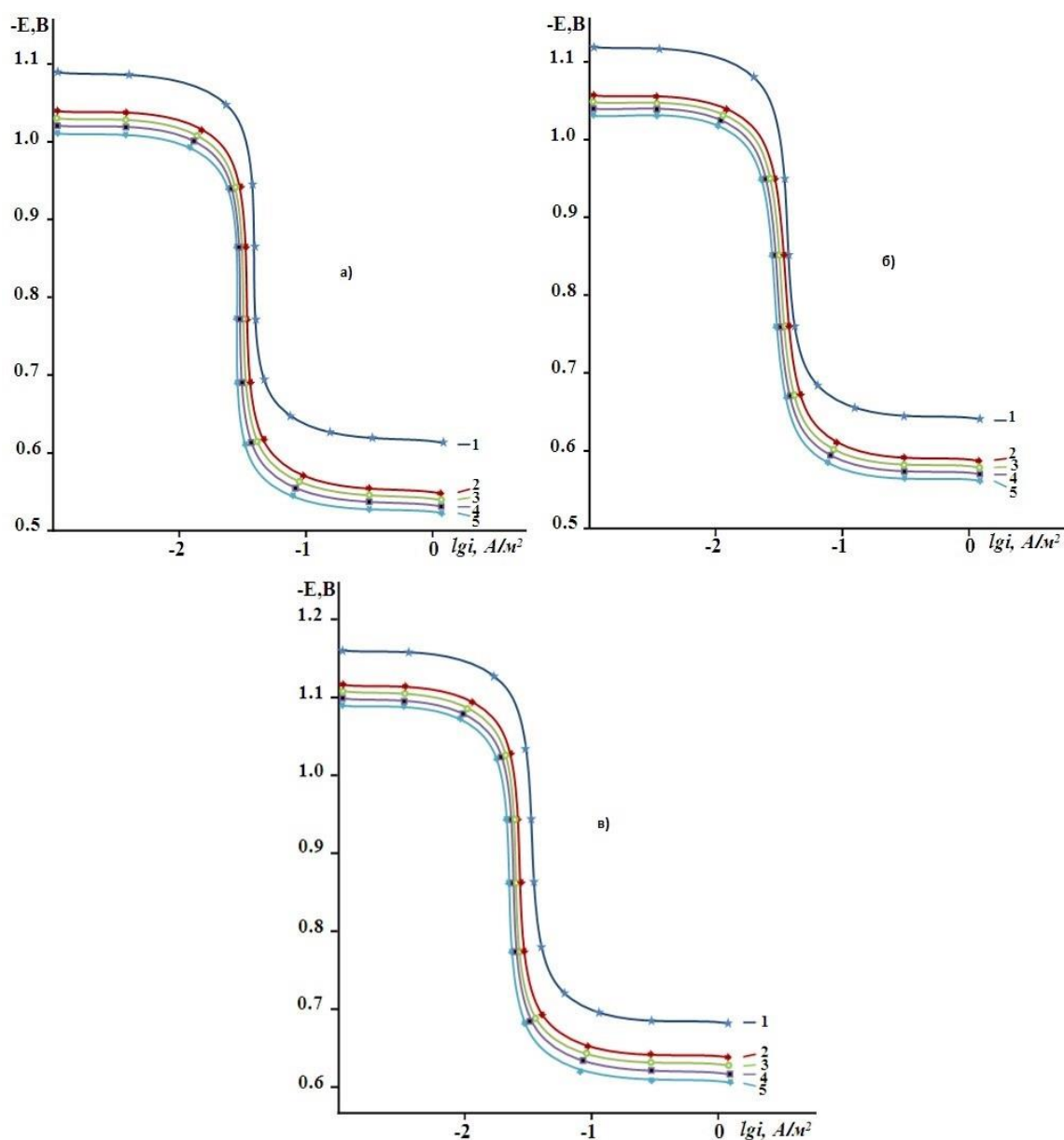
Расми 5.11. – Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий (1) бо барий, мас.: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) аз концентратсияи NaCl

Дар расми 5.11 нишон дода шудааст, ки зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминийи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg1$ чӣ гуна аз консентратсияи электролити $NaCl$ вобаста аст, барои хӯлаҳое, ки миқдори гуногуни барий доранд. Тавре ки интизор меравад, бо афзоиши консентратсияи муҳит (яъне хашинии он), зичии ҷараёни зангзанӣ дар ҳамаи намунаҳо зиёд мегардад.

Дар расми 5.12 шохаҳои анодии қатъхатаҳои потенциостатии хӯлаҳои мавриди таҳқиқ бо миқдори гуногуни барий оварда шудаанд. Маълум мешавад, ки бо зиёд шудани миқдори барий потенциалҳои зангзании озод ва ҳосилшавиҳои питтинг ба самти қиматҳои мусбат ҳаракат мекунанд. Ҳамзамон мушоҳида мешавад, ки зичии ҷараёни зангзанӣ коҳиш меёбад. Сабаби чунин тағйирот дар он аст, ки дар хӯлаҳои дорои барий шохаҳои анодии қатъхатаҳои потенциодинамикӣ нисбат ба хӯлаи ибтидоӣ бештар ба тарафи қиматҳои мусбат интиқол меёбанд.

Бо истифода аз усули потенциостатикӣ ва суръати тағйирёбии потенциал 2 мВ/с , дар муҳити электролити $NaCl$ хусусиятҳои асосии зангзании электрохимиявии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg1$, ки бо барий иловашуда аст, мавриди омӯзиш қарор дода шуданд. Натиҷаҳои таҷрибаҳо нишон доданд, ки ворид кардани барий ба таркиби хӯла дар ҳудуди $0,05$ то 1% аз рӯйи масса ба беҳтар шудани устувории он нисбат ба зангзанӣ таъсири мусбат мерасонад. Аз ҷумла, муқовимати хӯла дар муҳити нейтралӣ $NaCl$ метавонад то 28% зиёд гардад.

Ин беҳтаршавӣ аз он бармеояд, ки нишондиҳандаҳои электрохимиявии хӯла тағйир меёбанд: потенциалҳои муҳим, аз ҷумла потенциали зангзании озод ва потенциали оғози вайроншавӣ, ба тарафи қиматҳои мусбат ҳаракат мекунанд. Чунин кӯчиш маъноӣ онро дорад, ки раванди ҳалшавии анодӣ султар мегардад ва хӯла устувортар мешавад. Ба ибораи дигар, иловаи барий раванди зангзаниро маҳдуд намуда, қобилияти муҳофизатии хӯларо дар муҳити намакӣ беҳтар мекунад.



Расми 5.12. – Качхатаҳои потенциодинамикии анодии поляризатсионии (2 мВ/с)-и хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий (1) дорони барий мас. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) дар муҳити электролити 0,03 % (а), 0,3 % (б) ва 3,0 %-и (в) NaCl

Хулосаи боби панҷум

Таҳқиқоти таҷрибавӣ нишон доданд, ки ҷавҳаронии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ – калсий, стронсий ва барий – ба тағйирёбии қонуниятҳои хусусиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии он оварда мерасонад. Муайян гардид, ки ворид намудани ин элементҳо дар доираи консентратсияҳои 0,05–1,0 мас.% ба хӯлаи ибтидоӣ устувории онро дар муҳити маҳлули NaCl ба таври назаррас баланд мебардорад.

Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки бо зиёд шудани миқдори калсий, стронсий ва барий ҳамаи потенциалҳои муҳими электрохимиявӣ, аз ҷумла потенциали зангзании озод, потенциали репассиватсия ва потенциали ҳосилшавии питтинг, ба самти қиматҳои мусбат мегузарад. Ҳамзамон, зичии қараёни зангзанӣ коҳиш меёбад, ки аз паст шудани суръати ҳалшавии анодии ҳӯла шаҳодат медиҳад. Чунин тағйирот нишон медиҳад, ки барои оғоз ва инкишофи равандҳои зангзанӣ, махсусан зангзании питтингӣ, шароити нисбатан шадидтар зарур буда, устувории умумии ҳӯла нисбат ба таъсири муҳити хлориддор меафзояд.

Муайян карда шуд, ки ворид намудани металлҳои ишқорзаминӣ ба беҳтар шудани қобилияти репассиватсияи ҳӯла мусоидат мекунад. Дар натиҷа қабати муҳофизатии оксидӣ зудтар барқарор гардида, сатҳи ҳӯла аз таъсири муҳити зангзананда самараноктар ҳифз мешавад. Ин ҳолат боиси паст шудани эҳтимолияти пайдоиш ва рушди зангзании маҳаллӣ, аз ҷумла питтинг, гардида, эътимоднокии кори ҳӯларо дар муҳитҳои агрессивӣ зиёд менамояд.

Баланд шудани устувории зангзании ҳӯла ба тағйирёбии микросохтор ва таркиби фазавии он пас аз ҷавҳаронӣ вобаста мебошад. Иловаҳои калсий, стронсий ва барий боиси майдашавии сохтор, аз нав тақсим шудани ҷузъҳои фазавӣ ва яксонгар гардидани тақсимои онҳо дар ҳаҷми ҳӯла мешаванд. Дар натиҷа шумораи минтақаҳои маҳаллии фаёл, ки метавонанд ҳамчун марказҳои оғози зангзанӣ хизмат намоянд, коҳиш ёфта, раванди ҳалшавии электрохимиявии ҳӯла суст мегардад.

Муқоисаи таъсири металлҳои ишқорзаминӣ нишон медиҳад, ки ҳамаи элементҳои таҳқиқшуда ба баланд шудани устувории зангзании ҳӯла мусоидат менамоянд, вале дараҷаи таъсири онҳо яксон нест. Аз рӯи натиҷаҳои таҷрибавӣ, таъсири бештар ба беҳтаршавии хусусиятҳои электрохимиявӣ ҳангоми истифодаи барий мушоҳида гардида, баъдан стронсий ва калсий ҷой мегиранд. Ин фарқиятро метавон бо хусусиятҳои

сохтори электронӣ, радиуси атомӣ ва таъсири гуногуни ин элементҳо ба ташаккули қабати муҳофизатии оксидӣ ва микросохтори хӯла шарҳ дод.

Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқот метавон хулоса намуд, ки истифодаи калсий, стронсий ва барий дар доираи 0,05–1,0 мас.% барои ҷавҳаронии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg1$ навъи дюралюминий аз нуктаи назари баланд бардоштани устувории зангзанӣ ва беҳтар намудани хусусиятҳои электрохимиявии он мувофиқ мебошад. Ҷавҳаронии хӯла бо ин элементҳо имкон медиҳад, ки муқовимати он нисбат ба таъсири муҳитҳои хлориддор афзоиш ёфта, эътимоднокии ва давомнокии истифодаи маснуот баланд гардад.

Илова бар ин, натиҷаҳои бадастомада аҳамияти назарраси амалӣ дошта, метавонанд ҳамчун асоси илмӣ ҳангоми коркард ва такмили маълумотномаҳои соҳавӣ, дастурҳои муҳандисӣ, ҳуҷҷатҳои меъёриву техникӣ ва базаҳои маълумот оид ба хусусиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаҳои алюминий истифода шаванд. Ин маълумот инчунин барои интиҳоби маводҳои конструксионӣ, арзёбии муҳлати хизмати маснуот, моделсозии равандҳои зангзанӣ, таҳияи технологияҳои нави ҷавҳаронии хӯлаҳои алюминий ва тарҳрезии ҷузъҳое, ки дар муҳитҳои хлориддор ва шароити агрессивӣ кор мекунанд, аҳамияти амалӣ дорад. Истифодаи чунин хӯлаҳо метавонад ба кам шудани масрафи мавод барои як воҳиди маҳсулот, зиёд гардидани муҳлати хизматрасонӣ, баланд шудани эътимоднокии конструкцияҳо ва дар натиҷа ба даст овардани самараи назарраси техникӣ ва иқтисодӣ мусоидат намояд.

ХУЛОСА

1. Дар натиҷаи омузиш ва таҳлили амиқи адабиёти илмии дастрас ба чунин хулоса расидан мумкин аст, ки таҳқиқи ҳамаҷонибаи хусусиятҳои физикӣ ва химиявӣ хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо унсурҳои калсий, стронсий ва барий илова гардонида шудааст, аҳамияти махсус дорад. Махсусан, диққати ҷиддӣ бояд ба омузиши рафтори ин хӯла дар шароити гуногун равона карда шавад. Ба ин равандро, аз ҷумла, таҳқиқи хусусиятҳои зангзанӣ ва равандроҳои электрохимиявӣ, омузиши муқовимат ба оксидшавӣ дар ҳароратҳои баланд, инчунин таҳлили кинетикаи равандроҳои ба ҳарорат вобаста дохил мешаванд. «Илова бар ин, омузиши вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат ва муайян намудани функсияҳои асосии гармодинамикӣ барои дарки амиқтари хусусиятҳои модда нақши муҳим мебозанд» [9]. Дар заминаи чунин таҳқиқот, имконияти коркарди таркибҳои нави хӯлаҳо фароҳам меояд, ки метавонанд барои истифода дар техника ва дастгоҳҳои, ки дар шароити ғайримуқаррарӣ ё шадид ғайриқоиш мекунад, мувофиқ ва самаранок бошанд.

2. Дар доираи ин таҳқиқот таъсири илова намудани унсурҳои калсий, стронсий ва барий ба хусусиятҳои механикии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ мавриди баррасии муфассал қарор дода шуд. Таваҷҷуҳи асосӣ ба тағйирёбии нишондиҳандаҳои сахтӣ ва устувории хӯла ҳангоми тағйир ёфтани миқдори ин унсурҳои иловагӣ равона гардид. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки бо афзоиш ёфтани консентратсияи унсурҳои ҷавҳаркунанда (калсий, стронсий ва барий) тамоюли пастшавии қиматҳои сахтӣ ва устувории хӯла мушоҳида мешавад. Ба ибораи дигар, зиёд кардани миқдори ин иловаҳо, гарчанде ки ба тағйирёбии сохтори дохилии мавод мусоидат мекунад, метавонад ба коҳиш ёфтани баъзе хусусиятҳои механикии он оварда расонад. Ҳамзамон, таҳқиқоти металллографӣ имкон дод, ки таъсири сохтории ин унсурҳо дақиқтар арзёбӣ гардад. Муайян карда шуд, ки илова намудани калсий, стронсий ва барий то ҳудуди 1,0% аз рӯйи масса ба хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ таъсири назаррас расонида, боиси

майда шудани чузъҳои сохтори он мегардад. Чунин майдашавии сохтор, одатан, ба беҳтар шудани як қатор хусусиятҳои технологӣ мусоидат мекунад, ҳарчанд дар айни замон метавонад ба баъзе нишондиҳандаҳои механикӣ таъсири манфӣ низ расонад [6-М].

3. Дар чараёни таҳқиқот вобастагии гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, дар шароити «хунукшавӣ» мавриди омузиши муфассал қарор гирифт. Ҳадафи асосӣ муайян намудани он буд, ки чӣ гуна тағйирёбии ҳарорат ва таркиби химиявии хӯла ба қобилияти нигоҳдорӣ ва интиқоли гармӣ таъсир мерасонад. Натиҷаҳои таҷрибавӣ нишон доданд, ки бо баланд шудани ҳарорат қимати гармиғунҷоиш тадриҷан меафзояд. Ин падида бо афзоиши фаъолнокии ҳаракати атомҳо ва баланд шудани энергияи дохилии мавод вобаста мебошад. Бо вучуди ин, маълум гардид, ки миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда (калсий, стронсий ва барий) ба ин вобастагӣ таъсири назаррас мерасонад: ҳар қадаре ки ҳиссаи онҳо дар таркиби хӯла зиёд шавад, ҳамон қадар қимати гармиғунҷоиш тамоюли коҳиш ёфтандро нишон медиҳад. Илова бар ин, таҳлилҳо нишон доданд, ки табиати ҳуди унсури иловашуда низ аҳамияти муҳим дорад. Аз ҷумла, ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои дорои калсий ба хӯлаҳои, ки стронсий ва махсусан барий доранд, коҳишёбии гармиғунҷоиш мушоҳида мешавад. Ин ҳолат ба фарқияти хусусиятҳои физикӣ-химиявии ин унсурҳо ва таъсири онҳо ба сохтори дохилии хӯла вобаста аст [1-М, 2-М, 3-М, 9-М, 10-М].

4. Дар таҳқиқот диққати асосӣ ба омузиши функцияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий тағйир дода шудааст, равона гардид. Ин таҳлил имкон дод, ки қонуниятҳои тағйирёбии нишондиҳандаҳои асосии энергетикӣ хӯла вобаста ба таркиб ва ҳарорат амиқтар дарк карда шаванд. Натиҷаҳо нишон доданд, ки навъи унсури иловаишуда ба рафтори гармодинамикии хӯла таъсири назаррас мерасонад. Аз ҷумла, ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои, ки калсий доранд, ба хӯлаҳои дорои стронсий,

камшавии қиматҳои энталпия ва энтропия мушоҳида мегардад. Ин маънои онро дорад, ки ҳолати энергетикӣ системаи мазкур то андозае паст мешавад. Дар баробари ин, энергияи озоди Гиббс тамоюли баръакс нишон дода, нисбатан зиёд мегардад, ки аз тағйирёбии мувозинати равандҳои дохилии система дарак медиҳад. Илова бар таъсири таркиб, нақши ҳарорат низ хеле муҳим арзёбӣ гардид. Муайян карда шуд, ки бо баланд шудани ҳарорат қиматҳои энталпия ва энтропия меафзоянд, зеро система энергия бештар гирифта, ҳаракати зарраҳо фаъолтар мегардад. Ҳамзамон, энергияи озоди Гиббс коҳиш ёфта, нишон медиҳад, ки равандҳо дар чунин шароит аз нуқтаи назари гармодинамикӣ мусоидтар мегарданд [1-М, 2-М, 3-М, 9-М, 10-М].

5. Дар раванди таҳқиқот кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий тағйир дода шудааст, бо истифода аз усули гармогравиметрия мавриди омузиш қарор гирифт. Ин усул имкон дод, ки тағйирёбии массаи намунаҳо ҳангоми таъсири ҳарорати баланд ва ҳамкориҳои онҳо бо муҳити оксидкунанда ба таври дақиқ пайгирӣ карда шавад. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки раванди оксидшавии чунин ҳӯлаҳо ба қонуни гипербола иттифол мекунад. Ин маънои онро дорад, ки дар чараёни вақт суръати оксидшавӣ тадриҷан коҳиш ёфта, қабати муҳофизатии оксидӣ дар сатҳи мавод ташаккул меёбад ва минбаъд раванди оксидшавиро маҳдуд месозад. Ҳисобҳо нишон доданд, ки суръати ҳақиқии ин раванд дар ҳудуди $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ қарор дорад. Илова бар ин, таҳлил нишон дод, ки хусусияти таркибии ҳӯла ба нишондиҳандаҳои энергетикӣ раванди оксидшавӣ таъсири назаррас мерасонад. Аз ҷумла, қиматҳои баландтарини энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонӣ ба ҳӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ мансуб мебошанд, ки ин аз устувории нисбатан баланди он нисбат ба оғози раванди оксидшавӣ шаҳодат медиҳад. Баръакс, дар ҳӯлаҳои, ки бо барий ҷавҳаронида шудаанд, қиматҳои пасттарини ин нишондиҳанда ба қайд гирифта шуданд, ки ба осонтар оғоз ёфтани равандҳои оксидшавӣ ишора мекунад [7-М].

6. Бо усули таҳлили рентгенофазавай нишон дода шуд, ки маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий аз оксидҳо ва гидроксидҳои таркибҳои зерин иборатанд: AlO ; CuO ; $\text{Ca}_{0,93}$; $\text{Mg}_{0,67}$ $\text{Al}_{10,33}\text{O}_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; CaAl_2O_4 ; $\text{Ca}_{0,950}\text{Mg}_{0,900}\text{Al}_{10,100}\text{O}_{17}$; Al_2MgO_4 ; $\text{Mg}_{0,36}\text{Al}_{2,44}\text{O}_4$; SrAl_4O_7 ; MgAl_2O_4 ; $\text{SrCuO}_{2,5}$; Al_2O_3 ; $\text{Sr}_{1,81}\text{Cu}_{0,905}\text{O}_{3,4}$; $\text{Sr}_6\text{Cu}_{6,6}\text{Al}_{7,4}$; $\text{SrO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$; Al ; Cu_{64}O ; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; CuAlO_2 ; $(\text{Mg}_{0,77}\text{Al}_{0,23})$; $(\text{Al}_{0,885}\text{Mg}_{0,115})_2\text{O}_4$; $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$; $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ [7-M].

7. Дар таҳқиқот рафтори анодии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий тағйир дода шудааст, дар муҳити электролити хлориди натрий мавриди омузиши муфассал қарор гирифт. Барои ин усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ истифода бурда шуд, ки дар он потенциал бо суръати 2 мВ/с тадричан тағйир дода мешуд. Ин равиш имкон дод, ки хусусиятҳои электрохимиявии хӯла бо дақиқии баланд арзёбӣ гарданд. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки илова намудани металлҳои ишқорзаминӣ (калсий, стронсий ва барий) ба таркиби хӯла, то ҳудуди 1,0% аз рӯйи масса, ба беҳтар шудани устувории анодии он мусоидат мекунад. Аз ҷумла, дар муҳити электролити NaCl ин нишондиҳанда метавонад то 20–28% зиёд гардад. Ин тағйирот бо беҳтар шудани қобилияти хӯла барои муқовимат ба равандҳои зангзанӣ вобаста мебошад. Ҳамзамон, мушоҳида гардид, ки дар натиҷаи ҷавҳаронӣ потенциалҳои электрохимиявии хӯла ба самти қиматҳои мусбат кӯч мебаранд, ки ин аломати устувории бештар дар муҳити зангзананда ба ҳисоб меравад [4-M, 5-M, 8-M, 11-M].

Инчунин, муҳити коррозсионӣ низ ба рафти раванд таъсири назаррас мерасонад. «Муайян гардид, ки бо зиёд шудани консентратсияи ионҳои хлорид дар маҳлули NaCl суръати коррозияи хӯла меафзояд. Дар ин ҳолат потенциали электродӣ ба самти қиматҳои манфӣ кӯч мебардад, ки аз шиддат гирифтани раванди ҳалшавии металл ва суръат ёфтани вайроншавии сатҳи хӯла шаҳодат медиҳад» [4-M, 5-M, 8-M, 11-M].

8. Дар асоси натиҷаҳои таҳқиқоти анҷомдодашуда таркибҳои нави ҳӯлаҳои алюминийӣ дар заминаи дюралюмини $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаи калсий, стронсий ва барий пешниҳод гардиданд [12-М, 13-М].

2. Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот

Дар асоси натиҷаҳои бадастомадаи таҳқиқот тавсияҳои зерин оид ба истифодаи амалии онҳо пешниҳод карда мешаванд.

1. Натиҷаҳои бадастомадаи таҳқиқот дорои аҳамияти баланди илмӣ ва амалӣ буда, метавонанд ҳамчун асос барои ғанӣ гардонидани адабиёти соҳавӣ истифода шаванд. Онҳо дар оянда ҳангоми тарҳрезӣ, ҳисобҳои муҳандисӣ ва коркарди чузъҳои нави техникӣ манбаи муфиди иттилоотӣ мегарданд.

2. Таҳлилҳои гузаронидашуда оид ба хусусиятҳои электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ нишон медиҳанд, ки истифодаи чунин мавод дар истеҳсоли қисмҳои техникӣ мувофиқи мақсад мебошад. Ин имкон медиҳад, ки сарфи металл кам гардида, самаранокии иқтисодии истеҳсолот баланд бардошта шавад.

3. Ҳӯлаҳои пешниҳодшуда бо дарназардошти қобилияти ташаккули қабати муҳофизатии оксидӣ метавонанд дар шароити ҳароратҳои баланд ва муҳитҳои оксидкунанда самаранок истифода шаванд, ки ин доираи татбиқи онҳоро васеъ менамояд.

4. Дар ҳолати истифода дар муҳитҳои дорои миқдори зиёди ионҳои хлорид, тавсия дода мешавад, ки усулҳои иловагии муҳофизат, аз ҷумла истифодаи пӯшишҳои зиддизангзанӣ ва ингибиторҳои махсус, ҳатман татбиқ карда шаванд, то ки устувории дарозмуддати мавод таъмин гардад.

5. Натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд ҳамчун заминаи илмӣ барои таҳияи технологияҳои муосири истеҳсоли ҳӯлаҳои алюминий бо хосиятҳои пешакӣ танзимшаванда хизмат намоянд ва барои татбиқи васеъ дар соҳаҳои гуногуни техника ва саноат мусоидат кунанд.

6. Илова бар ин, тавсия дода мешавад, ки таҳқиқоти минбаъда барои оптимизатсияи таркиби хӯла ва арзёбии рафтори онҳо дар шароити воқеии истифода идома дода шаванд, ки ин ба баланд бардоштани самаранокӣ ва эътимоднокии онҳо мусоидат хоҳад кард.

АДАБИЁТ

Монографияҳо ва китобҳо

1. Авдеевко, А.П. Коррозия и защита металлов. Справочное пособие / А.Е. Поляков, А.Л. Юсина, С.А. Гончарова. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 112 с.
2. Алюминий: свойства и физическое металловедение. Справочное издание. Пер. с англ. / Под ред. Дж. Е. Хэтча – М.: Металлургия, 1989. – 422 с.
3. Анисович А.Г., Андрушевич А.А. Микроструктуры черных и цветных металлов. Монография. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 132 с.
4. Антонов, Е.А. Определение удельной теплоемкости металлов методом охлаждения / В.В. Соболев // Учебно-методическое пособие / Ижевск. 2015. – 24 с.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. – М.: Мир, 1979. Т. 1. – 399 с., Т. 2. – 422 с.
6. Багаряцкий Ю.А. Рентгенография в физическом металловедении. – М.: Металлургиздат, 1961. – 186 с.
7. Белов, Н.А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов / Н.А. Белов. – М.: МИСиС, 2010. – 511 с.
8. Бердиев, А.Э. Силумины, модифицированные элементами подгруппы германия и стронция / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, С.С. Гулов. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 152 с.
9. Билони Х. Затвердевание // Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами. Т. 2. – М.: Металлургия, 1987. – 624 с.

10. Бочвар А.А. Металловедение. – М.: Металлургиздат. 1956. – 495 с.
11. Васильев Е.К., Нахмансон М.М. Качественный рентгенофазовый анализ. – Новосибирск: Наука. 1986. – 356 с.
12. Ганиев, И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах / И.Н. Ганиев, Т.М. Умарова, З.Р. Обидов // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 198 с.
13. Ганиев, И.Н. Особенности окисления жидких и порошковых сплавов систем Ba-Si и Ba-Al-Si / И.Н. Ганиев, Б.Б. Джаббаров, Н.Н. Белоусов, Л.Т. Джураева / Тез. респ. конф. на тему: «Физико-химические основы производства металлических сплавов» (12-14 июня). – Алма-Ата, 1990. – С.146.
14. Ганиев, И.Н. Потенциодинамическое исследование свинцового Баббита БТ (PbSb15Sn10), с натрием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Ф.К. Ходжаев // Ползуновский вестник. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – 2022. – №1. – С. 126-133.
15. Гинье А. Неоднородные металлические твердые растворы. – М.: Иностр. лит., 1962. – 187 с.
16. Деверо О.Ф. Проблемы металлургической термодинамики. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
17. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Учебное пособие. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2006. – 472 с.
18. Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурное состояние. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с.
19. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справочник / В.Е. Зиновьев. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
20. Кац, А.М., Шадек Е.Г. Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1983. – 207 с.
21. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дюралюмин. – М.: Металлургия. 1984. – 240 с.

22. Кеше, Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы. – М: Металлургия, 1984. – 400 с.
23. Киров, С.А. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения / А.В. Козлов, А.М. Салецкий, Д.Э. Харабадзе// Учебное пособие. – М.: ООП Физический факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022. – 26 с.
24. Козлов В.А. Основы коррозии и защиты металлов / М.О. Месник // Иван. гос. хим. – технол. Ун-т. – Иваново, 2011. – 177 с.
25. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999. – 416 с.
26. Колобнев И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия. 1973. – 320 с.
27. Кочергин, В.П. Защита металлов от коррозии в ионных расплавах и растворах электролитов. Учеб. Пособие. – Екатеринбург: Изд-е Урал. Ун-та, 1991. – 304 с.
28. Кравцов, В.В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии: Учеб. Пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. – 157 с.
29. Ламсен Дж. Термодинамика сплавов. Пер. с англ. – М.: Металлургиздат, 1959. – 440 с.
30. Лепинских, Б.М. Исследование кинетики окисления сплавов Al-Mg в жидком состоянии / Б.М. Лепинских, А.Н. Белоусов // Рукопись деп. В ВИНТИ. №554. Белоусова, Н.В. Взаимодействие жидких металлов и сплавов с кислородом / В.М. Денисов, С.А. Истомин, и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 285 с.
31. Лепинских, Б.М. Окисление жидких металлов и сплавов / Б.М. Лепинских, А. Китаев, А. Белоусов. – М.: Наука, 1973. – С. 106.

32. Лужникова, Л.П. Материалы в машиностроении. – Т. 1. Цветные металлы и сплавы. – М., 1967. – 287 с.
33. Машиностроение: Энциклопедия. Т. II-3. Цветные металлы и сплавы. – М.: Машиностроение, 2001. – 880 с.
34. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 480 с.
35. Муллоева, Н.М. Теплофизические и термодинамические свойства сплавов свинца с щелочноземельными металлами: Монография / Н.М. Муллоева, И.Н. Ганиев, Х.А. Махмадуллоев. - Издательский дом. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 66 с
36. Назаров Х.М., Вахобов А.В., Ганиев И.Н., Джураева Т.Д. Барий и его сплавы. – Душанбе: Дониш. 2001. – 211 с.
37. Невзоров, Б.А. Коррозия конструкционных материалов в жидких щелочных металлах. М.: / В.В. Зотов, В.А. Иванов, О.В. Старков, Н.Д. Краев, Е.В. Умняшин, В.А. Соловьев // Атомиздат. – 1977. – 264 с.
38. Раиса, Ф.В. Высокотемпературное окисление металлов и сплавов / И.Г. Эмма. – Киев: Наукова Думка. 1980. – 292 с.
39. Реслер И. Механическое поведение конструкционных материалов: учебное пособие / И. Реслер, Х. Хардерс, М. Бекер; пер. с нем. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 504 с.
40. Рогачев, Н.М. Определение удельной теплоемкости твердых тел: / С.И. Гусева // Метод. Указания к лабор. Работе №1-23. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва, 2012. – 115 с.
41. Розловский, А.А. Электрохимическое рафинирование тяжелых легкоплавких металлов из расплавленных солей / А.А. Розловский, А.А. Булдаков, Г.Н. Ефимов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 157 с.
42. Свойства элементов. Справочник / Под ред. М.Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1985. – 671 с.

43. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: / Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов // ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
44. Смирнов, М.В. Электродные потенциалы в расплавленных хлоридах / М.В. Смирнов. – Москва: Наука, 1973. – 248 с.
45. Тарсин, А.В. Определение теплоёмкости металлов методом охлаждения / К.С. Костерин // Лабораторные занятия. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2014. – 98 с.
46. Умарова, Т.М. Коррозия двойных сплавов в нейтральных средах / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев. – Душанбе, 2007. – 258 с.
47. Фрейман Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. Под ред. акад. Я.М. Колотыркина / В.А. Макаров, И.Е. Брыксин. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
48. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия. 1979. – 208 с.
49. Фридляндер И.Н. Алюминий и его сплавы. – М.: Знание, 1965. – 61 с.
50. Фрумина, Н.С. Аналитическая химия щёлочноземельных металлов / Н.С. Фрумина, Н.И. Горонова, С.Г. Муштокова. – М.: Наука, 1974. – С. 252.
51. Шпанченко Р.В., Розова М.Г. Рентгенофазовый анализ. – Москва, 1998.– 128 с.
52. Humphreys, F.J. Recrystallization and related annealing phenomena / F.J. Humphreys, M. Hatherly. – 2nd Edition. – Oxford: Elsevier, 2004. – 658 p.
53. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов: учебник для вузов / В.С. Золоторевский. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
54. Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
55. Штремель, М.А. Прочность сплавов. Часть II. Деформация: учебник для вузов / М.А. Штремель. – М.: Издательство МИСИС, 1997. – 527 с.
56. Davis, J. R. Alloying: Understanding the Basics / J.R. Davis. – Ohio: ASM International, 2001. – 647 p.

Мақолаҳои илмӣ

57. Автократова, Е.В. Структура и механические свойства алюминиевого сплава 1421, интенсивно деформированного при температуре жидкого азота / Е.В. Автократова, С.В. Крымский, М.В. Маркушев, О.Ш.

Ситдилов // Письма о материалах. – 2011. Т. 1. – №2. – С. 92-95.

58. Автократова, Е.В. Особенности структуры алюминиевого сплава Д16, интенсивно деформированного при температуре жидкого азота / Е.В. Автократова, С.В. Крымский, М.В. Маркушев, О.Ш. Ситдилов // Письма о материалах. – 2011. Т. 1. – С. 92-95.

59. Алексеев А.А., Бер Л.Б. Диаграммы фазовых превращений при старении сплавов системы Al-Cu-Mg // ТЛС. – 1991. – №1. – С. 9-13.

60. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов / В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч. Технич. Сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). – М.: ВИАМ, 2012. – С. 157-167.

61. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы / В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. Сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). – М.: ВИАМ, 2012. – С. 167-182.

62. Бодряков, В.Ю. О корреляции температурных зависимостей теплового расширения и теплоемкости вплоть до точки плавления тугоплавкого металла: молибден // Теплофизика высоких температур. – 2014. Т. 52. – №6. – С. 863-868.

63. Бочвар О.С., Походаев К.С. Тройные системы. Металловедение алюминия и его сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – С. 102-208.

64. Бочвар О.С., Походаев К.С., Синянян Л.Г. // Изв. АН СССР. Металлы. – 1969. – №1. – С. 199.

65. Братухин А.Г., Редчиц В.В., Лукин В.И. Перспективы использования алюминиеволитиевых сплавов для штамповарных конструкций летательных аппаратов // Сварочное производство. – 1996. – №7. – С. 18-21.

66. Волкович, А.В. Анодное растворение сплавов щелочноземельных металлов в расплавах хлоридов калия и натрия / А.В. Волкович // Расплавы. – 1997. – №1. – С. 81-87.

67. Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н. Теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg_1$, легированного барием // Теплофизика высоких температур. – 2023. Т. 61. – №5. – С. 673-678.

68. Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н., Сафаров А.Г. Влияние добавки кальция на теплофизические свойства и термодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg_1$ // Теплофизика и аэромеханика. – 2023. Т. 30. – №4. – С. 799-807.

69. Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. Влияние добавок стронция на теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg_1$ // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – №3. – С. 35-42.

70. Ганиев И.Н. Влияние добавок калия на анодную устойчивость свинцового баббита БК ($PbSb_{15}Sn_{10}K$) / Х.М. Ходжаназаров, Ф.К. Ходжаев О.Х. Одиназода // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2022. – №1. – С. 52-63.

71. Ганиев, И.Н. Влияние добавок лития на коррозионно-электрохимическое поведение свинцового баббита Блн ($PbSb_{15}Sn_{10}Li$) в среде электролита $NaCl$ / Х.М. Ходжаназаров, Ф.К. Ходжаев, У.Ш. Якубов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. Т. 78. – №1. – С. 7-12.

72. Ганиев, И.Н. Влияние добавок натрия на кинетику окисления свинцового баббита $PbSb_{15}Sn_{10}Na$ в твердом состоянии / Х.М. Ходжаназаров, Ф.К. Ходжаев. // Журнал физической химии. – 2023. – №2. – С. 216-222.

73. Ганиев, И.Н. Влияние pH среды на анодные поляризационные характеристики сплавов системы Al-Sr / И.Н. Ганиев, М.Ш. Шукроев // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. физ-мат, хим. и геол. наук. – 1986. – №1. – С. 79-81.

74. Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х. Физико-химические свойства алюминиевого сплава АЖ2.18 с щелочноземельными металлами // Известия Национальной академии наук Таджикистана. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2021. – №3(184). – С. 128-146.

75. Ганиев, И.Н. Кинетика окисления алюминидов щёлочноземельных металлов / И.Н. Ганиев, Л.Т. Джураева, Б.Б. Джаббаров, Ш.М. Рузиев / Тез. Докл. V Всесоюз. Конф. По кристаллохимии интерметаллических соединений (17-19 октября). – Львов, 1989. – С. 246.

76. Ганиев, И.Н. Кинетика окисления свинцового баббита Бли ($PbSb_{15}Sn_{10}Li$), модифицированного литием / Х.М. Ходжаназаров, Х.О. Одиназода, Ф.К. Ходжаев // Журнал Металлы. – 2023. – №1. – С. 93-99.

77. Ганиев, И.Н. Коррозия алюминиевых сплавов с кальцием, стронцием и барием в морской воде / И.Н. Ганиев, В.В. Красноярский, Т.И. Жукова // ЖПХ. – 1995. Т. 68. – №7. – С. 1146-1149.

78. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплава АК1, легированного стронцием / И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, М. Махмудов, Н.Ф. Иброхимов // Теплофизика высоких температур. – 2019. Том 57. – №1. – С. 1-6.

79. Гафнер, Ю.Я. Анализ теплоемкости нанокластеров ГЦК-металлов на примере Al, Ni, Cu, Pb, Au / С.Л. Гафнер, И.С. Замулин, Л.В. Редель, В.С.

Байдышев // Физика металлов и металловедение. – 2015. Т. 116. – №6. – С. 602-607.

80. Давлатзода Ф.С. Ганиев И.Н., Иброхимов Н.Ф., Раджабалиев С.С., Караев П.Н. Влияние титана, ванадия и ниобия на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава Амг2 // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. Т. 46. – №2. – С. 67-71.

81. Данилов П.В. Температурная зависимость твердости металлов // В сборнике: Студенческая наука – первый шаг к цифровизации сельского хозяйства. Материалы III Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В 3-х частях. – Чебоксары, 2023. – С. 390-393.

82. Денисова, Л.Т. Окисление жидких тройных сплавов на основе свинца / В.М. Денисов // Журнал Сибирский федеральный университет. Химия. – №2. – С. 264-270.

83. Джайлоев Дж.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием / И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2018. – №4. – С. 214-220.

84. Джураева, Л.Т. Высокотемпературное окисление сплавов системы алюминий-стронций из твёрдого состояния / Л.Т. Джураева, И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов // Изв. АН Тадж. СССР Отдел физ.-матем., хим. и геол. наук. – 1985. – №4. – С. 76-78.

85. Джураева, Л.Т. Окисление алюминиево-бариевых сплавов в неизотермических условиях / Л.Т. Джураева, И.Н. Ганиев // Доклады АН Тадж. СССР. – 1988. – №11. – С. 728-730.

86. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник, в 3 т. / под общ. Ред. П.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. Т. 1. – С. 124-125.

87. Елагин В.И. Состояние и пути повышения трещиностойкости высокопрочных алюминиевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – №9. – С. 10-19.

88. Емельянов О.Б. Разработка прибора для определения твердости металлов и сплавов // Школа и производство. – 2019. – №2. – С. 28-30.

89. Захаров В.В. Некоторые проблемы использования алюминиево-литиевых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – №2. – С. 8-14.

90. Иброхимов С.Ж., Ганиев И.Н., Эшов Б.Б. Твердость и прочность сплава Амг4, легированного редкоземельными металлами (Sc, Y, La, Pr, Nd) Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2023. – №1(96). – С. 74-82.

91. Ивлиев А.Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях // Теплофизика высоких температур. – 2009. Т. 47. – №5. – С. 771-792.

92. Исмонов Р.Д., Сафаров А.М., Раджабалиев С.С., Бадурдинов С.Т. Влияние галлия, индия и таллия на микроструктуру и механические свойства алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – №1(65). – С. 60-63.

93. Кокин, С.М. Постановка лабораторной работы «Определение удельной теплоемкости металла методом охлаждения» / С.Г. Стоюхин, С.В. Мухин / Сборник научных трудов XXVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы учебного физического эксперимента». Г. Глазов. – 2022. – С. 49-51.

94. Красноярский В.В. Коррозионно- электрохимическое поведение сплавов алюминия с кремнием / В.В. Красноярский, Н.Р. Сайдалиев, Л.С. Гузей // Э.И. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1993. – Вып. 8. – С. 1-7.

95. Красноярский, В.В. Коррозионно-электрохимические свойства сплавов алюминия с железом в нейтральных растворах / В.В. Красноярский, Н.Р. Сайдалиев // Э.И.: Защита от коррозии и окружающей среды. – М., 1991. – Вып. 3. – С. 14-19.

96. Крымский, С.В. К вопросу о наноструктурировании алюминиевого сплава Д16 с использованием криогенной деформации / С.В. Крымский, Е.В. Автокротова, М.В. Маркушев, О.Ш. Ситдилов // Перспективные материалы. – 2011. – №12. – С. 262-266.

97. Крымский, С.В. Структура алюминиевого сплава Д16 криопрокатанного с различной степенью / С.В. Крымский, Е.В. Автокротова, О.Ш. Ситдилов, А.В. Михайловская, М.В. Маркушев // Физика металлов и металловедение. – 2015. Т. 116. – №7. – С. 714-723.

98. Кубашевский, О. Окисленное металлов / Г. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1985. – С. 360-363.

99. Кулешов С.С. Измерение твердости металла // In Situ. – 2015. – №3(3). – С. 29-32.

100. Максименко, В.И. Исследование кинетики окисления алюминиевых сплавов в жидком состоянии / В.И. Максименко, А.С. Максименко // Новое в теории и технологии металлургических процессов. – Красноярск, 1973. – С. 16-20.

101. Марченко А.В., Серегин П.П., Пигарев Е.С., Киселев В.С., Петрушин Ю.А. Лабораторный практикум «качественный и количественный анализ на редкоземельные металлы с использованием метода РФА» / В сборнике: Физика в системе современного образования (ФССО-2023). Материалы XVII международной конференции. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 236-241.

102. Махсудова, М.С. Кинетика окисления твёрдых сплавов системы Al-Mg-Ca / М.С. Махсудова, И.Н. Ганиев, М.Т. Норова, А.Э. Бердиев // Доклады академии наук Республики Таджикистан. – 2007. – №7. Том 50. – С. 613-617.

103. Мацнев В.Н., Рязанцев В.И., Данилов С.Ф. Исследование технологических возможностей алюминиево-литиевого сплава 01421 для штамповарных интегральных конструкций // Авиационная промышленность. – 2004. – №4. – С. 36-40.

104. Назаров, Ш.А. Кинетика окисления сплава $Al+6\%Li$, модифицированного лантаном, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Irene Calliari., А.Э. Бердиев, Н.И. Ганиева // Металлы. – 2018. – №1. – С. 34-40.
105. Назаров, Ш.А. Кинетика окисления сплава $Al+6\%Li$, модифицированного церием / И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, Н.И. Ганиева // Металлы. – 2018. – №3. – С. 33-38.
106. Низомов, З. Температурная зависимость теплоёмкости сплава АКLM2, легированного редкоземельными металлами / Б. Гулов, И.Н. Ганиев, Р.Х. Саидов, А.Э. Бердиев // Доклады АН РТ. – 2011. Т. 54. – №11. – С. 917-921.
107. Норова, М.Т. Кинетика окисления сплава $AMg0.2$ с лантаном, празеодимом и неодимом в твёрдом состоянии / М.Т. Норова, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (технологического университета). – 2018. – №44(70). – С. 35-39.
108. Отаджонов, С.Э. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АК1М2 с кальцием / С.Э. Отаджонов, И.Н. Ганиев, М. Махмудов, М.М. Сангов // Известия Юго-западный государственный университет. Серия Техника и технологии. – 2018. Том 8. – №3(28). – С. 105-115.
109. Отаджонов, С.Э. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функции сплава АК1М2, легированного стронцием / С.Э. Отаджонов, И.Н.Ганиев, М. Махмудов, Н.Ф. Иброхимов // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2019. – №1. – С. 25-34.
110. Рабинович, М.Х. Влияние размера зерна на трещиностойкость алюминиевых сплавов / М.Х. Рабинович, М.В. Маркушев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1994. – №8. – С. 25-30.
111. Стручева Н.Е., Шенфельд К.А., Новоженев В.А. Физико-химические свойства сплавов некоторых РЗМ с магнием и алюминием / В сборнике: Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы

науки и образования. Сборник научных статей международной конференции. – Алтай: Алтайский государственный университет, 2015. – С. 277-1282.

112. Талашманова, Ю.С. Окисление жидких сплавов на основе свинца / Л.Т. Антонова, В.М. Денисов // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – №2. – С. 75-76.

113. Триндюк Л.М, Петров Р.Л. Материалы в автомобиле // Автомобильная промышленность. – 1998. – №6. – С. 30-33.

114. Умаров М.А. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамические функций свинца марки С2 / И.Н. Ганиев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2018. Т. 20. – №1. – С. 23-29.

115. Умарова, Т.М. Коррозионное и электрохимическое поведение алюминия различной степени чистоты в нейтральной среде / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев // ДАН Республики Таджикистан. – 2003. Т. 46. – №1-2. – С. 53-58.

116. Умарова, Т.М. Потенциодинамическое исследование сплавов системы Al-V и Al-Nb / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев // ЖПХ. – 1990. – №2. – С. 434-436.

117. Умарова, Т.М. Физико-химическое исследование алюминиево-литиевых сплавов с кальцием / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев, Х.М. Назаров / Технический прогресс и производство: Мат. респ. научно-практ. конф. – Душанбе, 1999. – С. 37-40.

118. Фридляндер И.Н., Берстенов В.В., Ткаченко Е.А. и др. Влияние термической обработки и деформации на величину зерна и механические свойства сплавов типа дюралюмин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – №7. – С. 3-6.

119. Фридляндер И.Н., Сандлер В.Г., Грушко О.Е., Берсенов В.В. и др. Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – №9. – С. 3-9.

120. Ходжаназаров, Х.М. Потенциодинамическое исследование свинцового баббита БК ($PbSb_{15}Sn_{10}K$) / И.Н. Ганиев, Ф.К. Ходжаев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2022. – №1(92). – С. 86-92.

121. Холмуродов Ф., Сафаров А.Г., Одинаев Ф.Р., Ботуров К., Ганиев И.Н., Нуров Н.Р. Микроструктура и механические свойства алюминиевого сплава $AlFe_5Si_{10}$ с оловом, свинцом и висмутом // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. – 2023. – №2-1(108). – С. 101-107.

122. Чирков Е.Ф. Жаропрочный сплав М40. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные сплавы. – М.: Металлургия, 1972. – С. 123-131.

123. Чирков Е.Ф. Закономерности изменения горячеломкости алюминиевых сплавов системы $Al-Cu-Mg$ // Изв. АН СССР. Металлы. – 1983. – №3. – С. 175-181.

124. Чирков Е.Ф. О природе воздействия Cu и Mg на эволюцию структуры и жаропрочность алюминиевых сплавов системы $Al-Cu-Mg$ // ТЛС. – 2002. – №4. – С. 64-70.

125. Чирков Е.Ф. О старение сплава М40 / В кн.: Металловедение сплавов легких металлов. – М.: Наука, 1970. – С. 63-71.

126. основе алюминия / В.Г. Шевченко, Д.А. Еселевич, А.И. Анчаров, Б.П. Толочко // Физика горения и взрыва. – 2014. Т. 50. – №6. – С. 28-33.

127. Шевченко, В.Г. Влияние кальция на кинетику окисления и фазовый состав продуктов взаимодействия порошков сплавов на основе алюминия / В.Г. Шевченко, Д.А. Еселевич, А.И. Анчаров, Б.П. Толочко // Физика горения и взрыва. – 2014. Т. 50. – №5. – С. 39-42.

128. Шевченко В.Г. Влияние легирования на кинетику и механизм окисления порошков сплавов на основе алюминия с редко- и

щёлочноземельными металлами // Физика горения и взрыва. – 2011. Т. 47. – №2. – С. 45-53.

129. Шевченко В. Г., Булатов М. А., Кононенко В. И., Чупова И. А., Латош И.Н. Влияние свойств поверхностного слоя оксида на окисление порошков алюминия // Порошковая металлургия. – 1988. – №2. – С. 1-5.

130. Шевченко В.Г., Кузнецов М.В., Еселевич Д.А. и др. Поверхностная сегрегация кальция и ее влияние на кинетику окисления порошков сплавов на основе алюминия // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2012. Т. 48. – №6. – С. 540-545.

131. Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Амини Р.Н. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2018. Т. 18. – №3. – С. 5-15.

132. Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Ганиева Н.И. О коррозионном потенциале сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами, в среде электролита NaCl // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. Т. 16. – №3. – С. 109-119.

133. Alekseev A.A., Ananev V.N., Ber L.B., Kaputkin E.Ya. The Structure of Strengthening Precipitates Forming in High-Temperature of Al-Cu-Mg Alloys // The Physics of Metals and Metallography. – 1993. V. 75. – №3. – P. 279-285.

134. Chirkov E.F. Fundaments of Developing Compositions for Weldable Wrought Aluminium Alloys with Enhanced Heat Resistance / In: Proc. ICAA-9. –2005. – P. 692-699.

135. Chirkov E.F. Mn, Ti, Fe Effect on Hot Shortness of Al-Cu-Mg System Alloy Located in Phase Region α -S / In: Proc. ICAA-6. – 1998. Part 1. – P. 595-601.

136. Chirkov E.F., Dolzhanski Y.M. Transition Metal Small Additions Effect on Hot Shortness of High – Temperature Weldable Alloy 1151 (Al-Cu-Mg) / In: Proc. ICAA-7. – 2000. Part 3. – P. 1731-1737.

137. Chirkov E.F., Dolzhanski Y.M., Fridlyander I.N. Change of Fluidity of Aluminium Superalloy 1151 (Al-Cu-Mg) During its Alloying by Transition Metals / In: Proc. ICAA- 7. – 2000. Part 1. – P. 331-338.

138. Chirkov E.F., Fridlyander I.N., Cherkassov V.V. Universal Structural Weldable Aluminium Alloy 1151 with Improved Corrosion Resistens for Operation at Elevated and Cryogenic Temperature / In: Proc. ICAA-6. – 1998. V. 3. – P. 2041.

139. De Sorbo W., Turnbull D. // Acta. Met. – 1958. – №7. – P. 83.

140. Ganiev, I.N. E-AlMgSi (aldrey) Aluminum conductive alloy with the solid-state cadmium oxidation kinetics / E.J. Kholov, J.H. Jayloev, N.I. Ganieva, V.Dz. Abulkhaev // Modern Electronic Materials. – 2022. – №2(187). – Pp. 77-82.

141. Hirosuke Inagaki, Toshio Komatsubara. Yield Point Elongation in Al-Mg Alloys / Aluminium Alloys: ICAA-7 (Apr. 9-14). – Virginia, USA, 2000. – P. 1303-1308.

142. Kamikawa, N. Strengthening mechanisms in nanostructured high-purity aluminium deformed to high strain and annealed / N. Kamikawa, X. Huang, N. Tsuji, N. Hansen // Acta Mater. – 2009. Vol. 57. – №14. – P. 4198-4208.

143. Na J., Jin-feng L., Ziquao Z., Xiu-yu W., Yanfen L. Effect of aging on mechanical properties and localized corrosion behaviors of Al-Cu-Li alloy // Trans. Nonferrous Metal. Soc. – China, 2005. V. 15. – №1. – P. 23-29.

144. Panseri C., Federighi T. // Acta. Met. – 1958. – №3. – P. 1223.

145. Panseri C., Federighi T. // Phil. Met. – 1963. – №11. – P. 575.

146. Phillips H.W.L. Annotated Equilibrium Diagrams of Some Aluminium Alloy Systems. The Inst. Of Met. Monograph and Report Series. – 1959. – №25. – 86 p.

147. Stanford N., Atwell D., Beer A., Davies C., Barnett M.R. Effect of microalloying with rare-earth elements on the texture of extruded magnesium-based alloys. Scripta Mater. – 2008. Vol. 59. – No.7. – P. 772-775.

148. Todaka, Y. Influence of High-Pressure Torsion Straining Conditions on Microstructure Evolution in Commercial Purity Aluminum / Y. Todaka, M. Umemoto, A. Yamazaki, J. Sasaki, K. Tsuchiya // Materials Transactions. – 2008. Vol. 49. – №1. – P. 7-14.

149. Westmacott K.A., Barnes R.N., Hull D., Smallman R.E. // Phis. Mag. – 1961. – №6. – P. 929.

150. Wilson R.N., Moore D.M., Forsyth P.Y.E. // J. Inst. Met. – 1967. – №95. – P. 177.

151. Yang, Y. Microstructure Evolution of 1050 Commercial Purity Aluminum Processed by High-Strain-Rate Deformation / Y. Yang, Y. Chen, F. Ma, H. Hu, Q. Zhang, T. Tang, X. Zhang // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2015. Vol. 24. – №11. – P. 4307-4312.

Диссертатсияҳо ва авторефератҳо

152. Абуали Элмурод. Таъсири литий, натрий ва калий ба хосиятҳои механикӣ ва физикавӣ-химиявӣ хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминий: дисс. номзади илмҳои техникӣ, аз рӯйи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 – саноати мошинсозӣ). – Душанбе, 2025. – 183 с.

153. Джумъева Мавджуда Бердиевна Физико-механические и химические свойства свинцового баббита B(PbSb15Sn10) с магнием, цинком и кадмием: автореферат диссер. кандидата технических наук. Научная специальность 2.6.17-Материаловедение (технические науки) Душанбе – 2025. – 27 с.

154. Ганиев, И.Н. Синтез, физико-химические свойства и применение алюминиевых сплавов с редкоземельными и щелочноземельными металлами:

диссертация доктора химических наук: 02.00.01 Неорганическая химия / Ин-т химии им. В.И. Никитина АНТ ССР. – Душанбе, 1991. – 540 с.

155. Сафаров Амиршо Гоибович. Физико-химические свойства алюминиевых сплавов с кремнием, железом, оловом, свинцом, сурьмой и висмутом: автореферат. Дисс. доктора техн. наук по специальности: 05.02.01 - Материаловедение (в машиностроении). – Душанбе, 2021. – 122 с.

156. Талуц, С.Г. Экспериментальное исследование теплофизических свойств переходных металлов и сплавов на основе железа при высоких температурах: Автореф. дисс. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14 / С.Г. Талуц; Урал. Гос. Ун-т им. А.М. Горького. – Екатеринбург: Изд-во Урал. горн.-геол. акад., 2001. – 38 с.

157. Ходжаназаров Хайрулло Махмудхонович Физико-химические свойства свинцового баббита $B(PbSb_{15}Sn_{10})$ с литием, натрием и калием: автореферат диссер. кандидата технических наук. Специальность 2.6.17- Материаловедение (технические науки). – Душанбе, 2023. – 28 с.

158. Ходжаназаров Х.М. Физико-химические свойства свинцового баббита $B(PbSb_{15}Sn_{10})$ с литием, натрием и калием: дисс. канд. технических наук по специальности 2.6.17 – материаловедение (технические науки). – Душанбе, 2023. – 183 с.

159. Эсанов, Неъмат Рузиевич Термодинамические и кинетические свойства алюминиевого сплава АЖ2.18 с редкоземельными металлами цериевой подгруппы: дисс.кандидата технических наук: 02.00.04. – Душанбе, 2021. – 164 с.

160. Удельная теплоемкость жидких веществ при 20°C /
Url: <https://generator98.ru/metally/teploemkost-alyuminiya-tablica.html>

ИНТИШОРОТ АЗ РЀИИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ

А) Интишорот дар маҷаллаҳои тақризшаванда, ки аз ҷониби ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Русия нашр шудаанд:

[1-М]. Шоназаров, Р.С. Влияние добавки кальция на теплофизические свойства и гармодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н., Сафаров А.Г. // Теплофизика и аэромеханика. – 2023. Т. 30. – №4. – С. 799-807.

Shonazarov R.S. The influence of calcium addition on thermophysical properties and thermodynamic functions of aluminum alloy $AlCu_{4,5}Mg_1$ / Ganiev I.N., Shonazarov R.S., Elmurod A., Faizulloev U.N., Safarov A.G. // Thermophysics and Aeromechanics. – 2023. Т. 30. – №4. – С. 757-765 (**Scopus**).

[2-М]. Шоназаров, Р.С. Теплоемкость и гармодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$, легированного барием / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н. // Теплофизика высоких температур. – 2023. Т. 61. – №5. – С. 673-678.

Shonazarov R.S. Heat capacity and thermodynamic functions of the aluminum alloy $AlCu_{4,5}Mg_1$ alloyed with barium / Ganiev I.N., Shonazarov R.S., Elmurod A., Faizulloev U.N. // High Temperature. – 2023. Т. 61. – №5. – С. 611-616 (**Scopus**).

[3-М]. Шоназаров, Р.С. Влияние добавок стронция на теплоемкость и гармодинамические функции алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Элмурод А., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. Т. 78. – №3. – С. 35-42.

[4-М]. Шоназаров, Р.С. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ с кальцием, в среде водного раствора $NaCl$ / Шоназаров Р.С. // Вестник Бохтарского государственного

университета имени Носира Хусрава (научный журнал) серия естественных наук. – 2024. – №2/1(120). – С. 64-71.

[5-М]. Шоназаров, Р.С. Таъсири стронсий ба рафтори коррозионӣ электрохимиявии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий дар муҳити 0,3% электролити NaCl / Шоназаров Р.С. // Паёми донишгоҳи Давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав (маҷаллаи илмӣ) силсилаи илмҳои табиӣ. – 2025. – №2/3(138). – С. 115-119.

[6-М]. Шоназаров, Р.С. Микроструктура ва хосиятҳои механикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ҷавҳаронидашуда / Шоназаров Р.С. // Паёми донишгоҳи Давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав (маҷаллаи илмӣ) силсилаи илмҳои табиӣ. – 2025. – №2/4(141). – С. 138-143.

[7-М]. Сайдахмадзода Р.С. Кинетика окисления алюминиевого сплава $AM_{4.5}Mg_1$ типа дюралюмин с кальцием в твёрдом состоянии / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, М.М. Саидзода, С.Ю. Киреев, С.У. Худойбердизода/ Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2026. – №1. – С. 79-94.

Б) Интишорот дар дигар нашрияҳо:

[8-М]. Шоназаров, Р.С. Исследование анодного поведения алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ типа дюралюмин с барием в среде электролита 0,03%-ного NaCl / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Ходжаназаров Х.М., Джайлоев Дж.Х., Файзуллоев У.Н. / Конференсия байналмилалӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Масъалаҳои мубрами таълими фанҳои техникӣ, дақиқ ва риёзӣ». Международной научно-практической конференции «Активные вопросы преподавания технических, точных и математических наук». – Бохтар, 2024. – С. 187-190.

[9-М]. Шоназаров, Р.С. Исследование теплоемкости алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$, легированного барием / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Абуали Элмурод, Файзуллоев У.Н. / Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

«Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ». Маводҳои конференсияи байналмилалӣ илмӣ «рушди инноватсионӣ илм». – Душанбе, 2022. – С. 63-67.

[10-М]. Шоназаров, Р.С. Влияние добавок стронция на коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ / Ғаниев И.Н., Шоназаров Р.С., Абуали Элмурод, Файзуллоев У.Н. // Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ». Маводҳои конференсияи байналмилалӣ илмӣ «рушди инноватсионӣ илм». – Душанбе, 2022. – С. 67-71.

[11-М]. Шоназаров, Р.С. Таъсири стронсий ба рафтори коррозияи-электрохимиявӣ ҳулаи алюминийи $ALCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий дар муҳити 0.3% электролити $NaCl$ / Ғаниев И.Н., Шоназаров Р.С., Хочаназаров Х.М., Файзуллоев У.Н. / Марҳилаҳои муосири рушди илмҳои кимиёвӣ ва техникӣ: масъалаҳои мубрами назария ва амалия (22 октябр). – Душанбе, 2025. – С. 235-238.

В) Ихтироот дар мавзӯи диссертатсия:

[12-М] Ҳула даро асоси алюминий (№1528 ТҶ, аз 13.03.2024).

[13-М] Ҳула даро асоси алюминий (№1365 ТҶ, аз 08.11.2022).

Результаты рентгенофазового анализа продуктов окислений сплава

AlCu_{4,5}Mg₁ с кальцием, стронцием и барием

Search-Match

Settings

Search Range	7 to 70
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	Yes

Matched Materials

A Cupalite, syn

Formula	Al Cu
Pdf Number	88-1713
Figure of Merit	9%
Total Peaks	74
Peaks Matched	13
New Matches	13
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.354319
Concentration	0.0427447
I / Icorundum	1.94

B Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al ₂ O ₄
Pdf Number	71-967
Figure of Merit	4%
Total Peaks	11

Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.15801
Concentration	0.230435
I / Icorundum	3.2

C Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al O ₂
Pdf Number	75-2359
Figure of Merit	2%
Total Peaks	13
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0601234
Concentration	0.0131231
I / Icorundum	3.51

D Aluminum Magnesium

Formula	Al ₁₂ Mg ₁₇
Pdf Number	73-1148
Figure of Merit	1%
Total Peaks	28
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.143736
Concentration	0.0215411
I / Icorundum	2.41

E Magnesium Aluminum Oxide

Formula	Mg Al ₂ O ₄
Pdf Number	73-1959
Figure of Merit	5%
Total Peaks	10
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.616109
Concentration	0.0716448
I / Icorundum	1.87

F Magnesium Copper Oxide

Formula	Mg _{.95} Cu _{.05} O
Pdf Number	77-2180
Figure of Merit	19%
Total Peaks	3
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0252373
Concentration	0.00495924
I / Icorundum	3.16

G Corundum

Formula	Al ₂ O ₃
Pdf Number	75-787
Figure of Merit	1%
Total Peaks	13
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1

Peak Shift	0
Scale Factor	0.0634389
Concentration	0.00856053
I / Icorundum	2.17

H Copper Oxide

Formula	Cu O
Pdf Number	80-76
Figure of Merit	4%
Total Peaks	18
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.96005
Concentration	0.606991
I / Icorundum	4.98

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	13 / 27

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
8.167	10.8169	29	0.245	96.3%	
8.893	9.9350	27	0.245	94.0%	
15.557	5.6911	26	0.196	95.0%	AC
16.055	5.5159	25	0.235	91.2%	
20.217	4.3888	25	0.277	94.9%	
21.021	4.2226	49	0.253	100%	
22.671	3.9189	39	0.225	99.7%	
24.313	3.6578	34	0.249	99.0%	
25.098	3.5452	29	0.213	97.4%	

26.353	3.3791	38	0.240	99.1%	
29.310	3.0446	32	0.235	96.7%	D
31.501	2.8377	32	0.212	96.9%	ACE
36.490	2.4603	47	0.239	99.8%	C
38.700	2.3247	2734	0.255	100%	EH
40.340	2.2340	56	0.250	100%	
41.593	2.1695	42	0.230	98.8%	
42.232	2.1381	38	0.190	94.2%	
42.962	2.1035	84	0.284	100%	F
44.922	2.0161	1756	0.280	100%	BE
47.636	1.9074	106	0.239	100%	
48.199	1.8865	92	0.233	100%	AC
58.476	1.5770	33	0.244	98.0%	A
59.404	1.5546	39	0.259	99.5%	BD
60.293	1.5338	39	0.266	99.7%	G
62.375	1.4875	32	0.236	98.0%	AF
63.003	1.4742	35	0.202	98.7%	
65.378	1.4262	1684	0.256	100%	B

AlCu4.5Mg1+1,0Ca

Search-Match

Settings

Search Range	7 to 70
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	No

Matched Materials

A Aluminum Oxide

Formula	Al O
Pdf Number	75-278
Figure of Merit	4%

Total Peaks	6
Peaks Matched	1
New Matches	1
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.453197
Concentration	0.495149
I / Icorundum	3.34

B Copper Oxide

Formula	Cu O
Pdf Number	74-1021
Figure of Merit	4%
Total Peaks	18
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.131466
Concentration	0.162127
I / Icorundum	3.77

C Calcium Magnesium Aluminum Oxide

Formula	Ca _{0.93} Mg _{0.67} Al _{10.33} O ₁₇
Pdf Number	84-217
Figure of Merit	4%
Total Peaks	61
Peaks Matched	6
New Matches	6
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.157905
Concentration	0.0971078
I / Icorundum	1.88

D Copper Magnesium Oxide

Formula	$\text{Cu}_2 \text{Mg O}_3$
Pdf Number	41-1364
Figure of Merit	3%
Total Peaks	30
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.108527
Concentration	0.0674515
I / Icorundum	1.9

E Spinel, syn

Formula	$\text{Al}_2 \text{Mg O}_4$
Pdf Number	73-559
Figure of Merit	2%
Total Peaks	11
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0801192
Concentration	0.0558236
I / Icorundum	2.13

F Calcium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Ca Al}_2 \text{O}_4$
Pdf Number	70-134
Figure of Merit	2%
Total Peaks	199
Peaks Matched	19
New Matches	19
Strong Unmatched	0

Peak Shift	0
Scale Factor	0.0178798
Concentration	0.00356776
I / Icorundum	0.61

G Calcium Magnesium Aluminum Oxide

Formula	Ca _{.950} Mg _{.900} Al _{10.100} O ₁₇
Pdf Number	76-2462
Figure of Merit	3%
Total Peaks	63
Peaks Matched	6
New Matches	6
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.143188
Concentration	0.0875891
I / Icorundum	1.87

H Calcium Copper

Formula	Ca Cu
Pdf Number	41-1273
Figure of Merit	1%
Total Peaks	85
Peaks Matched	6
New Matches	6
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0357043
Concentration	0.0311841
I / Icorundum	2.67

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	17 / 21

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
14.775	5.9908	24	0.095	90.7%	
16.117	5.4948	24	0.083	92.3%	F
19.657	4.5125	25	0.086	94.3%	
23.024	3.8597	22	0.084	96.3%	F
28.198	3.1621	18	0.078	92.3%	CFGH
29.285	3.0472	21	0.082	95.8%	FH
29.554	3.0201	18	0.091	92.3%	H
30.123	2.9643	22	0.082	96.5%	DF
31.231	2.8616	17	0.095	90.7%	EF
33.719	2.6559	19	0.090	95.0%	FH
34.022	2.6329	22	0.092	97.8%	F
39.060	2.3041	534	0.103	100%	
42.505	2.1250	18	0.086	92.4%	H
44.579	2.0309	23	0.083	97.1%	
45.269	2.0015	220	0.119	100%	ADF
48.043	1.8922	29	0.083	99.7%	G
49.169	1.8515	16	0.081	90.9%	BCEFG
56.798	1.6196	25	0.092	98.2%	FGH
58.678	1.5721	33	0.094	99.8%	BCDFGH

AlCu_{4.5}Mg_{1+1.0}Sr

Search-Match

Settings

Search Range	7 to 70
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	Yes

Matched Materials

A Spinel, syn

Formula	A ₁₂ Mg O ₄
Pdf Number	73-559

Figure of Merit	9%
Total Peaks	11
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.921597
Concentration	0.289189
I / Icorundum	2.13

B Copper Oxide

Formula	Cu O
Pdf Number	80-1268
Figure of Merit	7%
Total Peaks	17
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.431404
Concentration	0.254217
I / Icorundum	4

C Magnesium Aluminum Oxide

Formula	Mg _{0.36} Al _{2.44} O ₄
Pdf Number	77-729
Figure of Merit	6%
Total Peaks	14
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0441509
Concentration	0.00956132
I / Icorundum	1.47

D Strontium Aluminum Oxide

Formula	Sr Al ₄ O ₇
Pdf Number	76-839
Figure of Merit	2%
Total Peaks	52
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0826294
Concentration	0.0361536
I / Icorundum	2.97

E Spinel

Formula	Mg Al ₂ O ₄
Pdf Number	86-2258
Figure of Merit	3%
Total Peaks	11
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.156623
Concentration	0.0401481
I / Icorundum	1.74

F Cupalite, syn

Formula	Al Cu
Pdf Number	88-1713
Figure of Merit	3%
Total Peaks	74
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0928359
Concentration	0.0265325
I / Icorundum	1.94

G Strontium Copper Oxide

Formula	Sr Cu O _{2.5}
Pdf Number	89-502
Figure of Merit	4%
Total Peaks	57
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0615318
Concentration	0.0493128
I / Icorundum	5.44

H Corundum

Formula	Al ₂ O ₃
Pdf Number	75-785
Figure of Merit	1%
Total Peaks	13
Peaks Matched	1
New Matches	1
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.119719
Concentration	0.0382723
I / Icorundum	2.17

I Strontium Copper Oxide

Formula	Sr _{1.81} Cu _{0.905} O _{3.4}
Pdf Number	80-1223
Figure of Merit	2%
Total Peaks	20
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0436951
Concentration	0.0325076
I / Icorundum	5.05

J Strontium Copper Aluminum

Formula	$\text{Sr}_6 \text{Cu}_{6.6} \text{Al}_{7.4}$
Pdf Number	78-1964
Figure of Merit	0%
Total Peaks	107
Peaks Matched	10
New Matches	10
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.283765
Concentration	0.20275
I / Icorundum	4.85

K Strontium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Sr O (Al}_2 \text{O}_3)_2$
Pdf Number	72-1252
Figure of Merit	0%
Total Peaks	117
Peaks Matched	8
New Matches	8
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0814388
Concentration	0.0213556
I / Icorundum	1.78

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	15 / 21

List of Peaks

2-Theta	D-Spacing	Intensity	Width	Confidence	Matches
8.065	10.9534	60	0.074	98.0%	
8.939	9.8842	41	0.077	90.8%	
10.165	8.6945	33	0.077	91.5%	
18.280	4.8491	21	0.076	91.9%	G
24.939	3.5675	18	0.071	91.7%	
27.441	3.2476	19	0.078	91.6%	J

30.393	2.9385	17	0.069	91.8%	
33.108	2.7035	26	0.089	97.8%	CGJ
33.411	2.6796	22	0.072	96.0%	GI
33.646	2.6615	20	0.073	94.0%	DJK
38.307	2.3477	23	0.089	96.2%	K
38.769	2.3208	253	0.114	100%	B
40.523	2.2243	18	0.079	91.6%	
44.971	2.0141	490	0.106	100%	AG
46.417	1.9546	30	0.075	99.6%	HJK
47.134	1.9266	21	0.076	91.3%	FJK
56.146	1.6368	32	0.082	96.0%	IJK
61.308	1.5108	37	0.084	97.9%	K
65.336	1.4271	162	0.086	100%	ADJ
65.970	1.4152	45	0.071	99.8%	BDFGJ
69.014	1.3597	39	0.088	95.1%	B

AlCu4.5Mg1+1,0Ba

Search-Match

Settings

Search Range	7 to 70
Data Source	Raw data
Trust Intensities	Yes
Allow Zero Errors	No
Figure of Merit	Multi-phase
Apply Restrictions	Yes

Matched Materials

A Aluminum, syn

Formula	Al
Pdf Number	4-787
Figure of Merit	24%
Total Peaks	3
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0561278
Concentration	0.102048
I / Icorundum	3.62

B Copper Oxide

Formula	Cu_{64}O
Pdf Number	77-1898
Figure of Merit	6%
Total Peaks	143
Peaks Matched	15
New Matches	15
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0145577
Concentration	0.0357538
I / Icorundum	4.89

C Brucite

Formula	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
Pdf Number	86-441
Figure of Merit	8%
Total Peaks	8
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0961907
Concentration	0.108702
I / Icorundum	2.25

D Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al O_2
Pdf Number	75-2360
Figure of Merit	5%
Total Peaks	13
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0089998
Concentration	0.0154137
I / Icorundum	3.41

E Spinel, syn

Formula	$(\text{Mg}_{0.77} \text{Al}_{0.23}) (\text{Al}_{0.885} \text{Mg}_{0.115})_2 \text{O}_4$
Pdf Number	86-85
Figure of Merit	5%
Total Peaks	11
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.760678
Concentration	0.641844
I / Icorundum	1.68

F Barium Aluminum Hydroxide

Formula	$\text{Ba}_2 (\text{Al}_2 (\text{O H})_{10})$
Pdf Number	72-621
Figure of Merit	0%
Total Peaks	153
Peaks Matched	13
New Matches	13
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0422966
Concentration	0.0584195
I / Icorundum	2.75

G Barium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Ba}_3 \text{Al}_2 \text{O}_6$
Pdf Number	25-75
Figure of Merit	0%
Total Peaks	67
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0627487
Concentration	0.0378186
I / Icorundum	1.2

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	13 / 15

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
8.375	10.5486	55	0.073	96.3%	B
9.957	8.8759	56	0.078	99.0%	
17.179	5.1574	28	0.077	95.6%	
20.044	4.4263	29	0.078	97.6%	BG
37.568	2.3922	33	0.076	99.4%	D
37.829	2.3763	28	0.088	97.4%	BFG
38.338	2.3458	359	0.134	100%	CE
40.695	2.2153	24	0.076	95.5%	B
43.618	2.0734	22	0.080	93.7%	F
44.672	2.0269	160	0.099	100%	ABEFG
50.403	1.8090	22	0.079	95.6%	G
57.951	1.5901	54	0.079	99.8%	BFG
58.944	1.5656	29	0.079	90.6%	BCE
64.570	1.4421	83	0.186	96.5%	B
64.881	1.4362	3874	0.082	100%	BE

ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Шоназаров Р. С.

муаллифи ихтирои *Хӯла дар асоси алюминий*

Ба ихтироъ
нахустпатенти № ТҶ 1365 дода шудааст.

Дорандаи
нахустпатент Муассисаи давлатии илмӣ «Институти кимиё ба номи
В.И. Никитин»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Ғаниев И. Н., Сафаров А. М., Абуали Э.,
Ҷабборов Б. Б., Файзуллоев У. Н., Ғаниева Н. И., Ҷайлоев Ҷ. Ҳ.

Аввалияти ихтироъ 08.11.2022

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 08.11.2022

Аризаи № 2201749

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

07 апрели с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент

эътибор дорад аз 08 ноябри с. 2022 то 08 ноябри с. 2032

Ин шаҳодатнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Шоназаров Р.С.**

Является автором изобретения **СПЛАВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **1365**

Патентообладатель **Государственное научное учреждение "Институт химии им. В.И. Никитина" Национальная Академия наук Таджикистана**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Ганиев И.Н., Сафаров А.М, Абуали Э., Джабборов Б.Б., Файзуллоев У.Н., Ганиева Н.И., Джайлоев ДЖ.Х.**

Приоритет изобретения **08.11.2022**

Дата подачи заявления **08.11.2022**

Заявление № **2201749**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан **07 апреля 2023**

Малый действителен с **08 ноября 2022** г. по **08 ноября 2032** г.

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством



ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шахрванд Шоҳзаров Р.С.

муаллифи ихтирои *Хула дар асоси алюминий*

Ба ихтироъ
нахустпатенти № Т.Ҷ. 1528 дода шудааст.

Дорандаи Муассисаи давлатии илмӣ "Институти физикию техникаи
нахустпатент ба номи С.У. Умаров"-и Академияи миллии илмҳои ҶТ.

Сарзамини Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Ғаниев И.Н., Холмуродов Ф., Ҷабборов Б.Б., Файзуллоев
У.Н., Сафаров А.Ғ., Ботуров Қ.

Аввалияти ихтироъ 13.03.2024

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 13.03.2024

Аризаи № 2401937

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

29 августи с. 2024 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент
эътибор дорад аз 13 март с. 2024 то 13 март 2034 с.

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

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.Х.



РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Шоназаров Р.С.**

Является автором изобретения **Сплав на основе алюминия**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **1528**

Патентообладатель **Государственное научное учреждение «Физико-технический институт имени С.У. Умарова» Национальной академии наук Таджикистана**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Ганиев И.Н., Холмуродов Ф., Джабборов Б.Б., Файзуллоев У.Н., Сафаров А.Г., Ботуров К.**

Приоритет изобретения **13.03.2024**

Дата подачи заявления **13.03.2024**

Заявление № **2401937**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан

29 августа 2024

Малый действителен с **13 марта 2024**
Патент

г. по **13 марта 2034** г.

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот, установленных действующим законодательством

