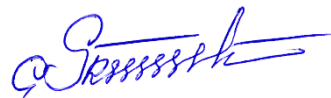


**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»**

Бо ҳуқуқи дастнавис



САЙДАҲМАДЗОДА РАҶАБАЛӢ САЙДАҲМАД

**ТАЪСИРИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ БА ХОСИЯТҲОИ
ФИЗИКАВӢ-МЕХАНИКӢ ВА ХИМИЯВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИ
 $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНИЙ**

АВТОРЕФЕРАТИ

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

ДУШАНБЕ – 2026

Диссертатсия дар МДИ «Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Ғаниев Изатулло Наврузович,

доктори илмҳои химия, профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон.

Муқарризи расмӣ:

Исозода Диловаршо Тарик,

доктори илмҳои техника, дотсенти кафедраи таъминоти барқ ва бехатарии электрикии Донишқадаи энергетикаи Тоҷикистон

Садриддинзода Сабур Садриддин,

номзади илмҳои техника, дотсенти кафедраи сохтмон ва меъмории Донишгоҳи давлатии Данғара.

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С.Айнӣ

Ҳимояи диссертатсия «16» сентябри соли 2026, соати 09:00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6Д.КОА-110-и назди Институти кимиёи ба номи В.И.Никитини АМИТ, дар суроғай 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2 баргузор мегардад. **E-mail:** info@ikai.tj

Бо матни диссертатсия ва автореферат дар китобхона ва сомонаи Институти кимиёи ба номи В.И.Никитини АМИТ: www.ttu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи «_____» _____с.2026 фиристода шуд.

Котиби илмӣ

Шурои диссертатсионӣ,

номзади илмҳои техника, дотсент



Холов Х.И.

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 ҷузьҳои гуногуни техникӣ васеъ истифода мешаванд. Имрӯз илова ба ҳосиятҳои асосии хӯлаҳои металлӣ, инчунин устуворӣ ба шароити номусоиди муҳити зист, тағйирёбии ҳарорат, сабуквазӣ ва арзон будани онҳо талаб карда мешавад. Дар амал бисёр ҷузьҳои металлӣ дар шароити сарбории зиёди механикӣ, ҳарорати баланд ва таъсири муҳитҳои кимиёвии ғайрифаҳш сохта мешаванд. Чунин шароит ба устуворӣ ва муҳлати хизмати онҳо таъсири манфӣ мерасонад. Аз ин рӯ, беҳтар намудани ҳосиятҳои хизмати хӯлаҳо яке аз масъалаҳои муҳимтарини маводшиносии муосир ба шумор меравад, зеро он ба беҳатарию васлкуниҳо, боэътимодии дастгоҳҳо ва самаранокии иқтисодии истеҳсолот таъсири мустақим мерасонад. «Бе коркарди усулҳои нави истеҳсоли мавод ва такмили технологияҳои истеҳсоли пешрафти минбаъдаи илму техника ғайриимкон аст» [8].

Алюминий дар байни маводди саноат истифодашаванда мавқеи махсус дорад. Алюминий ва хӯлаҳои аз он ҳосилшуда, ба тӯфайли ҳосиятҳои мусоидашон, маводди муҳимтарини даврони муосир ба ҳисоб рафта, дар аксарияти соҳаҳои саноату техника татбиқи васеъ доранд. Такмили пайвастаи 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 ғайрифаҳш 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-саноатикунони босуръат саҳми назаррас гузорад» [11, с. 168].

Дар таҳқиқоти мо хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg1$ мавриди омузиш қарор дода шудааст, ки ба гурӯҳи дюралюминий мансуб аст. Ин хӯлаҳо бо сабаби зичии паст ва ҳосиятҳои баланди механикӣ дар амалия васеъ истифода мешаванд. Бо вучуди 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 - ҳосиятҳои хӯла беҳтар гарданд [1].

Ҳангоми тарҳрезии иншоот ва конструкцияҳои муҳандисӣ интихоби мавод нақши ҳалкунанда мебозад. Ҳосиятҳои механикӣ, таркиби химиявӣ, микросохтор ва устуворӣ ба зангзанӣ омилҳои асосие мебошанд, ки боэътимодӣ ва муҳлати хизмати конструкцияҳоро муайян мекунанд. «Аз ҳамин сабаб, имрӯз дар сохторҳои, ки зерини таъсири сарбории зиёд ва муҳитҳои зангзананда қарор доранд, истифодаи хӯлаҳои алюминий, аз ҷумла дюралюминий, бештар ба назар мерасад» [2].

Қайд кардан зарур аст, ки «истифодаи дастовардҳои илму техника ва инчунин омузишу ба эътибор гирифтани хосиятҳои физикавӣ-кимиявӣ хӯлаҳо барои соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ аҳамияти бузург дорад» [6]. Коркард ва қорӣ намудани равандҳои самарабахши технологӣ имкон фароҳам меорад, ки конструксияҳои бозътимод, камхарҷ ва баландсифати мошинсозӣ таҳия ва истеҳсол карда шаванд. Ин равандҳо ба баланд бардоштани нишондиҳандаҳои хосиятҳои хизматии онҳо, коҳиш додани масрафи металл дар конструксияҳо ва дароз намудани муҳлати истифодаи онҳо мусоидат менамоянд [3].

Бо мақсади ба даст овардан ва беҳтар намудани хосиятҳои физикавӣ-кимиявӣ 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 кимиявӣ 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» [4].

Дастовардҳои назарраси илм дар ҳамаи соҳаҳои техника бидуни рушди технологияҳои нави истеҳсоли маводди ояндадор ғайриимкон мебошанд. Ба ҷунин маводди ояндадор хӯлаҳои системаи Al–Be мансубанд, ки бо дарназардошти хусусиятҳои зерин фарқ меkunанд: 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, ҷунин хӯлаҳо махсусан дар соҳаи ҳавопаймосозӣ васеъ истифода мешаванд. Бо вучуди ин, бо мақсади такмил додани хосиятҳои физикавӣ-механикии онҳо, хӯлаҳои мазкур бо дигар элементҳои металлӣ легиронида (ҷавҳаронида) мешаванд, ки ин ба беҳтар гардидани нишондиҳандаҳои истифодабарии онҳо мусоидат менамояд.

Аз сарчашмаҳои илмӣ маълум аст, ки «хосиятҳои гармофизикии хӯлаҳои системаҳои Al-Cu, Al-Cu-Mg ва Al-Cu-Mg-Ag, инчунин равандҳои ҷавҳаронидани онҳо, мавриди омузиши васеи муҳаққиқон қарор гирифтаанд» [5].

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 баҳшида шудааст. «Дар рафти кор таъсири онҳо ба хосиятҳои механикӣ, гармофизикӣ ва гармодинамикии ҳӯла, инчунин ба кинетикаи раванди оксидшавӣ ва рафтори электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий мавриди омузиш қарор мегирад» [12, с. 43].

Баъд аз таҳлили сарчашмаҳои илмӣ муайян гардид, ки маълумоти мушаххас оид ба ҷавҳаронидани ҳӯлаи дюралюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо унсурҳои ишқорзаминӣ дастрас нест. Аз ин рӯ, масъалаи мазкур ҳамчун объекти таҳқиқоти илмӣ интихоб гардида, ба таркиби ҳӯла 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 ҳӯла ва асоснок намудани интихоби он ҳамчун маводди сохторӣ аҳамияти муҳими назариявӣ ва амалӣ доранд.

Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омузиш. Масъалаҳои таъсири элементҳои гуногун ба хосиятҳои физикавӣ-механикӣ ва химиявии ҳӯлаи алюминийи дар корҳои олимони тоҷик ва рус З. Низомов [1], И.Н. Ғаниев [2], З.Р. Обидов [3], Т.Д. Джураев [4], Ф.И. Квасов [5], И.Н. Фридляндер [6], И.Ф. Колобнев [7], Р.Л. Петров [8], Е.Ф. Чирков [9], В.Г. Шевченко [10], Н.Е. Стручева [11], И.В. Семёнов [12], Л.Ф. Мондольфо [13], Б.М. Лепинских [14] инчунин муҳаққиқони хориҷӣ, аз ҷумла А.А. Alekseev [15], E.F. Chirkov [16], E.F. Chirkov [17], N. Stanford [18], Yang Y. [19] ва дигарон мавриди омузиш қарор гирифтаанд. Аммо таҳлили сарчашмаҳои илмӣ нишон медиҳад, ки оид ба таъсири иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ – калсий, стронсий ва барий – ба хосиятҳои физикавӣ-химиявии ҳӯлаи алюминийи навъи дюралюминий $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ маълумоти мукамал мавҷуд нест. Дастрас набудани маълумоти кофӣ оид ба хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва электрохимиявии ин система зарурати гузаронидани таҳқиқотро ба миён овард.

Бо дарназардошти аҳамияти илмӣ ва амалӣ доштани масъала, омузиши таъсири иловаҳои Ca, Sr ва Ba ба хосиятҳои физикавӣ-кимиёвӣи ҳӯлаи мазкур гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣи фарогирро тақозо менамояд. Аз ин рӯ, масъалаи мазкур ҳамчун масъалаи мустақили илмӣ дар доираи диссертатсия мавриди баррасӣ қарор дода шудааст. Гузаронидани чунин таҳқиқот метавонад ба тавсеа ва истифодаи самараноки алюминийи ватанӣ, махсусан барои эҳтиёҷоти соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқи Ҷумҳурии Тоҷикистон, мусоидат намояд.

Дар ҳамин замина, ҳадафи асосии таҳқиқот муайян намудани хосиятҳои гармодинамикии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ ҳангоми илова намудани металлҳои ишқорзаминӣ (Ca, Sr, Ba), инчунин омузиши кинетикаи оксидшавӣ вобаста ба ҳарорат ва таҳқиқи хосиятҳои зангзанӣ ва электрохимиявии он дар муҳити маҳлули хлориди натрий бо консентратсияҳои 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 саноатикунонии 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 стратегияи кишвар-Стратегияи рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030-равона шудааст. Мутобиқи муқаррароти ин стратегия, Ҷумҳурии Тоҷикистон марҳала ба марҳала аз амсилаи аграрӣ саноатӣ ба амсилаи саноатӣ-аграрӣ 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 ҳулаҳои нави алюминийи навъи дюралюминий бо сохтори тағйирёфта мебошад, ки дар асоси системаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ таҳия шудаанд. Ҳамзамон дар доираи кор тағйирёбии функсияҳои муҳими гармодинамикӣ ва гармигунҷоиш (иқтидори гармӣ)-и ин ҳулаҳо вобаста ба тағйири ҳарорат, инчунин омузиши кинетикаи оксидшавӣ дар ҳолати сахтӣ ва қонуниятҳои зангзании электрохимиявии ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми ҷавҳаронӣ бо калсий, стронсий ва барий мавриди таҳлил ва арзёбӣ қарор дода мешавад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- омузиши функсияҳои асосии гармодинамикӣ ва гармигунҷоиши ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ вобаста ба ҳарорат ва миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда;
- муайян намудани механизми оксидшавӣ дар ҳолати сахт ва параметрҳои кинетикии оксидшавии ҳулаи дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми иловаи миқдори ками Ca, Sr ва Ba;
- омузиши раванди зангзании электрохимиявии ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар муҳити электролити NaCl ва муайян намудани вобастагии нишондиҳандаҳои зангзанӣ аз миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда ва консентратсияи ионҳои хлорид дар муҳит;
- анҷом додани таҳлили микросохтории ҳулаҳои ҳосилшуда ва арзёбии таъсири ҷавҳаронӣ ба тағйироти хосиятҳои механикӣ.

Объекти таҳқиқот: ҳулаи алюминийи навъи дюралюминий $AlCu_{4,5}Mg_1$ (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 ҳулаи дюралюмини $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо миқдори ками Ca, Sr ва Ba ҷавҳаронида шуда ташкил медиҳад.

Навгони илмӣ

- бори аввал қонуниятҳои тағйирёбии ҷузъҳои микросохтории ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми илова намудани миқдори ками металлҳои ишқорзаминӣ Ca, Sr ва Ba муайян ва асоснок карда шуданд;
- сахтӣ ва нишондиҳандаҳои устувории ҳулаҳои нави дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$, 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 ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ 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 $AlCu_{4,5}Mg_1$, ки бо иловаи калсий, барий ва стронсий ҷавҳаронида шудааст, муайян гардида, механизми эҳтимолии ин раванд пешниҳод ва тавсиф гардид;

- устувории анодӣ ва хусусиятҳои электрохимиявии ҳулаи навъи дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо Sr, Ba ва Ca дар муҳити ҳашини маҳлули NaCl муайян ва арзёбӣ гардиданд.

Натиҷаҳои бадастомада донишҳои мавҷударо оид ба таъсири металлҳои ишқорзаминӣ ба ҳулаҳои алюминийи навъи дюралюмин такмил дода, заминаи илмиро барои таҳияи маводди нави ба зангзанӣ муқовиматкунандаро фароҳам меоранд.

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 ҳулаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ 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 ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ 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 самарائي иқтисодии назаррас ба бор оварад.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- дар натиҷаи таҳқиқоти таҷрибавии анҷомдодаи муҳаққиқ муайян карда шудааст, ки ҷавҳаронии ҳулаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий боиси тағйирёбии микросохтор ва таркиби фазавии он гардида, вобаста ба консентратсияи элементҳои ҷавҳаронӣ хосиятҳои механикӣ ҳуларо беҳтар менамояд;

- вобастагии гармиғунҷоиш, коэффитсиенти гармигузаронӣ, энталпия, энтропия ва энергияи озоди Гиббс ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ аз ҳарорат ва консентратсияи иловаҳои калсий, стронсий ва барий муайян карда шуда, таъсири ин элементҳо ба функцияҳои асосии термодинамикӣ ҳула аз ҷиҳати илмӣ асоснок карда шудааст;

- муайян карда шудааст, ки ҷавҳаронии ҳулаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ 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 коррозсионии онро баланд мебардорад.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо. Эътимоднокии натиҷаҳои бадастомада бо маҷмуи омилҳо таъмин карда мешавад, аз ҷумла: истифодаи таҷҳизоти муносири озмоишӣ, ки тибқи талаботи амалкунанда аз санҷиши метрологӣ, сертификатсия ва калибронӣ гузаштаанд; татбиқи усулҳои эътирофшудаи

физикавӣ-кимиёвӣ ва электрохимиявӣ таҳқиқот; такрорпазирии натиҷаҳои таҷрибавӣ; инчунин мутобиқати маълумоти ҳосилшуда бо қонуниятҳо ва концепсияҳои муосири назариявӣ маводшиносӣ ва химияи физикӣ. Илова бар ин, таҳлили муқоисавӣ 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 рӯи 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 таҷрибавӣ алоқаи бунёдии таркибу сохтори мавод бо маҷмуи ҳосиятҳои физикӣ-механикӣ бо мақсади таъмини эътимодноӣ ва дарозумрии маводҳо ва маснуотҳо;

Банди 2. Доир ба асосҳои илмӣ кор карда баромадани маводҳои дорои ҳосиятҳои 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 ҳосиятҳои додашуда ҳастанд;

Банди 4. Тарҳрезӣ ва бунёди маводди нав, ки ҳосиятҳои беназири функционалӣ, физикӣ-механикӣ, амалиётиву 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 доктарабони дараҷаи илмӣ. Саҳми шахсии муаллиф дар интиҳоби самти таҳқиқот ва асосноккунии масъалаи илмӣ, таҳияи нақша ва барномаи таҷрибавӣ 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 илмӣ 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 илмӣ сатҳи ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ гузориш дода шуда, мавриди муҳокима қарор гирифтаанд, аз ҷумла: конференсияи VIII байналмилалӣ «Мушкилоти муосири физика», Муассисаи давлатии илмӣ «Институти физикаю техникаи ба номи С.У. Умарови Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон» (Душанбе, 2022); конференсияи байналмилалӣ илмӣ «Рушди инноватсионии илм», Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (Душанбе, 2022); конференсияи илмӣ-назариявӣ ҷумҳуриявӣ «Мушкилоти химияи муосир ва ҳолати татбиқи он дар раванди таълим» (Данғара, 2022); конференсияи байналмилалӣ 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 тақмил ва дақиқсозии ҳулосаҳои 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 навлониҳои таҳқиқот Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи муаллиф (№1528 TJ, аз 13.03.2024) ва як Нахустпатент дар ҳаммуаллифӣ (№1365 TJ, 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.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар **муқаддима** интиҳоби мавзӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ асоснок карда шудааст, ҳамчунин ҳадаф ва вазифаҳои кор равшан муайян гардидаанд. Дар баробари ин, усулҳое, ки дар чараёни таҳқиқот истифода шудаанд, ба таври мухтасар шарҳ дода шудаанд. Мувофиқи талаботи мавҷуда, муқаррароте пешниҳод гардидаанд, ки навоариҳои илмӣ натиҷаҳои бадастомада, аҳамияти назариявӣ ва арзиши амалии онҳоро инъикос мекунанд. Ҳамчунин, нуктаҳои асосие, ки ба ҳимоя пешниҳод мешаванд, ба таври мураббаъ ва фаҳмо баён гардидаанд.

Дар **боби аввал** «Ҳосиятҳои физикавӣ-химиявии ҳӯлаҳои алюминийи навъи дюралюминий» маълумоти мавҷуда дар бораи таҳқиқоти олимон дар ин самт оварда шудааст. Маълумоти умумӣ дар бораи ҳӯлаи барои омӯзиш интиҳобшуда ва дар бораи унсурҳои иловашаванда пешниҳод карда шудаанд. Маълумот оид ба сохтор, таркиби фазавӣ, ҳосиятҳо ва таъсири унсурҳои ҷавҳаркунанда ҷамъбаст карда шудааст. Ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$, хусусиятҳои асосӣ ва соҳаҳои истифодаи он мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.

«Дикқати махсус ба ҳосиятҳои гармофизикӣ, инчунин ба равандҳои оксидшавӣ ва рафтори зангзании алюминий ва ҳӯлаҳои он дар шароити гуногуни истифода дода шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқоте, ки ба тағйирёбии ҳосиятҳои зангзании ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ҳангоми ҷавҳронӣ бо иловаҳои хурди унсурҳои гуногун бахшида шудаанд, таҳлил гардидаанд» [1-М].

«Дар айни замон муайян карда шудааст, ки таъсири металлҳои ишқорзаминӣ- калсий, стронсий ва барий - ба хусусиятҳои кории ин ҳӯла дар адабиёти илмӣ қариб ки мавриди баррасӣ қарор нагирифтааст. Ин ҳолат аҳамияти илмӣ ва зарурати гузаронидани таҳқиқоти иловагиро дар ин самт муайян мекунад. Дар асоси таҳлили анҷомдода ҳолигиҳои мавҷуда ошкор гардиданд, ки ин имконият дод интиҳоби мавзӯи таҳқиқоти диссертатсионӣ асоснок карда шавад ва ҳадафу вазифаҳои он муайян гарданд» [1-М].

Дар боби дуюм «Мавод ва усулҳои таҳқиқи хосиятҳои физикавӣю химиявӣю хӯлаҳо» маводҳои истифодашуда ва маҷмӯи усулҳои таҷрибавӣю, ки барои омузиши хосиятҳои физикавӣю-химиявӣю хӯлаҳои алюминий ба кор бурда шудаанд, ба таври муфассал оварда шудаанд. Тавсифи хӯлаи ибтидоӣю, шароити ҳосилкунӣю ва ҷавҳаронии он, инчунин асосноккунии интиҳоби усулҳои таҳқиқот пешниҳод гардидааст.

«Ба таври муфассал дастгоҳҳо ва усулҳое, ки барои муайян кардани хосиятҳои механикӣю ва гармофизикии хӯлаҳо истифода шудаанд, шарҳ дода шудаанд. Аз ҷумла, методикаи ҷенкунии сахтӣю аз рӯи Бринелл оварда шуда, бартарии асосӣю ва вобастагҳои ҳисоббарории он баррасӣ гардидаанд» [2-М].

Хусусиятҳои омузиши хосиятҳои гармофизикӣю бо усули «хунуккунӣю» тавсиф шудаанд, ки имкон медиҳад тағйирёбии хосиятҳои мавод вобаста ба шароити ҳароратӣю арзёбӣю гардад.

Диққати махсус ба усули гармогравиметрӣю дода шудааст, ки барои омузиши кинетикаи равандҳои оксидшавӣю хӯлаи навъи дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg1$ хангоми ҷавҳаронӣю бо металлҳои ишқорзаминӣю истифода шудааст; нишондиҳандаҳои асосии таҷриба ва равишҳои тафсири натиҷаҳои бадастомада шарҳ дода шудаанд.

Усулҳои омузиши хосиятҳои электрохимиявӣю ва зангзании хӯлаҳо, аз ҷумла усули потенциостатикӣю барои муайян кардани хосиятҳои электрохимиявӣю маводҳои синтезшуда, низ тавсиф гардидаанд. Шароити гузаронидани озмоишҳо ва усулҳои арзёбии муқовимат ба зангзанӣю дар муҳитҳои гуногун баррасӣ шудаанд.

Боби сеюм «Таҳқиқи хосиятҳои механикӣю, гармофизикӣю ва гармодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст» натиҷаҳои таҳқиқи хосиятҳои механикӣю, гармофизикӣю ва гармодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg1$ (навъи дюралюмин), ки бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий тағйир дода шудааст, пешниҳод гардидаанд.

Дар рафти кор таъсири ин унсурҳо ба гармиғунҷоиш, устувории гармӣю ва тағйирёбии функцияҳои асосии гармодинамикии хӯла мавриди омузиш қарор гирифтааст. Вобастагҳои хосиятҳои физикавӣю-механикии мавод аз таркиби кимиёвӣю ва низомҳои ҳароратии коркард муайян карда шудаанд.

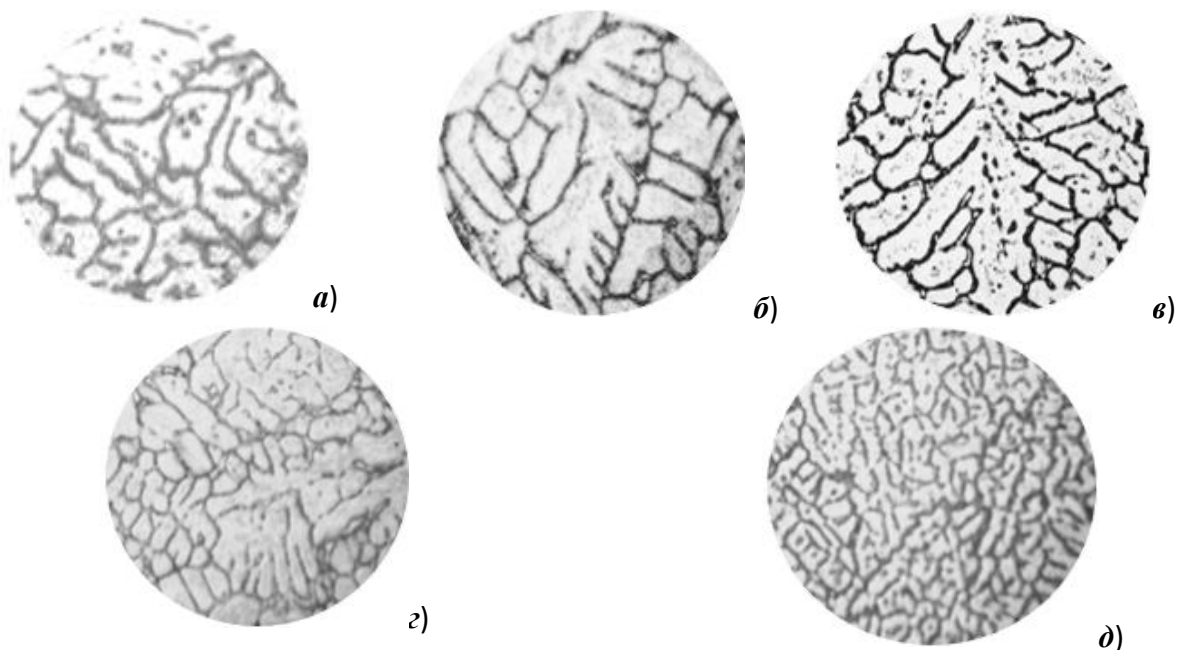
«Натиҷаҳои бадастомада нишон медиҳанд, ки истифодаи иловаҳои калсий, стронсий ва барий метавонад барои беҳтар намудани хосиятҳои кории хӯлаи алюминийи таҳқиқшаванда мусоидат намояд» [3-М].

Аслан таъсири тағйирёбӣю ва коркарди ҳароратии хӯлаҳо, ки хосиятҳои онҳоро ифода менамоянд ва сабабгори вайроншавӣю хӯлаҳои алюминий мегарданд аз рӯи микросохтор мавриди омузиш қарор мегиранд. Таҳқиқоти микросохтори хӯлаҳо барои муайян намудани ҳудуди байни андозаҳои якхелаи гетерогенӣю дар вобастагӣю аз таркиб ва ҳарорат ва инчунин фазаҳои байниметаллӣю истифода бурда мешавад.

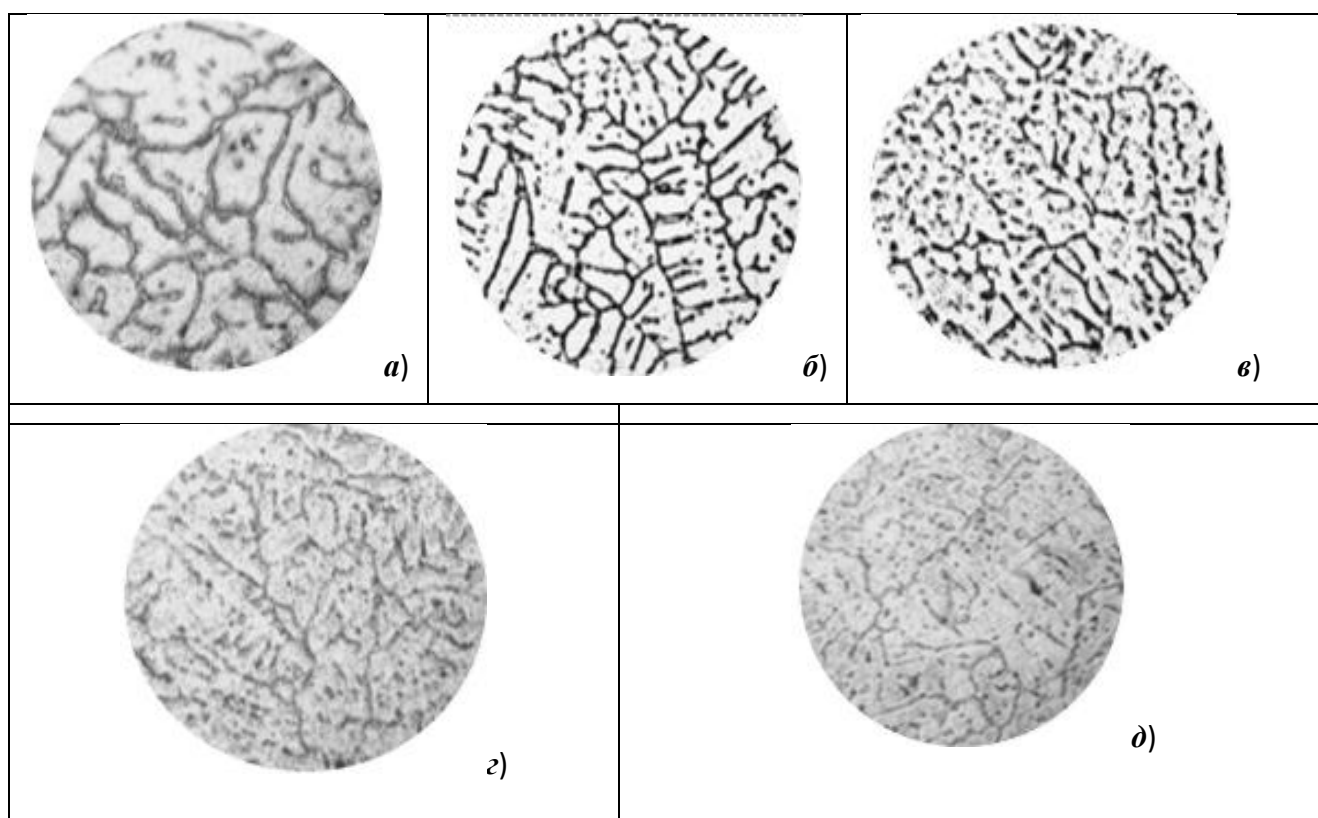
Аз хӯлаҳои ҳосилнамуда, намунаҳои силиндрии диаметраш 15мм ва дарозияш 20мм гирифта, барои омӯختани микросохтор, аввалан онҳоро сайқал дода, бо спирт ва маҳлули обии 0,5%-и HF дар мудати 30 то 50с коркард менамоянд.

«Хӯлаи таҳқиқшуда аз 4,5% мис (Cu), 1,0% магний (Mg) ва 94,5% алюминий (Al) иборат буд. Барои беҳтар намудани хосиятҳои он ба таркиби

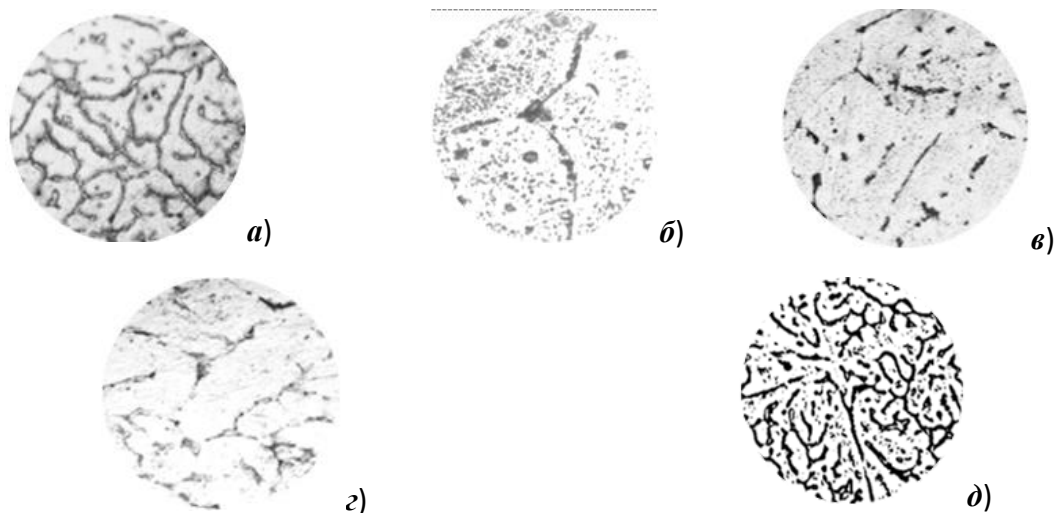
хӯла металлҳои ишқорӣ дар миқдори аз 0,05 то 1,0% массавӣ ворид карда шуданд. Натиҷаҳои таҳқиқот нишон доданд, ки ҳатто ҳангоми миқдори ками иловаҳо дар сохтори микроскопии хӯла тағйироти назаррас ба амал меоянд» [4-М] (расмҳои 1-3).



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



Расми 2. – Микросохтори (х500) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ -и навъи дюралюминий дорони стронсий, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0(д).



Расми 3. – Микросохтори (х500) хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1-и навъи дюралюминий дорои барий, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1(в); 0,5 (г); 1,0 (д).

Таҳқиқот нишон дод, ки иловаҳои то 1,0 мас.% калсий, стронсий ва барий сохтори хӯлаи аспиро якхела ва майдадона менамоянд (расми 3.3).

Хосиятҳои механикии фулузотҳо ва хӯлаҳо аз ташаккули сохтори онҳо вобастагӣ дорад. Аз ин лиҳоз санҷиши механикии онҳо бо назардошти тағйирёбии сохтори онҳо ҳангоми коркарди ҳароратӣ зарур мебошад.

Барои муайян намудани саҳтӣ дастгоҳи тамғаи HBRV-187.5D истифода гардида, намунаҳои санҷишӣ бо ғафсии зиёдтар аз 6 мм ва диаметри 16 мм озмуда шуданд. Формулаи зерин робитаи ҳудуди устувории металл ва саҳтии Бринелло ифода менамояд:

$$\sigma_e = k \cdot HB, \text{ МПа.} \quad (1)$$

ки дар инҷо $k = 0,35$ аст.

Бо назардошти коэффитсиенти мазкур қиматҳои муқовимати муваққатӣ ба кандашавӣ σ_b ҳисоб карда шуданд, ки дар ҷадвали 1 оварда шудаанд. Натиҷаҳо нишон медиҳанд, ки ҳангоми миқдори ками иловаҳои Ca, Sr ва Ba мустақамии механикии хӯла коҳиш меёбад.

Ҷадвали 1. – Саҳтӣ ва устувории хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст

Миқдори калсий, стронсий ва барий дар хӯла, мас.%	* Саҳтӣ HB, кгс/мм ²	* Саҳтӣ HB, МПа	Саҳти ҳисобӣ, 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

Эзоҳ: *-қимати миёнаи HB дар асоси натиҷаҳои 3 ченкунӣ муайян карда шуд.

Яке аз марҳилаҳои муҳим дар таҳияи хӯлаҳои нав ва маҳсулоти онҳо метавонад дониш дар бораи хосиятҳо ва рафтори хӯлаҳо дар шароити гуногун,

хусусан дар ҳарорати баланд ё паст ҳисобида шавад. Аксар вақт ҳӯлаҳое, ки ҳангоми баланд шудани (ё паст шудани) ҳарорат хосиятҳои физикавӣ - химиявӣ ва механикӣ доранд, метавонанд хусусиятҳои тамоман дигарро нишон диҳанд. «Аз ин рӯ, дар ин қисми кор мо нишондиҳандаҳои гармофизикии ҳӯлаҳо ва эталонро бо тағирёбии ҳарорат дар система таҳқиқ кардем» [6].

Дар ин қисми кор, барои муайян кардани чунин хосияти ҳӯлаҳо ҳамчун иқтидори гармӣ, мо усулро гирифтём, ки ба қонуни олимони Нютон-Рихман мувофиқат мекунад ва амали калидии он муқоисаи шиддатнокии раванди хунуккунӣ мебошад. Бояд гуфт, ки барои ин кор барои муқоиса намунаи истинод гирифта мешавад, ки нишондиҳандаҳои он хуб маълуманд, дар ин кор, барои мо ҳӯлаи алюминийи А5N (минбаъд эталон) ҳамчун эталон хизмат мекард.

Мувофиқи талаботи ин усул, намунаҳо бояд дарозии 30мм бо диаметри 16мм дошта бошанд. Пешакӣ дар намунаҳо сӯрохиҳоеро парма кардан лозим аст, ки ба он гармопара ворид карда мешавад. Барои муайян кардани иқтидори гармӣ бо ҳамаи намунаҳои таҳқиқшаванда амалҳои якхела гузаронида мешаванд, яъне намунаҳо дар дохили оташдон ба таъсири гармӣ дучор мешаванд, сипас ченкунӣ гузаронида мешавад. Ҳангоми ченкунӣ, барои ба даст овардани натиҷаҳои дуруст ва арзиши дақиқи тағирёбии ҳарорат риоя кардани ҳамон миқдор вақт муҳим аст, зеро ин натиҷаҳо барои диаграммаҳо ва хулосаҳо дар бораи намунаи хунуккунии намунаҳо асос мешаванд.

Дар ҳолатҳое, ки шаклҳои намунаҳо аз рӯйи бузургии майдони сатҳӣ (баробарии байни S_1 ва S_2), инчунин коэффитсиенти гармидиҳӣ ($\alpha_1=\alpha_2$) мувофиқат мекунад, пас бузургии заруриро бо формулаи зерин муайян кардан мумкин аст:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2} \quad (2)$$

аз ин ҷо $m_i = \rho_i V_i$ – вазни намунаи i (1...4);

$\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_i$ - суръати хунуккунии намуна дар ҳарорати муайян.

Барои муайян кардани суръати хунуккунӣ ҳамаи намунаҳои мавриди омӯзиш қарор дода сохта мешаванд. Қачхатаи хунуккунӣ ҳарорати намунаро ҳамчун функсияи вақт нишон медиҳад, зеро он дар ҳавои ором хунук мешавад. Қачхатаҳои хунуккунии бо тариқи таҷрибавӣ ба даст овардашуда, барои намунаҳои аз ҳӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 намуди дюралюминий, ки бо калсий ҷавҳаронида шудаанд, дар расми 4 оварда шудаанд. Ҳангоми ченкунӣ давомнокии вақти сабти ҳарорат 10 сония ва ҳарорати андозагири 0,1 К аст. Дар ҳудуди ҳароратҳои аз 298,15 К то 673 К ҳамаи нисбӣ ба $\pm 1\%$ ва аз 673 К зиёдтар ба $\pm 2,5\%$ баробар аст.

Аз рӯйи моделаи зерин графיקи Қачхатаҳои хунуккунии тавсиф карда мешаванд (расми 4).

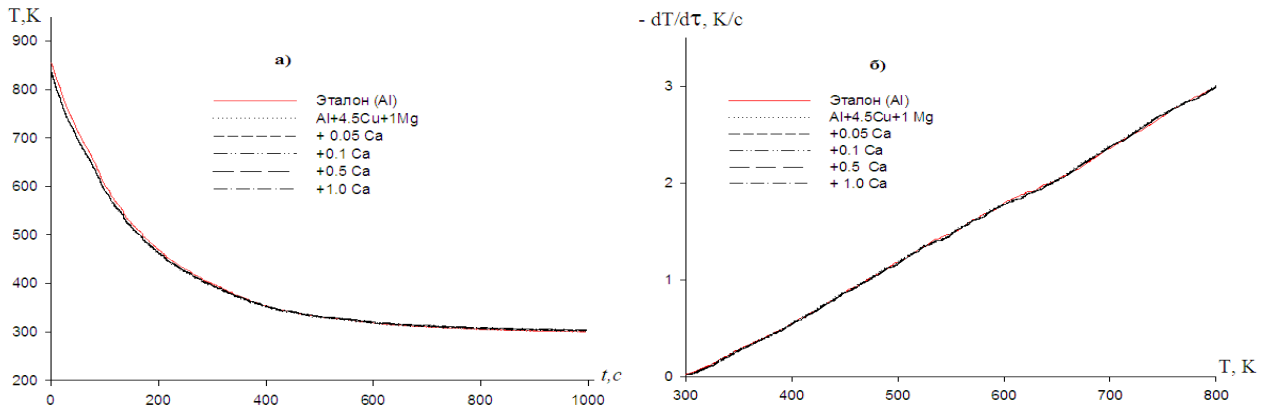
$$T = a \cdot e^{-b\tau} + p \cdot e^{-k\tau} \quad (3)$$

(a, b, p, k константа, τ давомнокии хунуккунӣ).

Суръати хунуккунии намунаҳои омӯхташударо бо истифода аз дифференсиали (4) аз вақти хунуккунӣ, ки муодилаи бадастомада ба даст овардааст, ҳисоб кардан мумкин аст.

$$\frac{dT}{d\tau} = -a \cdot b \cdot e^{-b\tau} - p \cdot k \cdot e^{-k\tau} \quad (4)$$

Дар ҷадвали 2 зарибҳои a , b , p , k , ab , pk -и муодилаи 4-ро пешниҳод менамоем. Дар расми 4 вобастагии суръати хунукшавӣ намунаҳои аз ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва ҳарорат оварда шудаанд.



Расми 4. – Термограммаи (а) ва суръати хунуккунӣ вобаста ба ҳарорати (б) ҳӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1 + Ca$ ва эталон

Ҷадвали 2. – Қиматҳои коэффисиентҳои a , b , p , k , ab , pk дар муодилаи (4) барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи А5N)

Микдори калсий дар ҳӯла, мас. %	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, c^{-1}	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, c^{-1}	$ab \cdot 10^{-6}$, Kc^{-1}	$pk \cdot 10^{-2}$, Kc^{-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

Қиматҳои муайяншудаи суръати хунукшавӣ, гармиғунҷоиши хоси намунаҳои ҳӯлаҳои алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо калсий ва эталонро (тамғаи А5N) истифода намуда, ифодаи зерини вобастагии ҳарорат аз гармиғунҷоишро ҳосил менамоем:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (5)$$

Қиматҳои коэффисиентҳо дар муодилаи (5) барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, ки бо калсий ҷавҳаронида шудааст, дар ҷадвали 3.3 оварда шудаанд.

Ҷадвали 3. – Бузургҳои зарибҳои a , b , c , d муодилаи (5) барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталон (тамғаи А5N)

Микдори калсий дар ҳӯла, мас. %	a , $q/(K^2 \cdot K)$	b , $q/(K^2 \cdot K^2)$	$c \cdot 10^{-3}$, $q/(K^2 \cdot K^3)$	$d \cdot 10^{-5}$, $q/(K^2 \cdot K^4)$	Коэффисиент корреляции (R^2)
0,0	676,60	9,71	-1,22	8,69	0,999
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

Бо истифода аз формулаҳои (2) ва (5) баъди 100 К вобастагии ҳарорат аз гармиғунҷоишро барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо

калсий ҳисоб карда, натиҷаҳо дар расми 5а ва ҷадвали 4 пешниҳод шудаанд. Бо назардошти зиёд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаҳо низ баланд шуда, аз миқдори калсий кам мешавад

Ҷадвали 4. – Вобастагии ҳароратии иқтидори хоси гармии (Ҷ/(кг К)) хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ва эталони (Al тамғаи А5N)

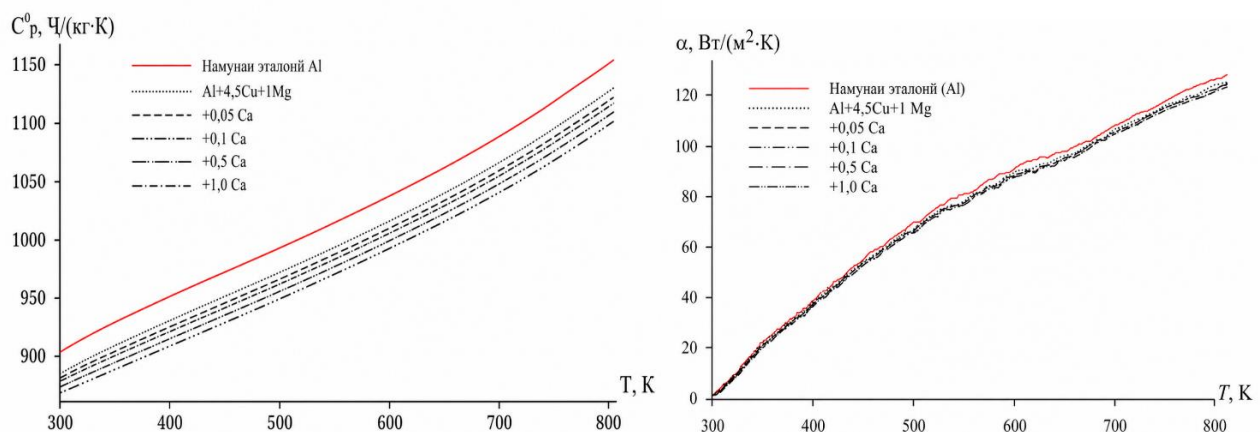
Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	T, K					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,56	925,42	965,73	1007,70	1056,57	1117,53
0,05	881,44	925,25	965,50	1007,39	1056,12	1116,92
0,1	881,31	925,01	965,08	1006,69	1055,05	1115,33
0,5	880,29	923,79	963,65	1005,07	1053,22	1113,31
1,0	879,00	922,51	962,37	1003,79	1051,94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

Бузургҳои гармиғунҷоишҳои муайяншуда ва суръати хунуккунии намунаҳоро истифода намуда, зариби гармидиҳи $\alpha(T)$ -ро барои хӯлаҳо аз рӯи муодилаи зерин ҳисоб намудем:

$$\alpha = \frac{C_p^0 \cdot m \cdot \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}, \quad (6)$$

ки дар инҷо T ва T_0 ҳарорати намуна ва муҳити атроф, S ва m мутаносибан масоҳати сатҳ ва массаи намуна мебошанд.

Натиҷаҳои ҳисоб кардашудаи коэффисиенти гармигузаронии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий вобаста аз ҳарорат дар расми 5б оварда шудаанд. Иловаи калсий коэффисиенти гармиғунҷоиши хӯлаи аслии $AlCu_{4,5}Mg_1$ -и навъи дюралюминиро кам намуда, бо зиёдшавии ҳарорат зиёд мешавад.



Расми 5. – Качхатаҳои вобастагӣ барои хӯлаҳои омӯхташуда:

а) иқтидори гармӣ ҳарорат; б) коэффитсиенти бозгашти гармӣ ҳарорат

Ҳангоми таҳқиқи нишондиҳандаҳои хӯлаҳо ва хусусиятҳои гармофизикии онҳо, арзишҳои нишондиҳандаҳои асосии система, яъне энергияи Гиббс, энтропия ва энталпияро муайян кардан лозим аст. Нишондиҳандаҳои зикршудаи система бо истифода аз 7-9 ҳисоб карда шуданд. Минбаъд интеграл аз арзиши иқтидори гармии хос аз рӯи формулаи (2) ($T_0 = 298.15$ K) чунин намуд мегирад:

$$H^0(T) - H^0(T_0) = \alpha(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{2}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{2}(T^4 - T_0^4); \quad (7)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{b}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (8)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (9)$$

Дар ҷадвали 5 натиҷаи ҳисобкуниҳои тағйирёбии функсияҳои гармодинамикии ҳулаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий бо калсий оварда шудааст.

Ҷадвали 5. – Вобастагии ҳароратии функсияҳои термодинамикии ҳулаи алюминийи дюралюминий AlCu_{4,5}Mg₁ бо калсий ва эталони Al A5N

Микдори калсий дар ҳула, мас.%	[H ⁰ (T) – H ⁰ (T ₀ [*])], кҶ/кг барои ҳулаҳо, 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)], кҶ/(кг·K) барои ҳулаҳо						
0.0	0,0054	0,2652	0,4760	0,6557	0,8146	0,9595
0.05	0,0054	0,2651	0,4759	0,6556	0,8144	0,9593
0.1	0,0054	0,2651	0,4758	0,6554	0,8141	0,9587
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)], кҶ/кг барои ҳулаҳо						
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

Дар асоси натиҷаҳои ҳосилнамуда, ҳосиятҳои теплофизикии ҳулаи алюминий AlCu_{4,5}Mg₁ ва иловаҳои калсий дар ҳудуди концентратсияҳои 0,05 – 1,0 мас.% муайян карда шуд, ки гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳулаи аслии коҳиш ёфта, бузургии энергияи Гиббси баръакс меафзояд. «Ғайр аз ин барои ҳулаҳои таҳқиқотшаванда полиномҳои вобастагии ҳарорат аз гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои гармодинамикӣ муайян карда шуд, ки аз рӯи зариби коррелятсияи R²_{кор.} = 0.999 тавсиф карда мешаванд» [1-М].

Натиҷаҳои ҷамъбастии таҳқиқотҳои ҳосиятҳои гармофизикии ҳулаи AlCu_{4,5}Mg₁ бо металлҳои калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида барои ҳулаҳои дорои 1,0 мас.% дар ҷадвалҳои 6 ва 7 пешниҳод карда шудаанд. Дар вобастагӣ аз ҳарорат гармиғунҷоиш ва функсияҳои гармодинамикӣ ҳулаҳо зиёд шуда, қимати энергияи Гиббс баръакс кам мешавад. Микдори иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар ҳулаи AlCu_{4,5}Mg₁ дар ҳудуди 0,05 то 1,0 мас.% буда, нишондиҳандаҳои дар боло овардашудаи ҳулаи AlCu_{4,5}Mg₁-ро коҳиш медиҳанд.

Бояд қайд намуд, ки бо зиёд шудани микдори ҷузъи легиркунанда тағйирёбии ҳосиятҳои ҳулаи аслии бештар зоҳир мегардад. «Таҳқиқот нишон дод, ки аз байни се унсури барои легиронӣ интихобшуда пастшавии гармиғунҷоиши ҳулаҳо бо чунин тартиб ба амал меояд: Ca → Ba → Sr» [7, с. 129-131] (ҷадвали 6).

Ҷадвали 6. – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg1 навъи дюралюминий бо 1,0мас.% калсий, стронсий ва барий

T, K	Гармиғунҷоиши хӯлаҳо, Ҷ/(кг·К)			
	Миқдори металлҳои ишқорзаминӣ дар хӯлаҳо, мас. %			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	881,56	879,00	875,58	874,59
400	925,42	922,51	919,44	918,44
500	965,73	962,37	959,75	958,75
600	1007,70	1003,79	1001,73	1000,73
700	1056,57	1051,94	1050,59	1049,59
800	1117,53	1112,03	1111,55	1110,55

Ҷадвали 7. – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg1 навъи дюралюминий бо 1,0мас.% калсий, стронсий ва барий

T, K	$[H^0(T) - H^0(T_0)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо			
	Миқдори металлҳои ишқорзаминӣ дар хӯлаҳо, мас.%			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	1,630	1,625	1,619	1,622
400	92,030	91,753	91,421	91,610
500	186,596	186,006	185,389	185,699
600	285,232	284,279	283,427	283,755
700	388,367	386,988	385,964	386,179
800	496,950	495,066	493,949	493,904
T, K	$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
400	0,2652	0,2644	0,2634	0,2640
500	0,4760	0,4745	0,4729	0,4737
600	0,6557	0,6536	0,6516	0,6524
700	0,8146	0,8118	0,8095	0,8102
800	0,9595	0,9560	0,9536	0,9540
T, K	$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	-0,0050	-0,00503	-0,0050	-0,0050
400	-14,0553	-14,0135	-13,9614	-13,9916
500	-51,4364	-51,2794	-51,0975	-51,1983
600	-108,238	-107,899	-107,534	-107,721
700	-181,902	-181,315	-180,733	-180,998
800	-270,708	-269,806	-268,987	-269,305

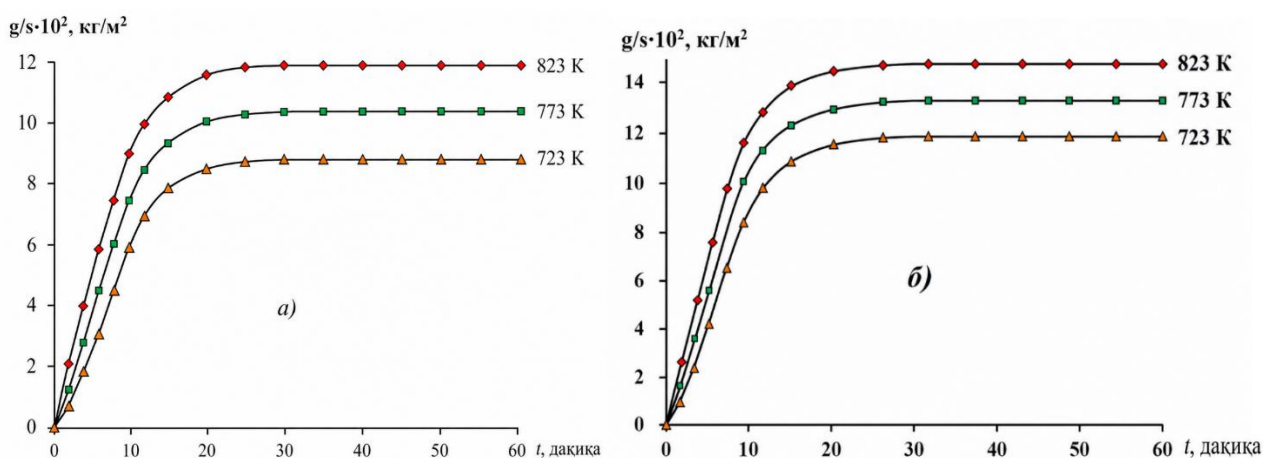
Дар боби чорум «Таҳқиқи таъсири иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg1 навъи дюралюмин дар ҳолати сахтӣ» натиҷаҳои омӯзиши таъсири иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg1 навъи дюралюмин дар ҳолати сахт пешниҳод гардидаанд. Тағйирёбии суръати оксидшавӣ вобаста ба таркиби хӯла ва миқдори унсурҳои ҷавҳаркунанда баррасӣ шудааст. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои Ca, Sr ва Ba ба ташаккули пардаи оксидӣ ва хосиятҳои муҳофизатии он таъсири назаррас мерасонанд. Нишондиҳандаҳои кинетикии равандҳои оксидшавӣ таҳлил гардида, устувории хӯла ба таъсири

ҳарорати баланд арзёбӣ карда шудааст. Натиҷаҳои бадастомада нақши муҳими микроҷавҳарониро дар баланд бардоштани устувории кории хӯлаҳои алюминий тасдиқ мекунанд.

Оксидшавӣ яке аз сабабҳои асосии аз кор баромадани қисмҳо, конструксияҳо ва техника дар маҷмӯъ ба ҳисоб меравад. Аз ин ру, баланд бардоштани устувории маводҳо ба оксидшавӣ яке аз вазифаҳои муҳими илми маводшиносӣ мебошад ва ба он дар таҳқиқоти илмӣ таваҷҷуҳи зиёд дода мешавад. Яке аз роҳҳои самараноки беҳтар намудани хосиятҳои хӯлаҳо ҷавҳаронӣ, яъне илова кардани дигар металлҳо ба таркиби онҳо мебошад. Бо дарназардошти маълумоти мавҷуда, омузиши таъсири гуногуни иловаҳои металлӣ ба равандҳои оксидшавӣ ҳангоми дастрасии оксиген ва дар шароити ҳарорати баланд то ҳол аҳамияти худро гум накардааст.

Ин боб дар натиҷаи гузаронидани озмоишҳо оид ба таҳқиқи раванди оксидшавии намунаҳои дар асоси хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи калсий, стронсий ва барий ба даст овардашударо дар бар мегирад. Хӯлаи таҳқиқшуда иловаҳои зикршударо дар ҳаҷми 0.05-1.0% дар бар мегирад. Дар расмҳои 6-9 натиҷаҳои таҳқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо калсий ҷавҳаронида пешниҳод карда шудаанд.

Тавре ки дар расми 6 мушоҳида мешавад, бо оғози раванд ва 15-20 дақиқаи аввал афзоиши вазни намуна ғаёлона идома меёбад, сипас, тавре ки аз рӯйи ҷадвал дида мешавад, сустшавии ин раванд ва муътадилшавӣ ба амал меояд.



Расми 6. – Қачхатаҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий (а) бо 1.0мас. % калсий (б) дар ҳолати сахтӣ

«Ҳамин тариқ, агар барои хӯлаи аслӣ суръати оксидшавии ҳақиқӣ дар 723 К ва 823 К мутаносибан $2,26 \cdot 10^{-4}$ ва $2,73 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробар бошад, пас барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо 1,0мас. % калсий дар ҳарорати дар боло зикршуда, суръати оксидшавӣ ба $2,42 \cdot 10^{-4}$ ва $2,88 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробар мешавад» [8]. Дар ин ҳолат, энергияи хоси ғаёолшавии оксидшавӣ барои хӯлаи аслӣ 118,5 кҶ/мол мебошад, дар ҳоле ки барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо 1,0мас.% калсий, ин рақам 107,8 кҶ/мол аст.

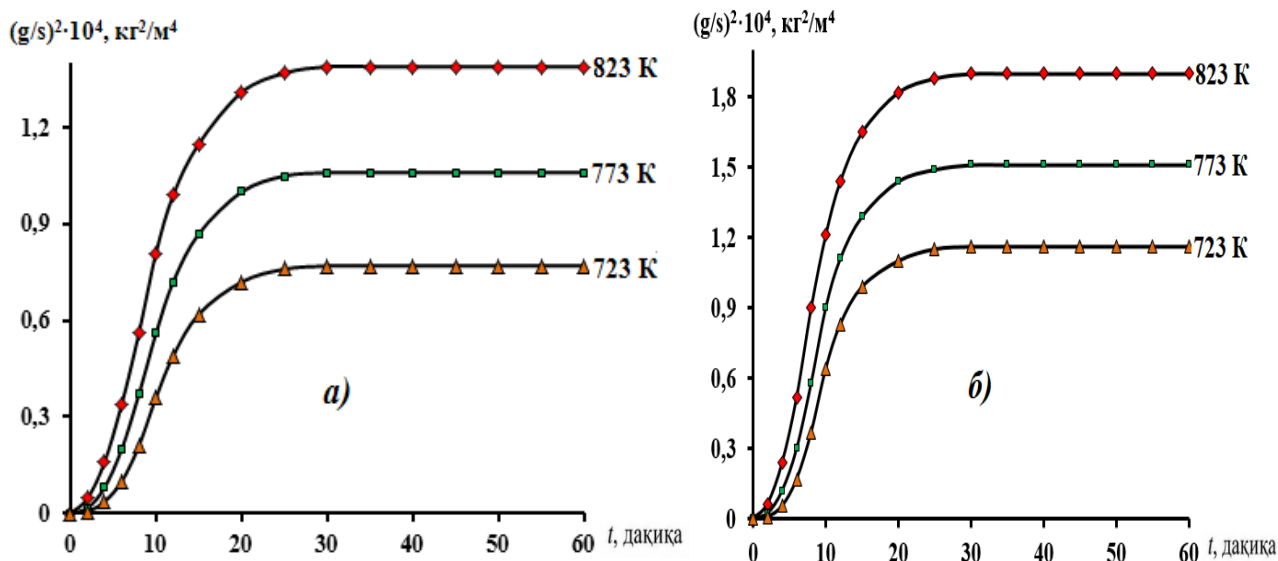
Ҷадвали 8. – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминий дар ҳолати сахтӣ

Миқдори калсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи хоси фаъолшавӣ, 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	

Қаҷаттаҳои квадрати кинетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий ростхатта нестанд, ки ин хусусияти ғайрипараболии чараёни оксидшавии хӯлаҳоро нишон медиҳад (расми 7). Полиномҳои Қаҷхатаҳои квадрати кинетикӣи оксидшавии хӯлаҳо дар ҷадвали 4.2 оварда шудаан

$$y = k \cdot x^n, \quad (10)$$

қиматҳо $n=1 \div 4$ баробар мебошанд. Қаҷхатаҳои квадрати кинетикӣ бо муодилаи полиномҳои дараҷаи чорум тавсиф карда мешаванд.



Расми 7. – Қаҷхатаҳои квадрати кинетикӣи оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий(а) бо 1.0мас.% калсий(б), дар ҳолати сахтӣ

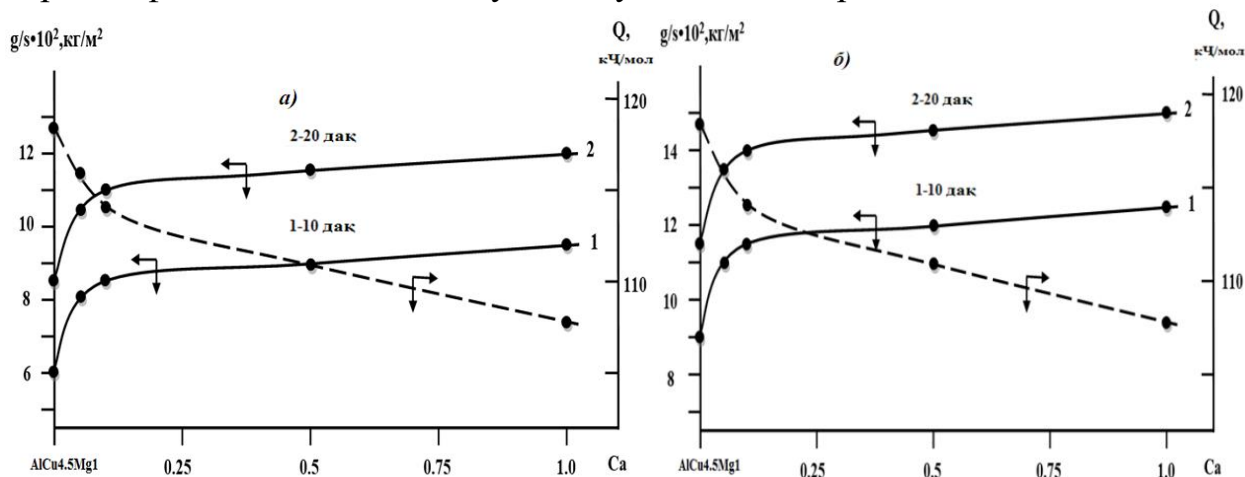
Ҷадвали 9. – Полиномҳои Каҷхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий, дар ҳолати сахтӣ

Микдори калсий дар хӯла, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои Каҷхатаҳои 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	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,22 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0184x$	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);

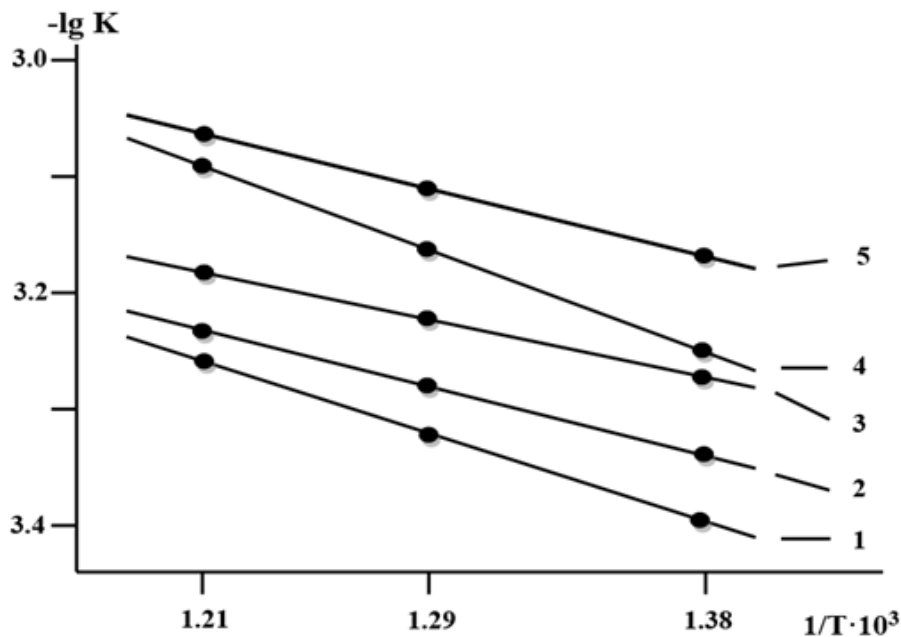
x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t, дақ.).

Дар расми 8 изохронҳои раванди оксидшавии хӯлаи AlCu4,5Mg1 бо калсий ҷавҳаронида оварда шудаанд, ки бо зиёд шудани микдори калсий дар хӯлаи аслӣ, суръати оксидшавӣ ҳангоми 10 дақиқа (қаҷхати 1) ва ҳангоми 20 дақиқа дар фазои атмосфера (Каҷхатаи 2) зиёд мешавад. Дар ҳарорати 823К ин қонуният хело хуб намоён аст, чунки бо зиёдшавии микдори калсий камшавии энергияи фаъоли оксидшавии хӯлаҳо мушоҳида мегардад.



Расми 8. – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий дар 723 К (а) ва 823 К (б).

Дар расми 9 вобастагии хаттии $-\log K = f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий, ки дорои 0,05-1,0 мас. % калсий аст, оварда шудаанд. Бузургҳои энергияи фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳо бо назардошти тангенсӣ нишебии хатҳои рост муайян карда мешавад.



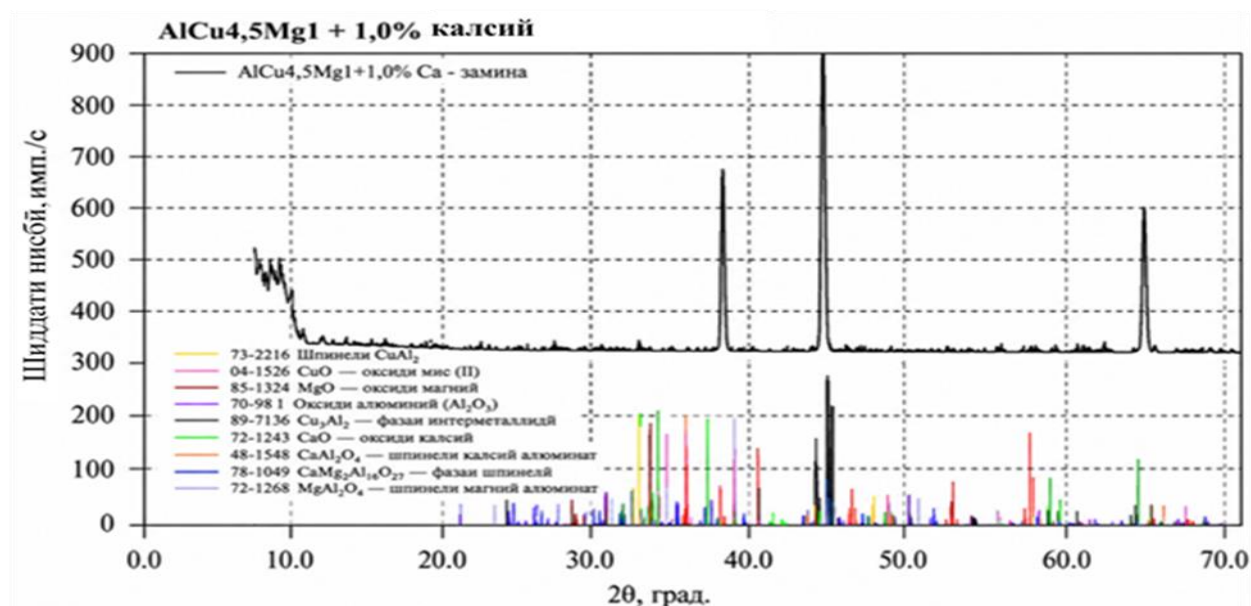
Расми 9. – Вобастагии хаттии $-\log K=f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, бо калсий (1), мас. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5).

Аз рӯйи натиҷаҳои таҳлили фазаҳои рентгении маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий (расми 10) муайян карда шуд, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо оксидҳои зерин ба вуҷуд меоянд: AlO ; CuO ; $Mg_{0.67}Al_{10.33}O_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; $CaAl_2O_4$; $Ca_{.950}Mg_{.900}Al_{10.100}O_{17}$.

Оксидҳои ягона ва оксидҳои навъи шпинели ($CaAl_2O_4$, $(CaAl_2O_4, Ca_{.950}Mg_{.900}Al_{10.100}O_{17}$ ва ғайра), ки ҳангоми оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий бо калсий ҳосиятҳои муҳофизатии нокифоя доранд, аз ин ру қайд намудан зарур аст, ки афзоиши суръати оксидшавии хӯлаи асли аз миқдори иловаҳои ҷавҳаронидаи хӯла ва ҳарорат вобастагӣ дорад.

Дар маҷмӯъ, ба хӯлаи аслии алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюмин иловаҳои калсий дар ҳудуди 0,05-1,0 мас. % мебошанд, ки оксидшавии онро зиёд мекунад. Аз ин лиҳоз хӯлаҳои мазкурро барои сохтани конструкцияҳо, маснуотҳо ва иншоотҳо, ки дар ҳарорати баланд кор мекунад, тавсия дода намешавад.

Таҳқиқот нишон медиҳад, ки иловаи калсий то 1,0 мас. % ба оксидшавии хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар вобастагӣ аз ҳосилшавии оксидҳои бисёркомпонентаи намуди шпинелие, ки ҳосиятҳои кофӣ муҳофизатӣ надоранд, зиёд мекунад. Аммо бо назардошти иловаи ками калсий дар хӯлаи $AlCu_{4,5}Mg_1$ сабабгори каме зиёдшавии раванди оксидшавии гардад, боиси тайёр намудани маҳсулоти дар ҳароратҳои паст коркунада мегардад.



Расми 10. – Дифрактограммаи маҳсулоти оксидшавии хӯлаи дюралюминии AlCu4,5Mg1 бо иловаи калсий

Оксидшавии яке аз масъалаҳои мубрами тиехникаи муосир ба ҳисоб рафта омузиши он барои ҳосил намудани масолеҳи тобовар ба зангзанӣ хело муҳим мебошад. Аз ин лиҳоз барои беҳтар намудани тавсифоти нишондодҳои зангзании маводди нав, раванди илова намудани дигар металлҳо хело зарур аст. Бо назардошти мавҷудияти баъзе маълумот оид ба оксидшавӣ, ба низом даровардани рафтори металлҳо ва хӯлаҳо дар фазои оксидкунанда масъалаи асосии техникаи ҳосиразамон ба ҳисоб меравад.

Аз ин сабаб дар боби мазкур натиҷаҳои ҷамъбасти таҳқиқот оид ба раванди оксидшавии хӯлаи алюминии AlCu4,5Mg1-и навӣ дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий дар фазои атмосфераи газӣ ва ҳарорати баланд оварда шудаанд. Натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда оид ба раванди оксидшавии хӯлаи алюминии AlCu4,5Mg1 навӣ дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий нишон доданд, ки раванди оксидшавии тағйирёбии бузургии энергияи фаъолшавӣ ба қонуниятҳои умумӣ иттиҳод мекунад (ҷадвали 10).

Аз ҷадвали 10 бармеояд, ки коҳиши энергияи самараноки фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи AlCu4,5Mg1 ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои дорои калсий ба хӯлаҳои дорои стронсий ва барий мушоҳида мешавад.

Ҷадвали 10. – Қиматҳои муқоисавии энергияи фаъолшавии самараноки раванди оксидшавии хӯлаи алюминии AlCu4,5Mg1 навӣ дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий

Миқдори МИЗ дар хӯла, мас. %	Энергияи ҳоси фаъолшавии оксидшавӣ, кҶ/мол				
	Илова, мас. %				
	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
Калсий	118.5	116.0	114.1	110.9	107.8
Стронсий		113.9	111.5	108.0	105.1
Барий		110.0	107.1	103.5	99.9

Ҳамзамон муқаррар карда шуд, ки суръати баландтарини оксидшавӣ ба ҳӯлаи бо барий ва пасттарин ба ҳӯлаи бо калсий мансуб буда, мавқеи мобайниро ҳӯлаҳои бо стронсий ишғол менамоянд, яъне унсурҳои ҷавҳаронида оксидшавии ҳӯлаи аслиро ба таври назаррас зиёд намеkunанд.

Аз натиҷаҳои таҳқиқот чунин хулоса баровардан мумкин аст, ки

- оксидшавии ҳӯлаҳои мазкур ба қонуни гиперболаи итоат намуда, суръати миёнаи оксидшавӣ ба $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробар аст;

- ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо барий нисбат ба ҳӯлаҳои калсий ва стронсий суръати баланди оксидшавӣ доранд;

- иловаҳои хурди калсий, стронсий ва барий (0,05-1,0 мас.%) оксидшавии ҳӯлаи аслии алюминийро каме зиёд меkunанд.

Бо усули рентгенофазаӣ маҳсулоти оксидшавии ҳӯлаҳои таҳқиқотшаванда таҳлил гардида, таркиби онҳо бо тариқи зайл муайян карда шуд: AlO ; CuO ; $\text{Mg}_{0.67}\text{Al}_{10.33}\text{O}_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; CaAl_2O_4 ; $\text{Ca}_{0.950}\text{Mg}_{0.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$; 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 ; $(\text{Mg}_{0.77}\text{Al}_{0.23})(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$; $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$.

Хосиятҳои физикаӣ-химиявии ҳӯлаҳо аз табиати унсурҳои ҷавҳаронида ва ғашҳо вобастагии калон дорад, ки ин ба раvанди оксидшавии онҳо ва таркиби фазавии пардаи оксидӣ таъсири ҷиддӣ мерасонад. Чунин раvанди оксидшавии ҳӯлаҳоро аз рӯйи таносуби Пиллинг ва Бедворс муайян меkunанд: $V_{\text{ок}}/V_{\text{ме}} < 1$, ки дар он $V_{\text{ок}}$ ҳаҷми молекулавии оксид; $V_{\text{ме}}$ — ҳаҷми металл, ки барои ба вуҷуд овардани оксид сарф мешавад. Аслан агар унсур дар сатҳи ғаёол ва фишори баланди буғ наздикии ба оксиген дошта бошад ба таркиби қабати оксидӣ он ба таври назаррас таъсир меkunанд. Инчунин дигар омили асоси ин энергияи озоди ҳосилшавии оксиди металл ҷавҳаронидашаванда баҳисоб меравад, яъне энергияи оксидшавии унсури ҷавҳаронида нисбат ба оксиген аз як мол зиёд бошад. Ба ин металлҳо металлҳои ишқорзаминӣ дохил мешаванд, ки таносуби Пиллинг-Бедворс аз 1 камтар аст.

Дар ин маврид оксидҳои металлҳои обутобдодашуда, ки асоси маҳсулотҳои оксидшавии ҳӯлаи аслиро ташкил медиҳанд, пардаи оксиди металл асосӣ — алюминийро вайрон меkunанд. Тавассути сӯрохиҳои ҳосилшуда, оксигени атмосфера ба сатҳи реаксия ворид гардида, оксидшавии ҳӯлаҳоро зиёд меkunад.

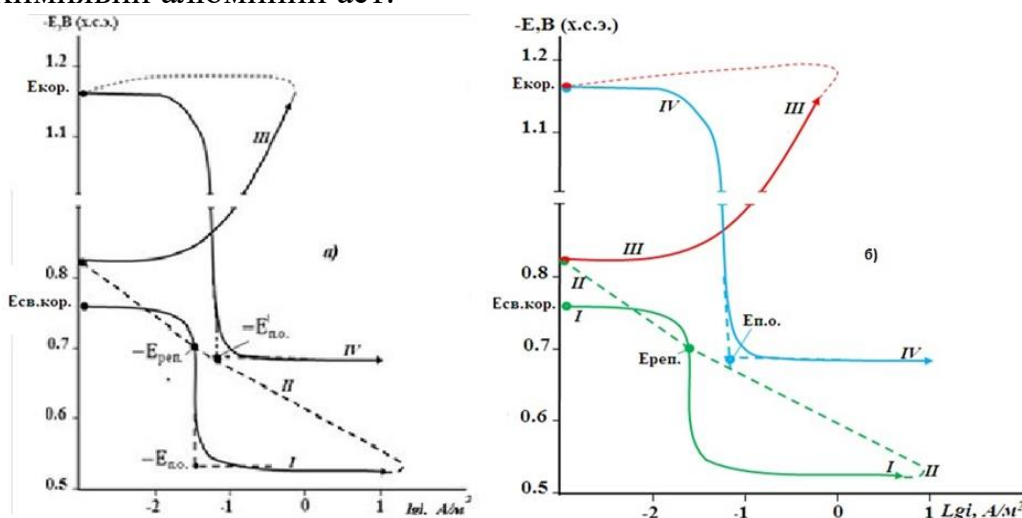
Дар боби панҷум «Таҳқиқи потенциостатикӣ ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навӣ дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда» натиҷаҳои тадқиқоти потенциостатии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навӣ дюралюмин, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, пешниҳод шудаанд. Хусусиятҳои электрохимиявии ҳӯлаҳои ибтидоӣ ва тағйирдодашуда дар муҳитҳои зангзании ғаёол баррасӣ гардидаанд.

Барои таҳқиқоти нишондодҳои зангзании электрохимиявии ҳӯлаҳо аз асбоби ПИ-50.1-1 ва усули потенциостатикӣ дар шароити потенциодинамикӣ бо

таъсири суръати гардиши потенциалии 2 мВ/с истифода гардид. Инчунин барои сабти раванди зангзанӣ асбобҳои ПР-8 ва ЛКД-4 истифода шуд. Нигоҳдориҳои ҳарорати электролит ба 20°C бо ёрии гармостати МЛШ-8 иҷро гардида, ба сифати электроди муқоисавӣ хлориди нукра ва электроди ёрирасон платина истифода гардиданд.

Поляризацияи умумӣ барои ҳулаи ибтидоии тамғаи дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар муҳити электролитии NaCl дар расми 11 оварда шудааст. Ҳангоми ворид намудани электроди таҳқиқотӣ бо зиёдшавии қувваи ҷараён потенциали питтингҳосилшавӣ дар раванди мазкур ба самти мусбат майл намуда, поляризация мешавад (расми 11, хатти I). Баъдан раванди поляризация давом намуда, потенциали репассиватсия ($E_{р.п.}$) ба самти баръакс майл карда, (расми 11, Қачхатаи II) дар Қачхатаҳои I ва II намоён мешавад. Бади таъсири ишқор ба сатҳи электрод он аз пардаи оксидӣ тоза шуда, раванди катодӣ сурат гирифта ададан ба -1,2В баробар мешавад (расми 11, қачи III). Ҳамин тариқ бо гузашти вақт раванди поляризация идома ёфта, ба самти мусбат лағжиши потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ($E_{п.о.}$), репассиватсия ($E_{р.п.}$), зангзанӣ ва ҷараён ($E_{кор.}$ и $i_{кор.}$) дар Қачхатаҳои поляризация (расми 10, қачи IV) мушоҳида карда шуд. Натиҷаҳои таҳқиқотро таҳлил намуда, хосиятҳои асосии кимёвии барқиро муайян намудем: — $E_{ст. ё}$ — $E_{св.кор.}$ — потенциали статсионарӣ ё потенциали зангзании озод; — $E_{р.п.}$ — потенциали репассиватсия; — $E_{кор.}$ — потенциали зангзанӣ; — $E_{п.о.}$ — потенциали питтингҳосилшавӣ; — $i_{кор.}$ — ҷараёни зангзанӣ.

Дар маҷмӯъ зангзании ҳулаи мазкур дар муҳити электролити 3% NaCl бо реаксияи катодӣ ионизатсияи оксиген сурат мегирад. Бо истифода аз константаи Тафел ($b_k = 0,12$ В) ҷараёни зангзанӣ аз рӯи Қачхатаҳои потенциодинамикӣ катодӣ ҳисоб карда шуд. Аз рӯи формулаи $K = i_{кор.} k$, бузургҳои k ва $i_{кор.}$ -ро ҳисоб намудем, ки дар инҷо $k = 0,335$, г/с эквиваленти электрохимиявии алюминий аст.



Расми 11. – Қачхатаҳои поляризацияи ҳулаи навъи дюралюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар электролити 3%-и NaCl бо суръати гардиши потенциалҳои 1 мВ/с (а) ва 2 мВ/с (б)

«Барои муайян намудани таъсири ионҳои хлорид ба раванди зангзании хӯлаҳои таҳқиқшавандае, ки ба онҳо металлҳои ишқорзаминӣ илова карда шудаанд, дар мувофиқа бо ГОСТ 9.017–74 дар муҳити маҳлули NaCl гузаронида шуд» [8].

Рафтори анодии хӯлаҳои мазкур дар муҳити маҳлулҳои 0,03; 0,3 ва 3,0%-и NaCl омӯхта шуданд (аз рӯйи мас).

$$K = i_{кор.} \cdot k \quad (11)$$

Барои муайян кардани суръати зангзании K муодилаи (11) истифода шудааст. Ҳангоми ҳисоб кардани он чунин қиматҳо ба монанди ҷараёни зангзании ($i_{кор.}$) ва арзиши эквиваленти электрохимиявӣ, онҳоро дар адабиёти махсус пайдо кардан мумкин аст.

Натиҷаҳои умумии таҳқиқотҳо оид ба хосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо металлҳои ишқорзаминӣ (Ca, Sr, Ba) дар ҷадвали 11 оварда шудаанд. Ба хӯлаи аслӣ калсий, стронсий ва барий аз 0,05 то 1,0мас.% дохил намуда, дар муҳити маҳлули NaCl потенциалҳои зангзании озод ($E_{св.кор.}$), пittingҳосилшавӣ ($E_{п.о.}$) ва ($E_{рп.}$) репассиватсияро муайян намудем, ки қиматҳои онҳо ба тарафи мусбати майл намуда, ҳамзамон тобоварии хӯлаи аслиро зиёд мекунанд. Аз ин сабаб боиси 20-28% кам шудани суръати зангзанӣ ва зичии ҷараёни зангзании хӯлаҳо мегарданд (ҷадвали 11). Раванди таъсири металлҳои ишқорзаминӣ боиси устувори хӯлаи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий ба зангзанӣ гардида, ҳамаи потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳо ба минтақаи қиматҳои мусбат майл намуда, зичии ҷараёни зангзанӣ кам мешавад.

Таҳқиқоти гузаронидашуда оид ба муқаррар намудани хусусияти анодии хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий ба мо имкон медиҳанд, ки онҳоро ҳамчун хӯлаи асосӣ дар истеҳсоли масолеҳи сохтори тавсия диҳем ва аз ҳисоби камшавии ғунҷоии воҳиди маҳсулот, зиёд шудани мӯҳлати хизматрасонӣ ва этимоднокии онҳо самарай назарраси иқтисодӣ ба даст орем.

Ҷадвали 11. – Вобастагии суръати зангзании ($K \cdot 10^3$, г/м²·с) хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 навъи дюралюминий бо калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролити NaCl

Микдори калсий, стронсий ва барий дар хӯла, мас. %	Муҳит NaCl, мас %					
	0.03%		0.3%		3.0%	
	$i_{кор.} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	$i_{кор.} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	$i_{кор.} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с
0,0	4.6	15.41	5.1	17.08	5.6	18.76
0,05Ca	4.3	14.40	4.8	16.08	5.3	17.75
0,1Ca	4.1	13.73	4.6	15.41	5.1	17.08
0,5Ca	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
1,0Ca	3.7	12.23	4.2	14.07	4.7	15.74
0,05Sr	4.1	13.72	4.6	15.41	5.1	17.08
0,1Sr	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
0,5Sr	3.7	12.39	4.2	14.07	4.7	15.74
1,0Sr	3.5	11.72	4.0	13.40	4.5	15.07
0,05Ba	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
0,1Ba	3.7	12.39	4.2	14.07	4.7	15.74
0,5Ba	3.5	11.72	4.0	13.40	4.5	15.07
1,0Ba	3.3	11.05	3.8	12.73	4.3	14.40

ХУЛОСА

1. Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия

1. Дар натиҷаи омузиш ва таҳлили амиқи адабиёти илмӣ дастрас ба чунин хулоса расидан мумкин аст, ки таҳқиқи ҳамаҷонибаи хусусиятҳои физикӣ ва химиявӣ хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $AlCu_{4,5}Mg_1$, 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 фаъолият мекунанд, мувофиқ ва самаранок бошанд.

2. Дар доираи ин таҳқиқот таъсири илова намудани унсурҳои калсий, стронсий ва барий ба хусусиятҳои механикӣ хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $AlCu_{4,5}Mg_1$ мавриди баррасии муфасссал 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 концентратсияи 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 механикӣ 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 $AlCu_{4,5}Mg_1$ таъсири назаррас расонида, боиси майда шудани ҷузъҳои сохтории 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 муфасссал қарор гирифт. Ҳадафи асосӣ муайян намудани он буд, ки чӣ гуна тағйирёбии ҳарорат ва таркиби химиявӣ 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 ёфтано 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

хӯлаҳое, 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 функсияҳои гармодинамикии хӯлаи алюминийи навъи дюралюминий - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, 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 хӯлаҳое, 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 хӯлаи 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 хӯлаҳо ба қонуни гиперболий итоат мекунад. Ин маънои онро дорад, ки дар чараёни вақт суръати оксидшавӣ тадричан 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 хӯла ба нишондиҳандаҳои энергетикӣ раванди оксидшавӣ таъсири назаррас мерасонад. Аз ҷумла, қиматҳои баландтарини энергияи тасаввуршавандаи фаъолгардонӣ ба хӯлаи 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 хӯлаҳое, 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 рентгенофазаӣ 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 ; $\text{Ca}_{,950}\text{Mg}_{,900}\text{Al}_{10,100}\text{O}_{17}$; 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 ; $\text{Sr}_{1,81}\text{Cu}_{0,905}\text{O}_{3,4}$; $\text{Sr}_6\text{Cu}_{6,6}\text{Al}_{7,4}$; $\text{SrO}(\text{Al}_2\text{O}_3)_2$; 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-М].

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 ҳӯла бо дақиқии баланд арзёбӣ гарданд. Натиҷаҳои бадастомада нишон доданд, ки илова намудани металлҳои ишқорзаминӣ (калсий, стронсий ва барий) ба таркиби ҳӯла, 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 ҳӯла барои муқовимат ба равандҳои зангзанӣ вобаста мебошад. Ҳамзамон, мушоҳида гардид, ки дар натиҷаи ҷавҳаронӣ потенциалҳои электрохимиявии ҳӯла ба самти қиматҳои мусбат кӯч мебаранд, ки ин аломати устувории бештар дар муҳити зангзананда ба ҳисоб меравад [4-М, 5-М, 8-М, 11-М].

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

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 ҷузъҳои 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 алюминийӣ 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.

РҶҶҲАТИ АДАБИЁТИ ИСТИФОДАШУДА

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Назаров Х.М., Вахобов А.В., Ганиев И.Н., Джураева Т.Д. Барий и его сплавы. – Душанбе: Дониш. 2001. – 211 с.

5. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дюралюмин. – М.: Металлургия. 1984. – 240 с.

6. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия. 1979. – 208 с.

7. Колобнев И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия. 1973. – 320 с.

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

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

10. Шевченко В.Г. Влияние легирования на кинетику и механизм окисления порошков сплавов на основе алюминия с редко- и щелочноземельными металлами // Физика горения и взрыва. – 2011. Т. 47. – №2. – С. 45-53.

11. 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.

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

13. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 480 с.

14. Бочвар А.А. Металловедение. – М.: Металлургиздат. 1956. – 495 с.

15. 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.

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

ИНТИШОРОТ АЗ РЀЙИ 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}Mg₁ / 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}Mg₁ / 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}Mg₁, 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}Mg₁ 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}Mg₁ / 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}Mg₁ 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 ҳулаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ 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 ҳулаи 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 Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: естественные и технические науки. – 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 байналмилалии 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 теплостойкости 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 байналмилалии илмӣ «рушди инноватсионии илм». – Душанбе, 2022. – С. 63-67.

[10-М]. Шоназаров, Р.С. Влияние добавок стронция на коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Абуали Элмурод, Файзуллоев У.Н. // Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ». Маводҳои конференсияи байналмилалии илмӣ «рушди инноватсионии 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 $NaCl$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Ходжаназаров Х.М., Файзуллоев У.Н. / Марҳилаҳои муносири рушди илмҳои кимиёвӣ ва техникӣ: масъалаҳои мубрами назария ва амалия (22 октябр). – Душанбе, 2025. – С. 235-238.

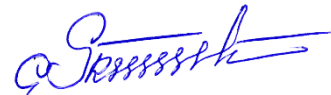
В) Ихтироот дар мавзӯи диссертатсия:

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

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

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ ИМЕНИ В.И. НИКИТИНА»**

На правах рукописи



САЙДАХМАДЗОДА РАДЖАБАЛИ САЙДАХМАД

**ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЯ, СТРОНЦИЯ И БАРИЯ НА ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО
СПЛАВА $AlCu_{4,5}Mg_1$ ТИПА ДЮРАЛЮМИН**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
2.5.16. Материаловедение в металлургической
промышленности

ДУШАНБЕ – 2026

Диссертация выполнена ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана».

Научный руководитель: **Ганиев Изатулло Наврузович,**
доктор химических наук, профессор, академик
НАН Таджикистана

Официальные оппоненты: **Исозода Диловаршо Тарик,**
доктор технических наук, доцент кафедры
электроснабжения и электробезопасности
Таджикского энергетического института

Садриддинзода Сабур Садриддин,
кандидат технических наук, доцент кафедры
строительства и архитектуры Дангаринского
государственного университета

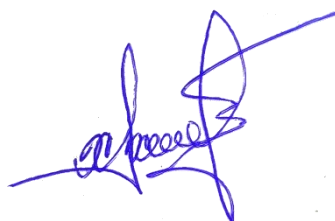
Ведущая организация: Таджикский государственный педагогический
университет имени С. Айни

Защита диссертации состоится «16» сентября 2026 года в 09:00 часов на заседании диссертационного совета 6Д.КОА-110 при Институте химии имени В.И. Никитина НАНТ по адресу: 734063, г. Душанбе, проспект Айни, 299/2.
E-mail: info@ikai.tj.

С текстом диссертации и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте Института химии имени В.И. Никитина НАНТ: www.ttu.tj.

Автореферат разослан «____» _____ 2026 года.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Холов Х.И.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последние годы спрос на металлические материалы и изделия, производимые из них, значительно возрос. Это связано с быстрым развитием отраслей промышленности, где металлы широко используются для изготовления конструкционных элементов, корпусов и различных технических деталей. В настоящее время, помимо основных свойств металлических сплавов, предъявляются требования к их устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды, перепадам температур, малому весу и доступной стоимости. На практике многие металлические детали эксплуатируются в условиях высоких механических нагрузок, повышенных температур и воздействия агрессивных химических сред. Такие условия негативно влияют на их прочность и срок службы. В связи с этим улучшение эксплуатационных свойств сплавов является одной из важнейших задач современного материаловедения, поскольку напрямую влияет на безопасность соединений, надежность оборудования и экономическую эффективность производства. «Без разработки новых методов получения материалов и совершенствования производственных технологий дальнейший прогресс науки и техники невозможен» [8].

Алюминий занимает особое место среди материалов, используемых в промышленности. Алюминий и его сплавы, благодаря своим благоприятным свойствам, считаются одними из важнейших материалов современности и находят широкое применение в большинстве отраслей промышленности и техники. Постоянное совершенствование алюминиевых сплавов имеет большое научное и практическое значение. Значимость подобных исследований для Республики Таджикистан еще выше, поскольку в стране функционирует крупное предприятие по производству алюминия, которое выпускает готовую и полуготовую продукцию как для использования в промышленности, строительстве, отечественной технике и технологиях, так и для экспорта за рубеж. «Большой объем производимого алюминия и возможность его использования для создания новых сплавов могут внести существенный вклад в реализацию стратегической цели страны - ускоренной индустриализации» [11, с. 168].

В нашем исследовании объектом изучения является алюминиевый сплав $AlCu_{4,5}Mg_1$, относящийся к группе дюралюминиев. Эти сплавы широко применяются на практике, благодаря своей низкой плотности и высоким механическим свойствам. Однако их основным недостатком является низкая коррозионная стойкость. В связи с этим в данной работе предпринята попытка улучшить свойства сплава путем добавления небольших количеств щелочноземельных элементов - кальция, стронция и бария [1].

При проектировании инженерных сооружений и конструкций выбор материала играет решающую роль. Механические свойства, химический состав, микроструктура и коррозионная стойкость являются основными факторами, определяющими надежность и срок службы конструкций. «Поэтому в настоящее время в конструкциях, подвергающихся высоким нагрузкам и

воздействию коррозионных сред, все чаще используются алюминиевые сплавы, в том числе дюралюминиевые» [2].

Следует подчеркнуть, что «в современных условиях развитие науки и техники открывает новые возможности для более эффективного использования металлических сплавов в различных отраслях народного хозяйства» [6]. При этом важное значение имеет не только само применение материалов, но и понимание их физико-химических свойств, поскольку именно от них во многом зависят надёжность и срок службы изделий.

Практика показывает, что совершенствование технологий обработки металлов и использование новых технических решений позволяют получать конструкции с более высокими прочностными характеристиками и лучшей экономичностью. В результате изделия работают стабильнее, требуют меньшего расхода металла и отличаются большей долговечностью [3].

Когда речь идёт об улучшении свойств алюминиевых сплавов, становится понятно, что одних традиционных подходов уже недостаточно. Современные условия эксплуатации требуют более эффективных и технологичных решений. Именно поэтому сегодня всё большее значение приобретают научные исследования, позволяющие не только разрабатывать новые материалы, но и совершенствовать уже существующие, повышая их надёжность и устойчивость в реальных условиях работы.

Если обратиться к практике, то становится ясно, что качество металлической продукции складывается не само по себе. На него влияет целый ряд факторов: от химических процессов, протекающих внутри материала, до внешних условий, в которых он используется. Температура, состав окружающей среды, режим работы – всё это в той или иной степени отражается на конечных характеристиках сплава, и игнорировать эти моменты уже невозможно. В этой связи особое значение приобретает изучение электрохимических параметров, определяющих поведение материала в реальных условиях. Нередко на поверхности расплавленного металла формируются дефекты, которые ухудшают качество изделия и приводят к нарушению однородности его структуры.

Как правило, это связано с тем, что в процессе перемешивания или разливки в расплав могут попадать неметаллические включения. Такие примеси образуют оксидные плёнки и другие химические соединения, которые негативно сказываются на структуре металла и, в конечном счёте, снижают его качество.

Отдельного внимания заслуживает влияние кислорода. Именно он является одним из основных факторов, вызывающих образование оксидов на поверхности металлов и активизирующих процессы окисления. Поэтому изучение их состава и свойств имеет большое значение. «В то же время, с целью повышения качества и снижения производственных затрат необходимым и целесообразным является проведение научных исследований, в том числе в области процессов окисления и электрохимических явлений» [4].

Значительные достижения науки во всех областях техники невозможны без развития новых технологий производства перспективных материалов. К

таким перспективным материалам относятся сплавы системы Al-Be, которые характеризуются следующими свойствами: низкая плотность (2,0-2,4 г/см³), модуль упругости (140-220 ГПа) и прочность (450-600 МПа). Именно такой комплекс показателей обеспечивает им высокие механические свойства. Такие сплавы за счёт своей малой массы и достаточно высокой прочности получили широкое применение, в первую очередь в авиационной промышленности. Вместе с тем на практике часто возникает необходимость ещё больше улучшить их физико-механические характеристики. С этой целью в их состав вводят дополнительные металлические элементы, то есть проводят легирование, что позволяет повысить эксплуатационные свойства материала.

Как показывают опубликованные исследования, «теплофизические свойства сплавов систем Al-Cu, Al-Cu-Mg и Al-Cu-Mg-Ag, а также особенности их легирования уже достаточно подробно изучаются и остаются в центре внимания многих авторов» [5].

Химические процессы при обработке алюминия во многом зависят от условий, в которых работает материал, и от окружающей среды. Поэтому при их изучении важно учитывать именно реальные условия эксплуатации, так как от этого напрямую зависит характер протекания этих процессов.

В данной работе внимание сосредоточено на том, как ведут себя щёлочноземельные металлы – кальций, стронций и барий, если использовать их как легирующие добавки. Рассматривается, каким образом их введение влияет на свойства сплава: меняется ли его прочность, как ведёт себя материал при нагреве и какие изменения происходят в его термодинамических характеристиках. «Кроме того, изучается их влияние на скорость и особенности процессов окисления, а также на электрохимическое поведение алюминиевого сплава AlCu_{4,5}Mg₁, относящегося к дюралюминам» [12, с. 43].

В результате анализа научных источников было установлено, что конкретные данные о модифицировании дюралюминиевого сплава AlCu_{4,5}Mg₁ щёлочноземельными элементами отсутствуют. В связи с этим данный вопрос был выбран в качестве объекта научного исследования, и в состав сплава были введены незначительное количество кальция (Ca), стронция (Sr) и бария (Ba). Полученные результаты имеют важное теоретическое и практическое значение для расширения научных знаний о свойствах данного сплава и обоснования его выбора в качестве конструкционного материала.

Степень научной разработанности исследуемой проблемы. Вопросы влияния различных элементов на физико-механические и химические свойства алюминиевых сплавов рассмотрены в работах таджикских и российских учёных З. Низомова [1], И.Н. Ганиева [2], З.Р. Обидова [3], Т.Д. Джураева [4], Ф.И. Квасова [5], И.Н. Фридляндера [6], И.Ф. Колобнева [7], Р.Л. Петрова [8], Е.Ф. Чиркова [9], В.Г. Шевченко [10], Н.Е. Стручевой [11], И.В. Семёнова [12], Л.Ф. Мондольфо [13], Б.М. Лепинских [14], а также зарубежных исследователей, в том числе А.А. Alekseev [15], Е.Ф. Chirkov [16, 17], N. Stanford [18], Yang Y. [19] и других.

Вместе с тем анализ научной литературы показывает, что сведения о влиянии добавок щелочноземельных металлов — кальция, стронция и бария — на физико-химические свойства алюминиевого сплава типа дюралюминия $AlCu_{4,5}Mg1$ являются недостаточными. Недостаточная изученность термодинамических, кинетических и электрохимических свойств данной системы обусловила необходимость проведения настоящего исследования.

С учетом научной и практической значимости данного вопроса изучение влияния добавок Ca, Sr и Ba на физико-химические свойства указанного сплава требует проведения комплексных экспериментальных исследований. В связи с этим рассматриваемая проблема была выделена в качестве самостоятельного научного направления в рамках диссертационной работы. Проведение таких исследований может способствовать расширению и более эффективному использованию отечественного алюминия, особенно для нужд различных отраслей народного хозяйства Республики Таджикистан.

В этой связи основной целью исследования является определение термодинамических свойств алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg1$ при добавлении щелочноземельных металлов (Ca, Sr, Ba), а также изучение кинетики окисления в зависимости от температуры и исследование коррозионных и электрохимических свойств в среде растворов хлорида натрия различной концентрации.

Связь исследования с государственными программами. Данное исследование реализуется в рамках выполнения целей и приоритетных направлений стратегических государственных документов, включая Программу ускоренной индустриализации Республики Таджикистан, Стратегию развития науки и технологий на 2020–2025 годы, а также Среднесрочную программу развития Республики Таджикистан на 2021–2025 годы. Реализация этих программ направлена на выполнение положений основного стратегического документа страны – Стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года.

В соответствии с данной стратегией Республика Таджикистан поэтапно переходит от аграрно-индустриальной модели к индустриально-аграрной модели развития. В этом контексте результаты представленного исследования способствуют укреплению научно-технологической базы процесса индустриализации страны и более эффективному использованию потенциала отечественного сырья.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная цель исследования - изучение состава новых алюминиевых сплавов типа дюралюминия с модифицированной структурой, разработанных на основе системы $AlCu_{4,5}Mg1$. В работе также уделяется внимание тому, как меняются основные термодинамические характеристики и теплоёмкость сплавов при изменении температуры. Отдельно рассматриваются особенности протекания окисления в твёрдом состоянии, а также закономерности электрохимической коррозии алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg1$ при добавлении кальция, стронция и бария.

Задачи исследования:

– изучение основных термодинамических функций и теплоемкости сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ в зависимости от температуры и содержания легирующих элементов;

– определение механизма окисления в твердом состоянии и кинетических параметров окисления дюралюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ при добавлении небольших количеств Ca, Sr и Ba;

– изучение процесса электрохимической коррозии сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ в среде электролита NaCl, и определение зависимости коррозионных показателей от содержания легирующих элементов и концентрации в среде ионхлорида;

– проведение исследования микроструктуры полученных сплавов и оценивание, как легирование отражается на их механических свойствах.

Объект исследования: алюминиевый сплав типа дюралюминия $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ (Al + 4,5 мас. % Cu + 1,0 мас. % Mg) и легирующих металлов: кальций (Ca), стронций (Sr) и барий (Ba).

Предметом исследования является изучение комплекса физико-химических, термодинамических, электрохимических и механических свойств дюралюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, легированного небольшими количествами Ca, Sr и Ba.

Научная новизна проведенного исследования выражается в следующих результатах:

- впервые установлены и обоснованы закономерности изменения микроструктурных составляющих сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ при введении небольших количеств щелочноземельных металлов Ca, Sr и Ba;

- экспериментально определены и оценены твердость и прочность полученных сплавов $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюминия, легированного кальцием, стронцием и барием;

- определена температурная зависимость теплоемкости и основных термодинамических функций алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюминия и от содержания модифицирующих элементов, таких как кальций, барий и стронций;

- на основе экспериментов определены кинетические и энергетические характеристики процесса окисления дюралюминия $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, легированного кальцием, барием и стронцием, а также предложен и описан возможный механизм данного процесса;

- установлены и оценены анодная устойчивость и электрохимические свойства дюралюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ с добавками Sr, Ba и Ca в агрессивной среде раствора NaCl.

Полученные результаты дополняют представления о том, как щелочноземельные металлы влияют на алюминиевые сплавы дюралюминиевого типа, и формируют научную базу для создания новых материалов с повышенной устойчивостью к коррозии.

Теоретическая и научно-практическая значимость выполненного исследования. Теоретическая значимость исследования заключается в расширении научных знаний о закономерностях влияния щелочноземельных металлов (Sr, Ba и Ca) на структуру, термодинамические свойства, кинетику окисления и электрохимическое поведение алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$

типа дюралюминия. Полученные результаты позволяют более глубоко раскрыть механизмы изменения микроструктуры и взаимосвязь между ней и физико-химическими, а также механическими свойствами сплава.

Научно-практическая значимость работы заключается в том, что введение небольших количеств Sr, Ba и Ca в сплав $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ может привести к улучшению комплекса эксплуатационных свойств широко используемого дюралюминия. Даже незначительное повышение механических характеристик, коррозионной стойкости или снижение себестоимости материала в условиях промышленного производства может обеспечить существенный экономический эффект.

Основные положения, выносимые на защиту:

- в результате проведённых автором экспериментальных исследований установлено, что легирование алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюмина кальцием, стронцием и барием приводит к изменению его микроструктуры и фазового состава, а также, в зависимости от концентрации модифицирующих элементов, способствует улучшению механических свойств сплава;

- установлены зависимости теплоёмкости, коэффициента теплоотдачи, энтальпии, энтропии и энергии Гиббса сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ от температуры и концентрации добавок кальция, стронция и бария, а также научно обосновано влияние этих элементов на основные термодинамические функции сплава;

- установлено, что легирование алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюмина кальцием, стронцием и барием снижает скорость высокотемпературного окисления и скорость коррозии в растворе NaCl, повышая его анодную устойчивость и коррозионную стойкость.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов обеспечивается совокупностью факторов, в том числе: использованием современного испытательного оборудования, прошедшего метрологическую проверку, сертификацию и калибровку в соответствии с действующими требованиями; применением признанных физико-химических и электрохимических методов исследования; воспроизводимостью экспериментальных результатов; а также соответствием полученных данных закономерностям и современным теоретическим концепциям материаловедения и физической химии. Кроме того, сравнительный анализ результатов с данными научной литературы и статистическая обработка экспериментальных данных подтверждают высокий уровень обоснованности представленных выводов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

По своему содержанию, направлению исследований и научной новизне диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.5.16 – Материаловедение (в металлургии):

Пункт 1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и строения материалов на разных уровнях (макро, микро, нано, атомном, электронном) с комплексом их физико-механических свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий;

Пункт 2. Разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами в зависимости от конкретных условий изготовления и эксплуатации изделий и конструкций;

Пункт 3. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования структуры материалов с заданным комплексом свойств;

Пункт 4. Конструирование и создание новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой;

Пункт 10. Разработка способов повышения коррозионной стойкости материалов в различных условиях эксплуатации.

Личный вклад соискателя учёной степени. Личный вклад автора заключается в выборе направления исследования и обосновании научной проблемы, разработке плана и программы экспериментальных работ, а также самостоятельном выполнении основной части исследования. Автор непосредственно осуществил синтез экспериментальных сплавов, проведение физико-химических и электрохимических испытаний, сбор, обработку и анализ полученных результатов. Кроме того, автор принимал непосредственное участие в обобщении и научной интерпретации результатов, формулировании выводов и практических рекомендаций, подготовке статей для публикации в рецензируемых журналах и представлении результатов на научных конференциях.

Апробация и реализация результатов исследования. Основные результаты диссертации были представлены и обсуждены на ряде научных конференций республиканского и международного уровня, в том числе: VIII Международной конференции «Современные проблемы физики», Государственного научного учреждения «Институт физики и техники имени С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана» (Душанбе, 2022); Международной научной конференции «Инновационное развитие науки», Центра исследований инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана (Душанбе, 2022); Республиканской научно-теоретической конференции «Проблемы современной химии и состояние её внедрения в образовательный процесс» (Дангара, 2022); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы технических, точных и математических наук», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020–2040)» и проводимой в рамках объявления 2022–2026 годов «Годами развития промышленности», Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (Бохтар, 2024).

Обсуждение результатов на данных научных мероприятиях способствовало уточнению и совершенствованию представленных выводов, а также подтвердило научную и практическую значимость проведённого исследования.

Публикация по теме диссертации. Полученные новые научные результаты опубликованы в 14 статьях, в том числе 8 в рецензируемых журналах и 4 в сборниках конференций республиканского и международного уровня. Также по важнейшим результатам и научным новшествам исследования получены патент Республики Таджикистан на имя автора (№1528 ТЈ от 13.03.2024) и один патент в соавторстве (№1365 ТЈ от 08.11.2022). Эти патенты подтверждают практическую значимость и правовую защищённость результатов исследования.

Структура и объём диссертации. Диссертация выполнена в соответствии с установленными требованиями и состоит из следующих разделов: введение, пять глав, приложение и список литературы. Общий объём диссертации составляет 199 страниц, она содержит 71 рисунок и 40 таблиц, в которых представлены экспериментальные результаты, микроструктурный анализ и графики зависимостей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснован выбор темы диссертационного исследования, определяются её цель и основные задачи, а также даётся краткое описание использованных методов исследования. Выделены положения, раскрывающие научную новизну работы, её теоретическую значимость и практическую ценность. Также последовательно представлены ключевые результаты и выводы, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Физико-химические свойства алюминиевых сплавов типа дюралюминия», дан обзор современных исследований физико-химических свойств дюралюминиевых сплавов. В данной главе рассмотрены основные сведения о строении, фазовом составе и свойствах алюминиевых сплавов. Особое внимание уделено роли легирующих элементов, поскольку именно они во многом определяют поведение материала и его эксплуатационные возможности.

«Отдельно проанализированы особенности сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, его свойства и области применения. Также затронуты вопросы теплофизических характеристик, окисления и коррозии алюминия, напрямую влияющие на долговечность и надёжность материала в процессе эксплуатации» [1-А].

«Анализ опубликованных исследований показывает, что тема легирования данного сплава изучена достаточно широко. Вместе с тем многие вопросы всё ещё требуют более глубокого изучения. В частности, влияние малых добавок различных элементов на коррозионную стойкость сплава рассматривается ограниченно и нередко без подробного объяснения происходящих процессов» [1-А].

В процессе работы с литературой стало ясно, что влияние щёлочноземельных элементов – кальция, стронция и бария на свойства сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ изучено недостаточно. Сначала это выглядело как отдельный частный вопрос, однако позже стало понятно, что именно он представляет наибольший интерес и во многом определяет актуальность исследования.

Анализ и сопоставление имеющихся данных показали, что многие вопросы в этой области до сих пор остаются недостаточно изученными. Именно это

позволило более чётко определить направление работы, сформулировать цель исследования и уточнить основные задачи.

Во второй главе подробно описаны материалы и методы, использованные в ходе исследования. Рассмотрены исходный сплав, условия его получения и легирования, а также причины выбора применённых методик.

«Основное внимание уделено экспериментальной части работы. Показано, какие приборы использовались при исследованиях и как проводились измерения. В частности, приведена методика определения твёрдости по Бринеллю с учётом особенностей проведения испытаний и используемых расчётов» [2-А].

В работе применён комплекс современных методов исследования, позволивший всесторонне изучить свойства сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$. Особое внимание уделено изменению теплофизических характеристик, процессам окисления и коррозионной стойкости материала в различных условиях.

Проведённые эксперименты и анализ полученных результатов позволили более подробно проследить поведение сплава и оценить влияние щёлочноземельных элементов на его свойства. Использование электрохимических методов исследования дало возможность получить данные, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации, что повысило практическую ценность работы.

В третьей главе представлены результаты исследования сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, легированного кальцием, стронцием и барием. Основное внимание уделено изменениям свойств материала после введения этих элементов и их влиянию на поведение сплава в различных условиях.

В ходе исследования удалось проследить, как меняются теплоёмкость, термическая устойчивость и другие термодинамические характеристики сплава при различных условиях. Одновременно были изучены изменения физико-механических свойств материала в зависимости от его состава и температурной обработки.

«Полученные результаты показали, что добавление кальция, стронция и бария действительно влияет на свойства сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$. В ряде случаев такие добавки способствуют улучшению эксплуатационных характеристик материала, что подтверждает перспективность их использования при создании алюминиевых сплавов дюралюминиевого типа» [3-А].

Микроструктура сплавов исследовалась с использованием оптической микроскопии, что позволило оценить размер и форму зерен, а также характер структурных изменений после температурной обработки и в процессе разрушения. Микроструктурный анализ применялся для определения границ однородности структуры в зависимости от химического состава и температурных режимов, а также для выявления межметаллических фаз. Для исследований использовались цилиндрические образцы диаметром 15 мм и длиной 20 мм, которые подвергались механической полировке и последующему травлению в спирте и 0,5 процентном водном растворе HF в течение 30-50 секунд.

«Исследуемый сплав имел состав 4,5% Cu, 1,0% Mg и 94,5% Al. Для модифицирования свойств дополнительно вводились щелочные металлы в количестве от 0,05 до 1,0 мас.%. Установлено, что даже при малом содержании добавок наблюдаются заметные изменения микроструктуры сплава» [4-А] (рис. 1-3).

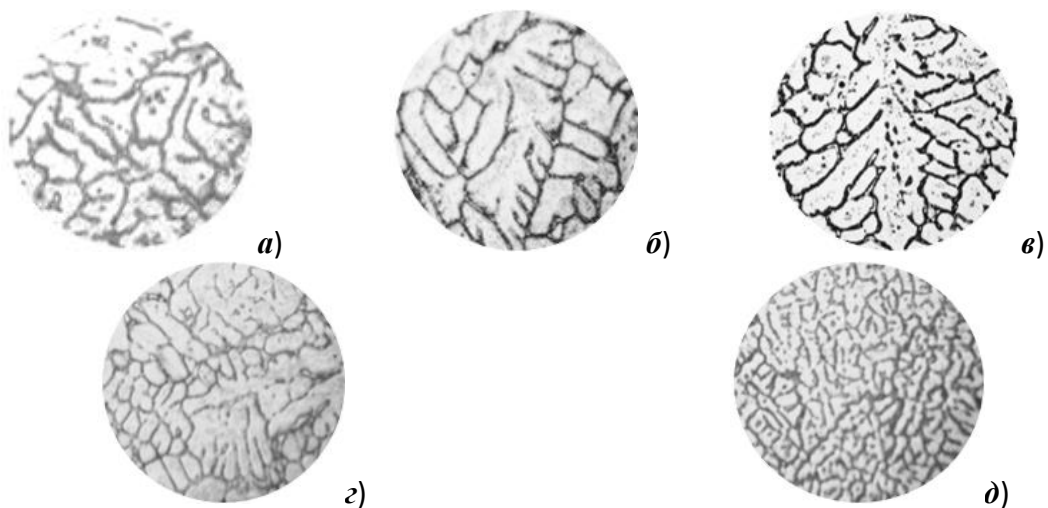


Рисунок 1. – Микроструктура (x500) алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминий (а), содержащего кальций, мас. %: 0,05(б); 0,1 (с); 0,5 (г); 1,0 (д).

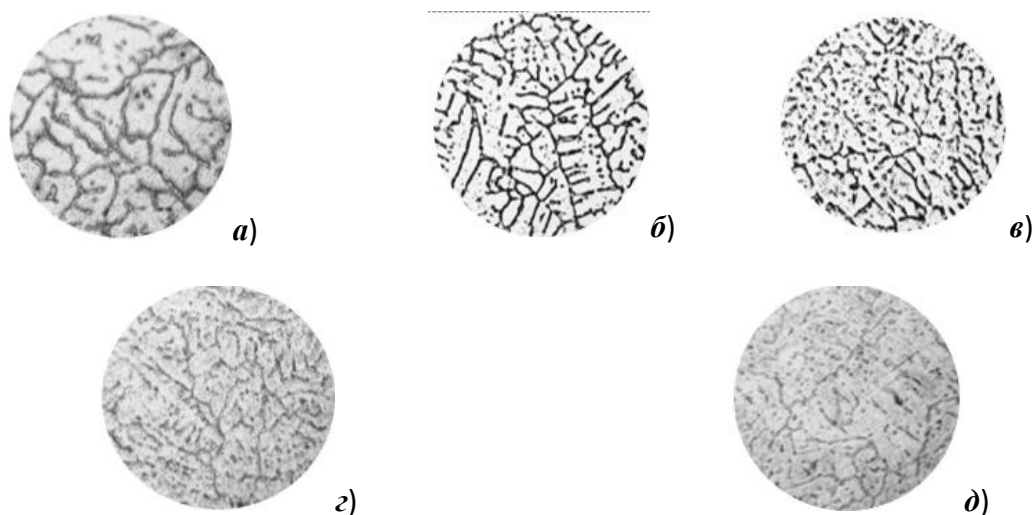


Рисунок 2. – Микроструктура (x500) алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия, содержащего стронций, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1 (с); 0,5(г);1,0 (д).

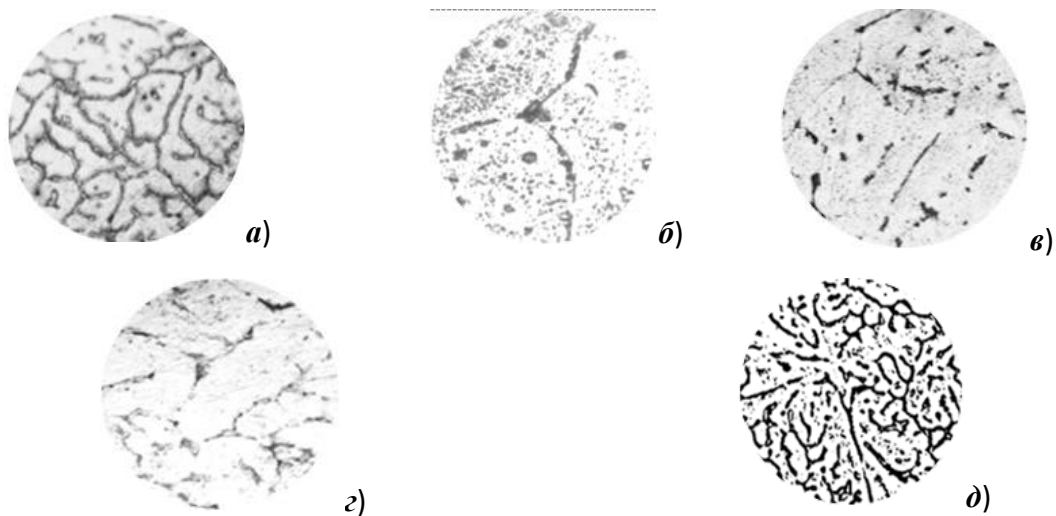


Рисунок 3. – Микроструктура (x500) алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия, содержащего барий, мас. %: 0,0(а); 0,05(б); 0,1 (с); 0,5 (г); 1,0 (д).

Анализ показал, что при легировании сплава до 1,0 мас.% кальцием, стронцием и барием наблюдается измельчение микроструктуры исходного материала, при этом структура становится более однородной и мелкозернистой (рис. 3.3).

Механические свойства металлов и сплавов в значительной степени определяются их структурным строением, в связи с чем важное значение имеют механические испытания с учётом структурных изменений, происходящих при термической обработке.

Определение твёрдости проводилось с использованием прибора HBRV-187.5 D. Для испытаний механических свойств были изготовлены образцы размером 6 × 16 мм. На основе полученных значений твёрдости по Бринеллю прочность образцов рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_s = k * H B \quad (1)$$

где $k = 0,35$.

С учётом указанного коэффициента были рассчитаны значения временного сопротивления разрыву σ_b , которые приведены в таблице 1. Полученные результаты свидетельствуют о снижении механической прочности при малых концентрациях добавок Ca, Sr и Ba.

Таблица 1. – Твёрдость и рассчитанная прочность образцов дюралюминия AlCu4,5Mg1

Объём добавок, мас. %	Твёрдость, HB (кгс/мм ²)	Прочность HB, МПа	Расчётная прочность, МПа
0,0	28,11	275,66	96,48
0,05 Ca	31,25	306,45	107,25
0,1 Ca	34,67	340,00	119,00
0,5 Ca	37,34	366,18	128,16
1,0 Ca	40,48	393,83	137,84
0,05 Sr	31,00	304,00	106,40
0,1 Sr	34,11	334,50	117,07
0,5 Sr	36,89	361,76	126,61
1,0 Sr	39,55	387,85	135,74
0,05 Ba	31,95	313,32	109,66
0,1 Ba	35,18	345,00	120,75
0,5 Ba	38,23	374,91	131,21
1,0 Ba	41,34	405,41	141,89

Примечание: * Средние значения твёрдости (HB) определены на основе трёх измерений, выполненных на различных срезах образцов.

Изучение теплофизических свойств металлических сплавов – это не просто формальный этап, а важная часть работы при создании новых материалов и изделий на их основе. Вопрос температурной устойчивости материала имеет принципиальное значение, поскольку именно способность сплава работать в различных температурных режимах во многом определяет области его применения и надёжность в эксплуатации. По сути, от того, как материал реагирует на температурные изменения, зависит его поведение в реальных условиях работы.

Практика и результаты исследований показывают, что температура существенно влияет на свойства материала. При нагреве и охлаждении

изменяются структура сплава, его прочность, твёрдость и коррозионная стойкость, от которых напрямую зависит надёжность материала в эксплуатации.

Особенно чувствительны к таким изменениям алюминиевые сплавы, широко применяемые в авиации, энергетике и машиностроении, где материалы работают в условиях высоких и переменных температур. «Даже небольшие изменения их свойств могут повлиять на долговечность конструкции» [6].

Поэтому изучение теплофизических и термодинамических свойств сплавов, легированных щёлочноземельными элементами, имеет большое значение. Это позволяет лучше понять процессы, происходящие в материале, и оценить его устойчивость в реальных условиях эксплуатации. Кроме того, это даёт более чёткое представление о том, как сплав будет вести себя в реальных условиях эксплуатации.

В данной работе теплоёмкость сплавов определялась с использованием закона Ньютона–Рихмана. Суть метода достаточно проста и понятна: сравнивается процесс охлаждения исследуемого образца с поведением эталонного материала (А5N), для которого основные параметры уже известны. На основе этого сопоставления можно судить о реакции материала на изменение температуры.

Для проведения экспериментов были подготовлены образцы стандартной цилиндрической формы размером 16×30 мм. Сначала их получали методом литья, после чего подвергали механической обработке. Особое внимание уделялось точности измерения температуры: с этой целью в каждом образце с одной стороны выполнялось отверстие, в которое устанавливалась термопара, что обеспечивало более надёжную фиксацию температурных изменений. Дальнейшее исследование проходило в соответствии с требованиями метода, нагревом находящихся внутри образцов и измерение параметров. Стоит отметить что данный метод имеет большую чувствительность к внешнему воздействию и поэтому важно соблюдать технологию и устранить влияние внешних воздействий.

При проведении исследования образца 1 и образца 2 которые имеют одинаковые размеры поверхности и равный коэффициент теплоотдачи, то необходимая величина может быть определена следующим расчетом:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 * \frac{m_1}{m_2} * \frac{(\frac{dT}{d\tau})_1}{(\frac{dT}{d\tau})_2} \quad (2)$$

$(\frac{dT}{d\tau})_i$ - скорость охлаждения; $m_i = \rho_i V_i$ вес i -го образца.

Были построены кривые охлаждения с целью определения скорости охлаждения исследуемых материалов. Построенные кривые показывают зависимость температуры образца находящегося в неподвижном воздухе, от времени. На рисунке 4 представлены кривые построенные на основе данных полученных в ходе экспериментов по определению теплофизических параметров легированного кальцием дюралюминиевый сплав AlCu4.5Mg1.

Замер температуры проводили каждые 10 секунд с шагом измерения 0,1 К. Так как значения находятся в большой зависимости от температуры измерения, были определены погрешности которые при температурах 298,15 – 673К составляет $\pm 1\%$, а выше 673К - $\pm 2,5\%$. При этом при этом методе погрешность не превышает 4%. Для обработки экспериментальных результатов использовались программы MS Excel и Sigma Plot 10.0.

Ниже приведены графики кривых охлаждения (рис. 4).

$$T = a \cdot e^{-b\tau} + p \cdot e^{-k\tau} \quad (3)$$

($a, b, p, k - \text{const}, \tau$ - время охлаждения).

Вычисляя дифференциал из (4) от времени охлаждения образцов, можно выявить скорость охлаждения.

$$\frac{dT}{d\tau} = -a \cdot b \cdot e^{-b\tau} - p \cdot k \cdot e^{-k\tau} \quad (4)$$

В таблице 2 представим множители a, b, p, k, ab, pk уравнения 4. На рисунке 4 показаны зависимости скорости охлаждения образцов алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия с кальцием и температурой.

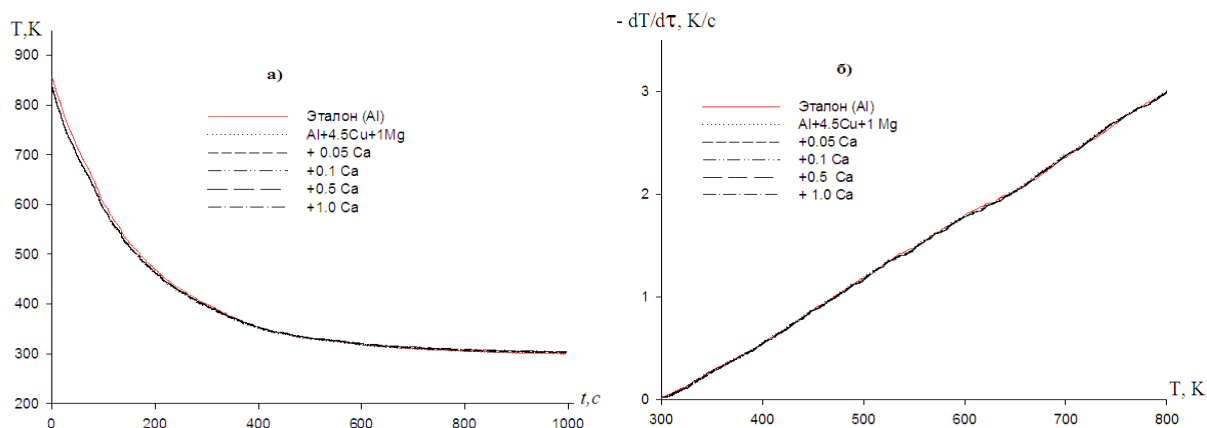


Рисунок 4. – Термограмма (а) и скорость охлаждения в зависимости от температуры (б) сплава AlCu4.5Mg1+Ca и эталона

Таблица 2. – Значения коэффициентов из уравнении (4) для дюралюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 легированного кальцием

Объем добавок Ca в сплаве, мас. %	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, c^{-1}	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, c^{-1}	$ab \cdot 10^{-6}$, Kc^{-1}	$pk \cdot 10^{-2}$, Kc^{-1}
-	517.43	6.13	312.89	4.48	3.17	1.4
0.05	517.43	6.13	314.19	4.46	3.17	1.4
0.1	517.43	6.13	315.39	4.44	3.17	1.4
0.5	517.43	6.13	315.49	4.44	3.17	1.4
1.0	517.43	6.13	316.29	4.43	3.17	1.4
Эталон	540.10	6.12	315.19	5.61	3.31	1.8

Для определения удельной теплоемкости синтезированных новых сплавов с кальцием, берем уже известное значение скорости охлаждения и на его основе получаем выражение зависимости температуры от теплоемкости:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (5)$$

Коэффициенты для определения C_p^0 подробно приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Значения коэффициентов из уравнения (5) для расчёта теплоемкости сплавов

Объем добавок Са в сплаве, мас. %	a , $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	b , $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^2)$	$c\cdot 10^{-3}$, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^3)$	$d\cdot 10^{-5}$, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}^4)$	Коэффициент корреляции (R^2)
-	676.61	9.71	-1.22	8.69	0.999
0.05	676.51	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

Используя формулы (2) и (5) после каждого 100 К, рассчитали зависимость температуры от теплоёмкости для образцов, легированных кальцием. Анализ рассчитанных значений (рис. 5а и табл. 4) показывает, что добавление легирующего компонента кальция снижает теплоемкостные характеристики сплава. А рост температуры, наоборот, увеличивает этот параметр.

Таблица 4. – Температурная зависимость удельной теплоемкости образцов из дюралюминиевого сплава ALCu4,5Mg1 с кальцием

Объем добавок Са в сплаве, мас. %	Т, К					
	3 0 0	4 0 0	5 0 0	6 0 0	7 0 0	8 0 0
0,0	881,56	925,41	965,73	1007,71	1056,56	1117,53
0,05	881,43	925,25	965,51	1007,39	1056,13	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	903,71	949,58	991,96	1036,35	1088,21	1153,01

Далее, опираясь на полученные данные о теплоемкости и скорости охлаждения, можно рассчитать коэффициент теплоотдачи $\alpha(T)$ следующим образом:

$$\alpha = \frac{C_p^0 * m * \frac{dT}{dt}}{(T - T_0) * S} \quad (6)$$

Здесь: Т-температура образца; T_0 -окружающей среды; S-площадь поверхности; m-масса.

Зависимость коэффициента теплоотдачи дюралюминиевого сплава ALCu4,5Mg1 с добавками кальция от температуры показана на рис. 5 (б). Введение кальция снижает коэффициент теплоотдачи исходного сплава ALCu4,5Mg1 типа дюралюминия и данный коэффициент показывает рост значений с увеличением температуры в исследуемой среде.

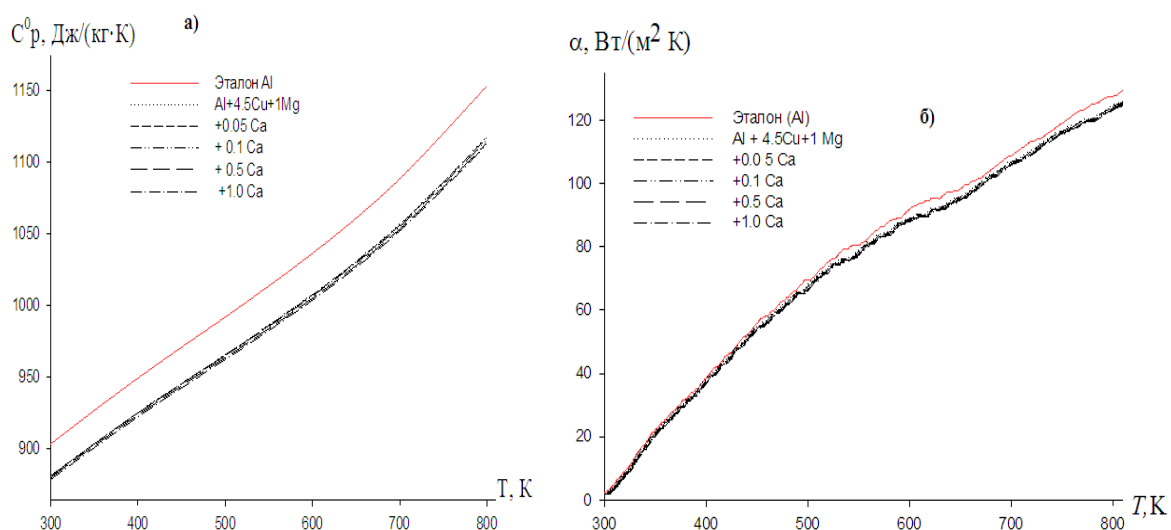


Рисунок 5. – Кривые зависимости сплавов: а) теплоемкость от изменения температуры; б) коэффициент теплоотдачи от изменения температуры

Другими важными теплофизическими параметрами сплавов является энергия Гиббса, энтальпия и энтропия. Эти параметры показывают устойчивость системы и наличие энергии связанной с этой системой. Их можно рассчитать с помощью (7) – (9). После этого, интегрируя значения удельной теплоёмкости, вычисляемый по (2) при начальной температуре $T_0 = 298,15$ К, принимает следующий вид:

$$H^0(T) - H^0(T_0) = \alpha(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{2}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{2}(T^4 - T_0^4); \quad (7)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{b}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (8)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (9)$$

Значения основных термодинамических функций в зависимости от температуры и объема легированного вещества приведены в таблице 5.

Таблица 5. – Температурная зависимость термодинамических функций алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия с кальцием и эталоном (Al марки А5N)

Объем добавок Са в сплаве, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$					
	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1,630	92,0308	186,596	285,232	388,367	496,951
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	1,671	94,386	191,472	292,848	398,991	510,921
$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кДж/(кг·К)}$						
0.0	0,0054	0,2652	0,4761	0,6557	0,8146	0,9595
0.05	0,0054	0,2651	0,4759	0,6556	0,8143	0,9592
0.1	0,0054	0,2650	0,4768	0,6554	0,8141	0,9587
0.5	0,0054	0,2647	0,4752	0,6545	0,8129	0,9573

Продолжение таблица 5						
1.0	0,0054	0,2644	0,4745	0,6536	0,8118	0,9560
Эталон	0,0055	0,2719	0,4884	0,6732	0,8366	0,9861
$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{кДж/кг}$						
0.0	-0,005	-14,055	-51,436	-108,238	-181,902	-270,708
0.05	-0,005	-14,053	-51,427	-108,219	-181,866	-270,65
0.1	-0,005	-14,05	-51,416	-108,192	-181,81	-270,549
0.5	-0,005	-14,033	-51,352	-108,05	-181,566	-270,175
1.0	-0,005	-14,013	-51,279	-107,899	-181,315	-269,806
Эталон	-0,0051	-14,412	-52,759	-111,054	-186,69	-277,922

На основании полученных результатов определены теплофизические свойства алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ и добавок кальция в диапазоне концентраций 0,05 - 1,0 мас.% было обнаружено, что теплоемкость, энтальпия и энтропия исходного сплава уменьшаются, а величина энергии Гиббса увеличивается. «Также для исследуемых сплавов была определена температурная зависимость теплоемкости этих материалов и изменения величин термодинамических функций, которые можно рассчитать с помощью корреляционного коэффициента $R^2_{\text{кор}} = 0.999$ » [1-А].

В таблицах подробно приведены рассчитанные значения теплофизических параметров синтезированных сплавов. Для большей наглядности в этих таблицах показаны значения для сплавов содержащих 1 масс.% добавок. Судя по этим данным температура положительно влияет на термодинамические функции и теплоемкость образцов, и негативно на величину энергии Гиббса, такая же зависимость наблюдается при увеличении объема легирующего компонента в сплаве.

Необходимо отметить, что чем больше объем легирующего компонента, тем сильнее наблюдается изменения в свойствах исходного сплава. «Среди трёх выбранных для легирования металлов, теплоемкость сплавов снижается по следующему порядку $\text{Ca} \rightarrow \text{Ba} \rightarrow \text{Sr}$ » [7, с. 129-131] (табл. 6).

Таблица 6. – Температурная зависимость удельной теплоемкости образцов из дюралюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ с добавками разных элементов

Т, К	Теплоемкость сплавов, Дж/(кг·К)			
	Содержание щелочноземельных металлов в сплаве, мас.%			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	881,56	879,00	875,58	874,59
400	925,42	922,51	919,44	918,44
500	965,73	962,37	959,75	958,75
600	1007,70	1003,79	1001,73	1000,73
700	1056,57	1051,94	1050,59	1049,59
800	1117,53	1112,03	1111,55	1110,55

Таблица 7. – Зависимость основных теплофизических параметров дюралюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 с 1,0 мас.% кальцием, стронцием и барием

T, K	$[H^0(T) - H^0(T_0)]$, кДж/кг для сплавов			
	Количество ЦЗМ в сплавах, мас.%			
	0,0	1,0Ca	1,0Sr	1,0Ba
300	1,630	1,625	1,619	1,622
400	92,030	91,753	91,421	91,610
500	186,596	186,006	185,389	185,699
600	285,232	284,279	283,427	283,755
700	388,367	386,988	385,964	386,179
800	496,950	495,066	493,949	493,904
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кДж/(кг·К) для сплавов				
300	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
400	0,2652	0,2644	0,2634	0,2640
500	0,4760	0,4745	0,4729	0,4737
600	0,6557	0,6536	0,6516	0,6524
700	0,8146	0,8118	0,8095	0,8102
800	0,9595	0,956	0,9536	0,954
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кДж/кг				
300	-0,005	-0,00503	-0,005	-0,005
400	-14,0554	-14,0135	-13,9615	-13,9917
500	-51,4363	-51,2793	-51,0976	-51,1982
600	-108,236	-107,899	-107,534	-107,721
700	-181,902	-181,315	-180,733	-180,998
800	-270,708	-269,806	-268,987	-269,305

В четвёртой главе «Исследование влияние добавок кальция, стронция и бария на кинетику окисления алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия, в твердом состоянии» изложены результаты проведённых исследований в данном направлении. Рассмотрены, как изменяется скорость окисления в зависимости от состава сплава и содержания легирующих элементов. Показано, что добавки Ca, Sr и Ba заметно влияют на формирование оксидной плёнки и её защитные свойства. Проанализированы кинетические параметры окислительных процессов, что позволило оценить устойчивость сплава к воздействию высоких температур. Полученные данные подтверждают важную роль микролегирования в повышении эксплуатационной устойчивости алюминиевых сплавов.

Окисление является одной из основных причин выхода из строя деталей, конструкций и техники в целом. Поэтому повышение устойчивости материалов к окислению остаётся важной задачей в материаловедении, и ей уделяется большое внимание в научных исследованиях. Один из эффективных способов улучшения свойств сплавов является легирование, то есть добавление других металлов в их состав. С учётом имеющихся данных, по-прежнему актуально изучение влияния различных металлических добавок на процессы окисления при доступе кислорода и в условиях высоких температур.

В этой части исследования представлены данные о ходе окисления образцов термогравиметрическим методом. Суть метода заключается в

непрерывном измерении массы твердого образца в единицу времени. Для исследований были отлиты образцы стандартного размера и массы, состав которых включал от 0.05% до 1.0% указанных выше модифицирующих элементов элементов.

На рисунке 6 показаны кривые показывающие привес образцов. Как видно из них, опыты проводились при трёх различных температурах, при которых образцы показывали одинаковую динамику изменения параметров. Исследования проводились с продолжительностью в 60 мин. но основная активность в печи проходила в течении 15-20 минут, в ходе которых образец интенсивно окислялся и его масса стабильно увеличивалась.

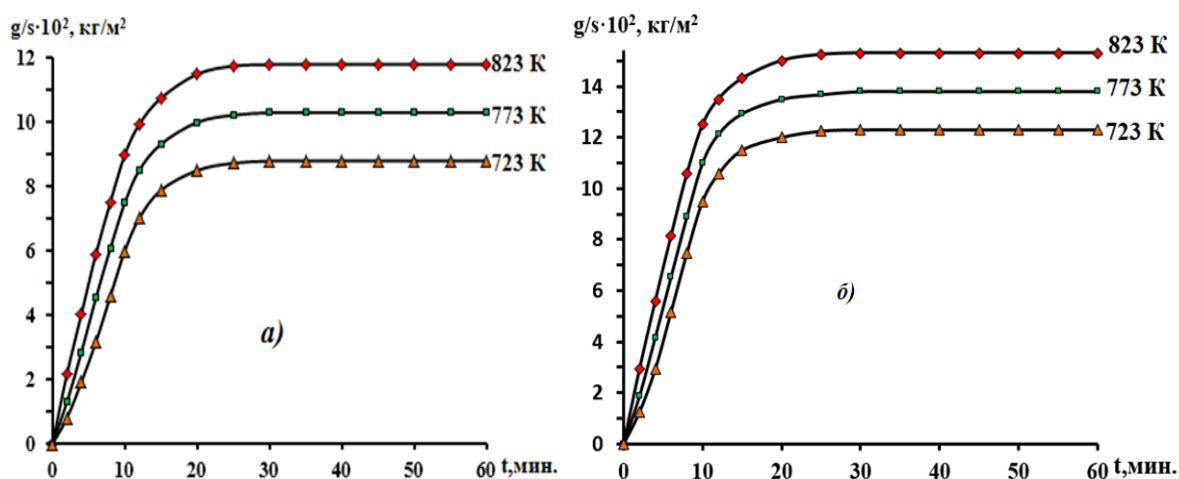


Рисунок 6. – Кинетические кривые окисления сплава $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ (а) и образца с добавкой 1,0 мас. % кальция (б).

«В ходе изучения процессов окисления исходного сплава и сплавов с добавлением кальция установлено, что скорость окисления изменится. В частности, при температуре 723 К скорость окисления изменяется с $2,26 \cdot 10^{-4}$ до $2,42 \cdot 10^{-4}$ а при 823 К равна с $2,73 \cdot 10^{-4}$ до $2,88 \cdot 10^{-4} \text{ кг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ » [8]. Сопоставляются с этим и полученные данные величин энергий активаций. Если энергия активации исходного сплава имела величину 118,5 то при легировании 1 масс.% кальцием, энергия активации снижается до 107,8 кДж/моль.

Таблица 8. – Кинетические и энергетические параметры твёрдофазного окисления сплава $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$

Объем добавок Са, мас. %	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $\text{К} \cdot 10^4, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергия активации, кДж/мол
-	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	2.81	

Продолжение таблица 8			
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	

О не параболической зависимости окислительных процессов свидетельствует тот факт, что квадратичные кривые для исследуемого дюралюминия $AlCu_{4,5}Mg_1$ легированного Ca, не имеет прямолинейный вид (рис. 7). В таблице 9 подробно представлены уравнения характеризующие квадратичные кривые для сплавов с добавками Ca в различном объеме.

$$y = k * x^n \quad (10)$$

В данном уравнении n может иметь значения от 1 до 4. И следовательно можно утверждать, что кинетические квадратичные кривые описываются полиномиальной функцией четвёртой степени.

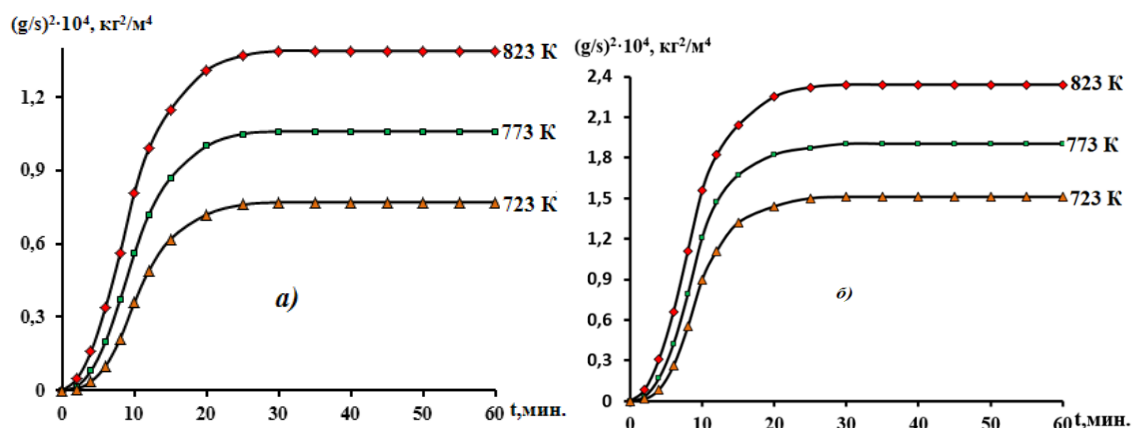


Рисунок 7. – Кинетические квадратичные кривые окисления дюралюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ (а) и образца с 1,0 мас.% кальцием (б)

Таблица 9. – Полиномы кинетических квадратичных кривых твёрдофазного окисления дюралюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ с кальцием

Объем добавок Ca, мас. %	Температура опытов, К	Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления	Коэффициент регрессии (R^2)
-	723	$m/c = -0,7 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,2 \cdot 10^{-3}t^3 - 2,11 \cdot 10^{-2}t^2 + 0,7584t$ **	0,983
	773	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,55 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,0238t$	0,990
	823	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,11 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,3014t$	0,997
0.05	723	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,22 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,0184t$	0,978
	773	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-4}t^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,77 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,2953t$	0,988
	823	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-7}t^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}t^3 - 6,74 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,6243t$	0,996
0.1	723	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,53 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,0847t$	0,978
	773	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,18 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,3744t$	0,988
	823	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,14 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,703t$	0,995
0.5	723	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,88 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,1613t$	0,976
	773	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,52 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,4497t$	0,987
	823	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,42 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,7679t$	0,995
1.0	723	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,3 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,242t$	0,979
	773	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,88 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,5229t$	0,988
	823	$m/c = -0,6 \cdot 10^{-9}t^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,71 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,8323t$	0,995

Примечание: m/c * увеличение веса образцов; t * * продолжительность процесса окисления.

Рисунок 8 показывает ход окисления сплава AlCu4.5Mg1 . По кривым видно, что увеличение массовой доли модифицирующего компонента Ca , процесс окисления и соответственно привес становится более активным. При 10 мин (1-я кривая) и при 20 мин в воздушной атмосфере (2-я кривая). На рисунке 8б представлены кривые показывающие ход окисления при более высокой температуре 823К. Эти кривые хорошо показывают зависимость скорости процесса и набора массы образцов от увеличения температуры и объема добавок.

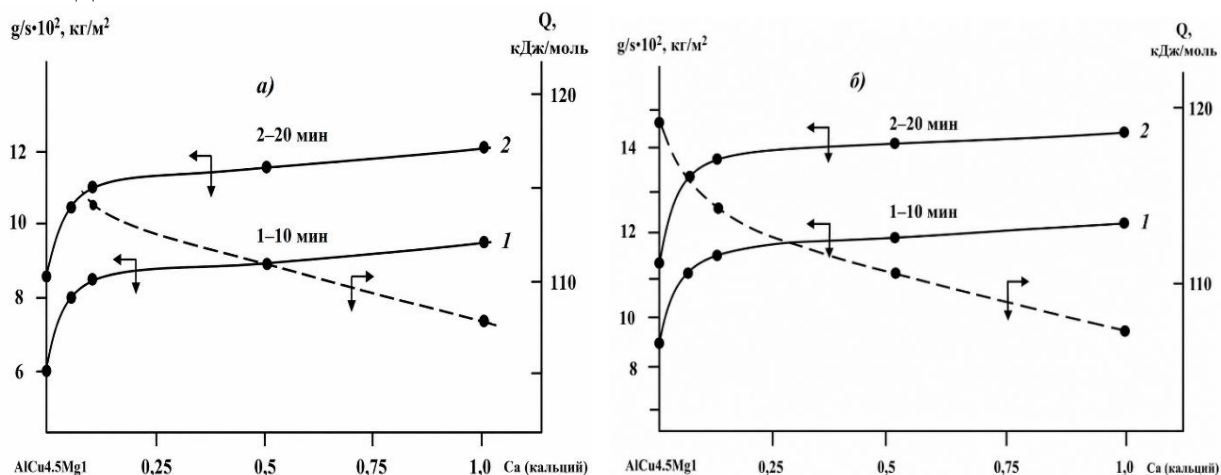


Рисунок 8. – Окисление изохронов алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия с кальцием при 723 К (А) и 823 К (б).

Линейная зависимость $-\lg K = f(1/T)$ для сплавов содержащих малые количества Ca (0,05–1,0 мас. %) приведена на рисунке 9. Энергия активации для данных образцов была определена по углам наклона аппроксимирующих прямых.

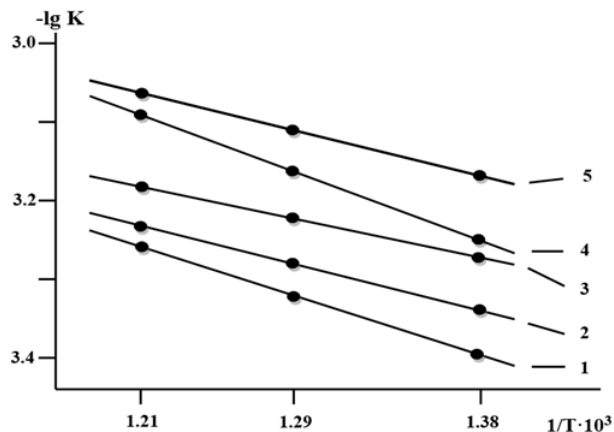


Рисунок 9. – Линейная зависимость $-\log K = f(1/T)$ для алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия, с кальцием (1), мас. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5).

По результатам рентгенофазного анализа продуктов окисления алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия с кальцием (рис. 10) было определено, что при окислении сплавов образуются следующие оксиды: AlO ; CuO ; $\text{Mg}_{0.67}\text{Al}_{10.33}\text{O}_{17}$; Cu_2MgO_3 ; Al_2MgO_4 ; CaAl_2O_4 ; $\text{Ca}_{.950}\text{Mg}_{.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$.

Одиночные оксиды и оксиды типа шпинели (CaAl_2O_4 , $(\text{CaAl}_2\text{O}_4, \text{Ca}_{.950}\text{Mg}_{.900}\text{Al}_{10.100}\text{O}_{17}$ и др.), которые при окислении алюминиевого сплава AlCu4,5Mg1 с кальцием обладают недостаточными защитными свойствами, поэтому необходимо отметить, что увеличение скорости окисления исходного

сплава зависит не только от температуры испытания, но и от объема легирующего элемента в испытуемом сплаве.

Увеличение объема Са в сплаве, особенно при 1масс.% приводит ослаблению защитных свойств сплава от коррозии. Причиной этого является образование веществ активно реагирующих при высоких температурах с кислородом воздуха. Однако, принимая низкое добавление кальция в сплаве $AlCu_{4,5}Mg1$ вызывает незначительное увеличение процесса окисления, что приводит к получению продуктов, работающих при низких температурах.

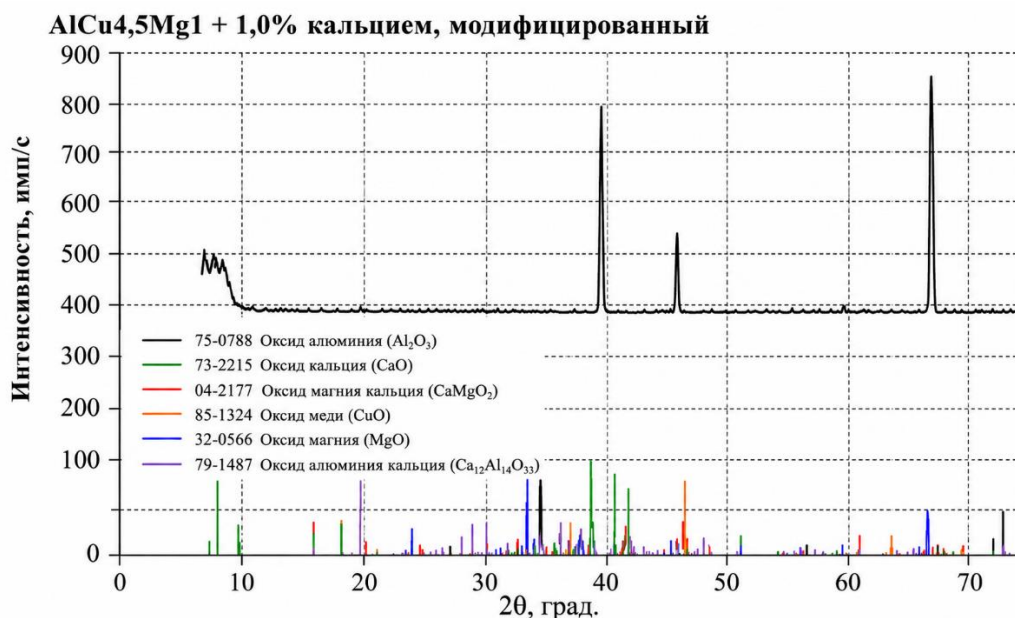


Рисунок 10. – Дифрактограмма образовавшихся веществ в процессе окисления сплава $AlCu_{4,5}Mg1$ типа дюралюминия с кальцием

Результаты проведенных исследований процесса окисления дюралюмина $AlCu_{4,5}Mg1$ содержащего Са, Sr и Ва показали, что процесс окисления подчиняется общему закону изменения величины энергии активации (табл. 10).

Из таблицы 10 следует, что эффективная энергия активации процесса окисления алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg1$ типа дюралюминия уменьшается по следующей очередности добавок $Ca \rightarrow Sr \rightarrow Ba$. Было установлено, что из трёх добавок, наибольшую скорость окисления демонстрируют сплавы с барием, тогда как сплавы с кальцием окисляются несколько медленнее. Однако различия в значениях этих параметров невелики и не являются существенными.

Таблица 10. – Зависимость значений энергии активации процесса окисления дюралюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg1$ от концентрации добавок

Содержание ЦЗМ в сплаве, мас. %	Значения энергии активации, кДж/моль				
	-	0,05%	0,1%	0,5%	1,0%
Кальций	118.5	116.0	114.1	110.9	107.8
Стронций		113.9	111.5	108.0	105.1
Барий		110.0	107.1	103.5	99.9

Из результатов исследования можно сделать вывод, что

- окисление указанных сплавов гиперболически, средняя скорость окисления равна $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;
- сплав дюралюминия $AlCu_{4,5}Mg1$ легированного барием, окисляется интенсивнее чем этот же сплав легированный кальцием или стронцием;

- легирование малыми объемами (0,05-1,0 мас.%) незначительно увеличивают окисление исходного алюминиевого сплава.

- рентгенофазового методом анализировали продукты окисления исследуемых сплавов и определяли их состав следующим образом: 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 ; $(\text{Mg}_{0.77}\text{Al}_{0.23})(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$; $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}_6$.

Физико-химические свойства сплавов во многом зависят от природы легирующих и легируемых элементов, что оказывает существенное влияние на процесс их окисления и фазовый состав оксидной пленки. Как процесс окисления сплавов определяется соотношением который известным под именами ученых Пиллинг-Бедворса: $V_{\text{ок}}/V_{\text{ме}} < 1$, где $V_{\text{ок}}$ объем молекул оксида; $V_{\text{ме}}$ - объем металлической части, которая тратится на сформирование оксидных соединений. Нужно отметить, что если элемент имеет близость к кислороду на активном уровне и высокое давление паров, это существенно влияет на состав его оксидной пленки.

При этом оксиды прокаленных металлов, составляющие основу продуктов окисления исходного сплава, разрушают оксидную оболочку основного металла – алюминия. Через образовавшиеся поры атмосферный кислород поступает на реакционную поверхность, увеличивая окисление сплавов.

В пятой главе «Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюминия, легированного кальцием, стронцием и барием» представлены результаты потенциостатических исследований алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дюралюминиевого типа, легированного кальцием, стронцием и барием. Рассмотрены электрохимические характеристики исходного и модифицированных сплавов в коррозионно-активных средах.

В данной главе работы было исследовано коррозионно-электрохимическое поведение новых сплавов с использованием прибора ПИ-50.1-1. Работы были проведены потенциостатическим методом в потенциодинамических условиях под влиянием потенциальной скорости вращения 2 мВ/С. Также для записи процесса коррозии использовались приборы ПР-8 и ЛКД-4. Поддержание температуры электролита до 20°C осуществлялось с помощью термостата МЛШ-8, в качестве сравнительного электрода использовались хлорид серебра и платиновый вспомогательный электрод.

Общая поляризация исходного сплава алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ типа дюралюминий в электролитической среде NaCl показана на рисунке 11. При вставке исследовательского электрода с увеличением силы тока питающий потенциал наклоняется в сторону увеличения и проходит поляризацию (рис.11, линия I). После наблюдается продолжение поляризации и определение потенциала репассивации (Ер.п.) которая снижается в сторону уменьшения (рис.11, кривая II). При сильном воздействии ЦЗМ на поверхность электрода она очищается от оксидной пленки, и происходит катодный процесс, который в сумме равен -1,2 В (рис. 11, кривая III). С течением времени процесс поляризации продолжается, и в положительном направлении происходит сдвиг потенциалов питтингов (Еп.т.), репассивации (Ер.п.), коррозии (Екор.) наблюдался на кривых поляризации (рис.10, кривая IV). Проанализировав

результаты исследования, мы определили основные химические свойства электротехники: - $E_{кор.}$ -потенциал коррозии– $E_{св.кор.}$ ($-E_{ст.}$) – потенциал свободной коррозии; - $E_{реп.}$ - потенциал репассивации; - $E_{п.о.}$ - питтинговый потенциал; - $i_{кор.}$ -коррозионный ток.

В целом коррозионный процесс сплава происходит в жидком растворе с содержанием агрессивного (NaCl) компонента в объеме 3% с катодной реакцией кислородной ионизации. Используя константу Тафеля которая имеет величину $b_k = 0,12$ В, можно определить ток коррозии по потенциодинамическим катодным кривым. Для этого применяется формула: $K = i_{кор.} \cdot k$. Подставляя известный из источников электрохимический эквивалент Al « k » которое имеет величину 0,335 г/с, можно определить ток коррозии.

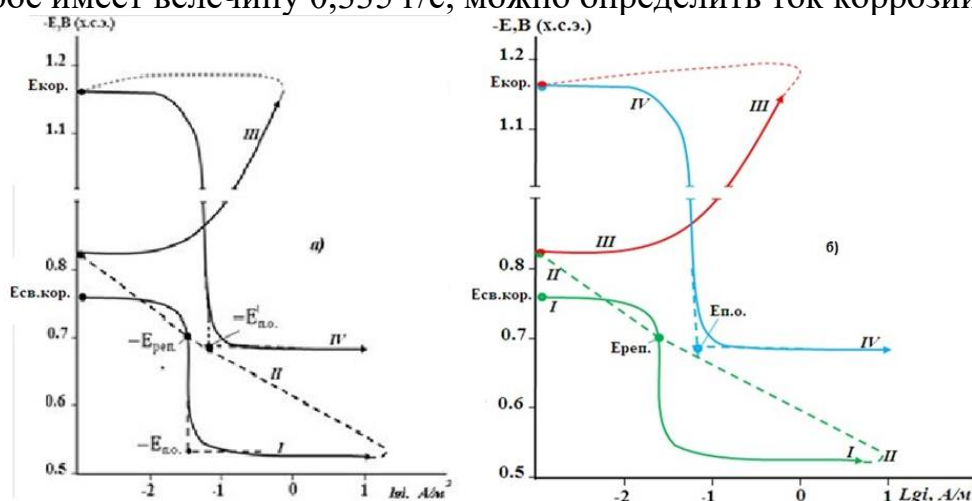


Рисунок 11. – Кривые поляризации сплава AlCu4,5Mg1 типа дюралюминия в электролите 3% NaCl со скоростью вращения потенциалов 1 мВ/с (а) и 2 мВ/с (б)

«Влияние хлорид-ионов на коррозионное поведение исследуемых сплавов с добавками щелочноземельных металлов оценивали по методике ГОСТ 9.017–74 в растворе NaCl» [8].

Анодное поведение этих сплавов изучали в среде 0,03; 0,3 и 3,0% растворов NaCl (по мас).

$$K = i_{кор.} \cdot k \quad (11)$$

Подробнее про изменения скорости коррозии и тока коррозии синтезированных сплавов на основе дюралюминия AlCu4.5Mg1 с Ca, Sr, Ba представлено в таблице 11. В исходный дюралюминиевый сплав были добавлены элементы Ca, Sr и Ba в малых количествах и были определены значения потенциалов питтингообразования, потенциал свободной коррозии и потенциал репассивации. Результаты показали, что легирование приводит к изменению перечисленных потенциалов в область увеличения значений и соответственно к улучшению коррозионной стойкости сплавов. Наблюдается снижение скорости коррозии и плотности коррозионного процесса сплавов на 20-28% (таблица 11). Процесс воздействия щелочноземельных металлов приводит к коррозионной стойкости стабильного сплава AlCu4.5Mg1 типа дюралюминия, все электрохимические потенциалы сплавов имеют тенденцию к положительной коррозии, а плотность коррозионного потока уменьшается.

Проведенные исследования по установлению анодных свойств алюминиевого сплава AlCu4.5Mg1 типа дюралюминий легированных Ca, Sr и Ba дают полную уверенность в том, что эти сплавы могут быть материалом для изготовления деталей и конструкций.

Таблица 11. – Зависимость скорости коррозии легированного сплава AlCu4.5Mg1 типа дюралюмин в среде электролита NaCl

Содержание кальция, стронция и бария в сплаве, мас. %	Среда NaCl, мас %					
	0.03%		0.3%		0.03%	
	$i_{кор.} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	$i_{кор.} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$	$i_{кор.} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{с}$
0,0	4.6	15.41	5.1	17.08	5.6	18.76
0,05Ca	4.3	14.40	4.8	16.08	5.3	17.75
0,1Ca	4.1	13.73	4.6	15.41	5.1	17.08
0,5Ca	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
1,0Ca	3.7	12.23	4.2	14.07	4.7	15.74
0,05Sr	4.1	13.72	4.6	15.41	5.1	17.08
0,1Sr	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
0,5Sr	3.7	12.39	4.2	14.07	4.7	15.74
1,0Sr	3.5	11.72	4.0	13.40	4.5	15.07
0,05Ba	3.9	13.06	4.4	14.74	4.9	16.41
0,1Ba	3.7	12.39	4.2	14.07	4.7	15.74
0,5Ba	3.5	11.72	4.0	13.40	4.5	15.07
1,0Ba	3.3	11.05	3.8	12.73	4.3	14.40

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате изучения и глубокого анализа доступной научной литературы можно сделать вывод о том, что всестороннее исследование физических и химических свойств алюминиевого сплава типа дюралюминия - AlCu4,5Mg1, легированного кальцием, стронцием и барием, имеет особое значение. Особое внимание следует уделить изучению поведения данного сплава в различных условиях. К таким процессам, в частности, относятся исследование коррозионных свойств и электрохимических процессов, изучение сопротивления окислению при высоких температурах, а также анализ кинетики температурно-зависимых процессов. «Анализ температурной зависимости теплоёмкости и определение ключевых термодинамических характеристик позволяют не просто описать свойства материала, а по-настоящему понять, как он ведёт себя в разных условиях» [9]. Это особенно важно, когда речь идёт о разработке новых сплавов, которые должны сохранять работоспособность при высоких температурах, нагрузках и в агрессивных средах. По сути, именно такие исследования дают основу для осознанного подбора состава и прогнозирования поведения материала в эксплуатации.

2. В рамках данной работы отдельно рассматривалось влияние добавок кальция, стронция и бария на механические свойства дюралюминиевого сплава

AlCu_{4,5}Mg₁. Основное внимание было сосредоточено на изменении твёрдости и прочности в зависимости от содержания этих элементов. Полученные результаты показали, что по мере увеличения концентрации указанных добавок прочностные характеристики сплава постепенно снижаются. На первый взгляд это может показаться неожиданным, однако такая тенденция объяснима: изменение химического состава приводит к перестройке внутренней структуры сплава, и не всегда эта перестройка способствует упрочнению. Иначе говоря, улучшая одни свойства, можно непреднамеренно ослабить другие, что важно учитывать при выборе состава сплава для конкретных условий эксплуатации. В то же время металлографические исследования позволили более точно оценить структурное влияние данных элементов. Установлено, что добавление кальция, стронция и бария до 1,0% по массе в исходный сплав AlCu_{4,5}Mg₁ оказывает существенное воздействие, приводя к измельчению его структурных составляющих. Такое измельчение структуры, как правило, способствует улучшению ряда технологических свойств, хотя одновременно может оказывать и некоторое отрицательное влияние на отдельные механические показатели [6-А].

3. В ходе исследования была подробно изучена зависимость теплоёмкости алюминиевого сплава типа дюралюминия - AlCu_{4,5}Mg₁, легированного добавками кальция, стронция и бария, в условиях «охлаждения». Основной целью являлось определение того, каким образом изменение температуры и химического состава сплава влияет на его способность аккумулировать и передавать тепло. Экспериментальные результаты показали, что с повышением температуры значение теплоёмкости постепенно возрастает. Данное явление связано с увеличением активности движения атомов и ростом внутренней энергии материала. В ходе работы стало понятно, что добавки кальция, стронция и бария действительно влияют на теплоёмкость сплава. Причём прослеживается вполне ожидаемая картина: с увеличением их содержания теплоёмкость постепенно снижается. Вместе с тем нельзя сказать, что всё определяется только количеством добавки немаловажную роль играет и сам элемент. При более детальном рассмотрении заметно, что при переходе от кальция к стронцию, а затем к барии снижение теплоёмкости происходит последовательно. По всей видимости, это связано с тем, что каждый из этих элементов по-разному влияет на структуру сплава и его внутреннее состояние. В результате меняется и характер протекания тепловых процессов [1-А, 2-А, 3-А, 9-А, 10-А].

4. В работе также отдельно рассматривалось, как введение этих элементов отражается на термодинамических свойствах сплава AlCu_{4,5}Mg₁. Это позволило более наглядно увидеть, как изменяются его энергетические характеристики в зависимости от состава и температуры. В целом можно сказать, что выбор легирующего элемента заметно сказывается на поведении сплава. Полученные результаты это подтверждают и позволяют лучше понять, от чего именно зависят его свойства в различных условиях. Так, при замене кальция на стронций наблюдается снижение значений энтальпии и энтропии, что указывает на определённые изменения в энергетическом состоянии

материала и характере протекающих в нём процессов. Это можно рассматривать как уменьшение общего энергетического уровня. В то же время энергия Гиббса увеличивается, что говорит об изменении внутреннего равновесия системы. Температура тоже сильно влияет. При её росте энтальпия и энтропия увеличиваются, так как система получает больше энергии. Одновременно энергия Гиббса уменьшается, что указывает на более благоприятное протекание процессов при высоких температурах [1-А, 2-А, 3-А, 9-А, 10-А].

5. В работе отдельно рассмотрели кинетику окисления сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ с добавками кальция, стронция и бария. Для этого использовали термогравиметрический метод. Он позволяет отслеживать, как меняется масса образцов при нагреве и при взаимодействии с окислительной средой. Анализ полученных данных показал, что процесс окисления протекает по гиперболическому закону. Иначе говоря, по мере протекания реакции её скорость постепенно уменьшается. Это объясняется тем, что на поверхности сплава формируется плотная оксидная плёнка, которая выполняет защитную функцию и всё сильнее ограничивает доступ кислорода к металлу. Расчёты показали, что характерная скорость процесса составляет порядка $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Кроме того, анализ показал, что состав сплава существенно влияет на энергетические параметры процесса окисления. В частности, наибольшие значения кажущейся энергии активации характерны для исходного сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, что свидетельствует о его более высокой устойчивости к началу окисления. Напротив, в сплавах, легированных барием, зафиксированы минимальные значения данного показателя, что указывает на более лёгкое инициирование процессов окисления [7-А].

6. С помощью рентгенофазового анализа установлено, что продукты окисления алюминиевого сплава $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дюралюминиевого типа, легированного кальцием, стронцием и барием, состоят из оксидов и гидроксидов следующих составов: 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 ; $\text{Ca}_{0.95}\text{Mg}_{0.90}\text{Al}_{10.10}\text{O}_{17}$; 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 ; $(\text{Mg}_{0.77}\text{Al}_{0.23})$; $(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Ba}_2(\text{Al}_2(\text{OH})_{10})$; $\text{Ba}_3\text{Al}_2\text{O}$ [7-А].

7. В исследовании подробно изучалось анодное поведение алюминиевого сплава типа дюралюминия - $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, модифицированного добавками кальция, стронция и бария, в среде хлорида натрия. Для этого использовался потенциостатический метод в потенциодинамическом режиме, при котором потенциал изменялся со скоростью 2 мВ/с. Данный подход позволил с высокой точностью оценить электрохимические характеристики сплава. Полученные результаты показали, что добавление щёлочноземельных металлов - кальция, стронция и бария в состав сплава в небольших количествах (до 1,0% по массе) способствует повышению его анодной устойчивости. В частности, в растворе NaCl этот показатель может увеличиваться на 20-28%, что говорит о лучшей сопротивляемости материала коррозионным воздействиям. Также установлено,

что легирование приводит к смещению электрохимических потенциалов в положительную область, что обычно рассматривается как признак повышения коррозионной стойкости сплава в агрессивных средах. В то же время значительное влияние оказывает и сама среда. «При увеличении концентрации хлорид-ионов в растворе NaCl скорость коррозии возрастает. Это сопровождается смещением потенциалов в отрицательную сторону, что указывает на усиление процессов растворения и более интенсивное разрушение поверхности сплава» [4-А, 5-А, 8-А, 11-А].

8. По итогам проведённых исследований были предложены новые составы алюминиевых сплавов на основе дюралюминия AlCu4,5Mg1 с добавлением кальция, стронция и бария [12-А, 13-А].

Рекомендации по практическому применению результатов исследования

Результаты проведённого исследования позволяют сформулировать следующие рекомендации:

1. Полученные материалы и результаты могут быть использованы при подготовке учебных пособий и в процессе теоретического и практического обучения студентов химико-технологических специальностей. Кроме того, они могут быть полезны при выборе состава сплавов с учётом условий их дальнейшей эксплуатации.

2. Установленные электрохимические характеристики сплава AlCu4,5Mg1, легированного кальцием, стронцием и барием, позволяют рекомендовать его для изготовления отдельных технических деталей и конструкционных элементов.

3. Способность разработанных сплавов образовывать защитную оксидную плёнку способствует повышению их устойчивости в агрессивных средах и тем самым расширяет возможные области их применения.

4. Для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы сплавов целесообразно применять не только легирование, но и комплексный подход, включающий дополнительные методы защиты материала.

5. Разработанный алгоритм исследования может быть использован при создании технологий получения алюминиевых сплавов с различными легирующими элементами.

6. Дальнейшие исследования в области легирования представляются перспективными, поскольку они позволят более эффективно оптимизировать эксплуатационные свойства сплавов с учётом реальных условий их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Низомов, З. Температурная зависимость теплоёмкости сплава AKLM2, легированного редкоземельными металлами / Б. Гулов, И.Н. Ганиев, Р.Х. Саидов, А.Э. Бердиев // Доклады АН РТ. – 2011. Т. 54. – №11. – С. 917-921.

2. 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.

3. 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.

4. Назаров Х.М., Вахобов А.В., Ганиев И.Н., Джураева Т.Д. Барий и его сплавы. – Душанбе: Дониш. 2001. – 211 с.

5. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дюралюмин. – М.: Металлургия. 1984. – 240 с.

6. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия. 1979. – 208 с.

7. Колобнев И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия. 1973. – 320 с.

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

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

10. 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.

11. 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.

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

13. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 480 с.

14. Бочвар А.А. Металловедение. – М.: Металлургиздат. 1956. – 495 с.

15. Alekseev A.A., Ananov 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.

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

А) Публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Российской Федерации:

[1-А]. 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-А]. 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-А]. 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-А]. 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-А]. Шоназаров, Р.С. Таъсири стронсий ба рафтори коррозионӣ электрохимиявии ҳӯлаи 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-А]. Шоназаров, Р.С. Микроструктура ва хосиятҳои механикии ҳӯлаи 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

Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: естественные и технические науки. – 2026. – №1. – С. 79-94.

Б) Публикации в других изданиях:

[8-М]. Шоназаров, Р.С. Исследование анодного поведения алюминиевого сплава $AlCu_{4,5}Mg_1$ типа дюралюмин с барьером в среде электролита 0,03%-ного $NaCl$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Ходжаназаров Х.М., Джайлоев Дж.Х., Файзуллоев У.Н. / Конференсия байналмилалии 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 барьером / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Абуали Элмурод, Файзуллоев У.Н. / Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ». Маводҳои конференсияи байналмилалии илмӣ «рушди инноватсионии илм». – Душанбе, 2022. – С. 63-67.

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

[11-М]. Шоназаров, Р.С. Таъсири стронсий ба рафтори коррозияи электрохимиявии ҳулаи алюминийи $ALCu_{4,5}MG_1$ навъи дюралюминий дар муҳити 0.3% электролити $NaCl$ / Ганиев И.Н., Шоназаров Р.С., Ходжаназаров 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) Изобретения по теме диссертации

[12-М] Сплав на основе алюминия (№1528 ТЈ, аз 13.03.2024).

[13-М] Сплав на основе алюминия (№1365 ТЈ, аз 08.11.2022).

АННОТАТСИЯ

ба диссертатсияи Саидахмадзода Рачабали Саидахмад дар мавзӯи «Таъсири калсий, стронсий ва барий ба хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва химиявии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий», барои дарёфти унвони илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 2.5.16. Маводшиносӣ дар саноати металлургия

Калидвожаҳо: ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ навъи дюралюминий, калсий, стронсий, барий, коэффисиенти васеъшавии гармӣ, функцияҳои термодинамикӣ, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, энергияи ғаёолсозӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ, усули потенциостатикӣ, потенциали зангзании озод, репасиватсия, суръати зангзанӣ, микроструктураи ҳӯлаҳо.

Мақсади таҳқиқ: таҳия ва асосноккунии илмӣ синтези ҳӯлаҳои нави алюминийи навъи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий, ки ба беҳтар гардидани хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва махсусан муқовимат ба зангзанӣ мусоидат менамоянд.

Вазифаҳои таҳқиқот: омузиши таъсири иловаҳои мазкур ба микросохтор, хосиятҳои механикӣ ва гармодинамикии ҳӯла; муайян намудани қонуниятҳои кинетикаи оксидшавӣ ва арзёбии энергияи ғаёолсозӣ; таҳлили рафтори электрохимиявӣ ва муқовимати зангзании ҳӯлаҳои ҳосилшуда.

Методҳои таҳқиқот: усули металлография барои таҳлили микросохтори ҳӯлаҳо (микроскопи KPL); усули Бринелл барои муайян кардани сахтӣ (асбоби HBRV-187.5D); усули таҳқиқоти гармиғунҷош дар речаи «хунукшавӣ»; усули термогравиметрӣ барои омузиши кинетикаи оксидшавӣ; таҳлили рентгенофазавӣ маҳсулоти оксидшавӣ (ДРОН-3); усули потенциостатикӣ барои омузиши хосиятҳои электрохимиявии ҳӯлаҳо (дастгоҳи ПИ 50-1.1).

Натиҷаҳои асосӣ: муқаррар карда шуд, ки иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба ташаккули микросохтори дисперсӣ мусоидат намуда, ба афзоиши сахтӣ ва мустаҳкамии ҳӯла оварда мерасонанд. Ҳамзамон, паст шудани суръати зангзанӣ ва беҳтар гардидани қобилияти репасиватсия ба қайд гирифта шуд. Қонуниятҳои кинетикаи оксидшавӣ муайян гардида, арзишҳои энергияи ғаёолсозӣ барои ҳӯлаҳои таҳқиқшуда ҳисоб карда шуданд.

Навгони илмӣ: бори аввал таъсири маҷмӯии иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба хосиятҳои физикӣ-механикӣ, термодинамикӣ ва электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ ба таври мукамал таҳқиқ ва асоснок карда шудааст. Қонуниятҳои тағйирёбии микроструктура ва робитаи онҳо бо хосиятҳои истифодабарии ҳӯла муайян карда шуданд.

Аҳамияти назариявӣ ва амалӣ: натиҷаҳои таҳқиқот метавонанд барои рушди назарияи тағйирёбии сохтор ва хосиятҳои ҳӯлаҳои алюминий бо иловаҳои ғаёол истифода шаванд. Аз ҷиҳати амалӣ, истифодаи ҳӯлаҳои пешниҳодшуда барои истеҳсоли қисмҳо ва конструкцияҳои соҳаҳои авиатсия, мошинсозӣ ва техникаи кишоварзӣ мувофиқ буда, ба коҳиши масрафи металл ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодӣ мусоидат менамояд.

Тавсияҳо: тавсия дода мешавад, ки ҳӯлаҳои таҳияшуда бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар истеҳсолоти саноатӣ, махсусан дар шароити муҳитҳои зангзананда, мавриди истифода қарор дода шаванд. Илова бар ин, идомаи таҳқиқот дар самти оптимизатсияи таркиб ва режими коркарди гармии онҳо зарур шуморида мешавад.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Саидахмадзода Раджабали Саидахмад на тему «Влияние кальция, стронция и бария на физико-механические и химические свойства алюминиевого сплава $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_1$ дюралюминиевого типа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Материаловедение в металлургической промышленности.

Ключевые слова: алюминиевый сплав $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_1$ дюралюминиевого типа, кальций, стронций, барий, коэффициент теплового расширения, термодинамические функции, термогравиметрический метод, кинетика окисления, энергия активации, твердость, прочность, потенциостатический метод, потенциал свободной коррозии, репассивация, скорость коррозии, микроструктура сплавов.

Цель исследования: разработка и научное обоснование синтеза новых алюминиевых сплавов типа $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_1$ с добавками кальция, стронция и бария, способствующих улучшению физико-механических свойств и особенно повышению коррозионной стойкости.

Задачи исследования: изучение влияния указанных добавок на микроструктуру, механические и термодинамические свойства сплава; установление закономерностей кинетики окисления и оценка энергии активации; анализ электрохимического поведения и коррозионной стойкости полученных сплавов.

Методы исследования: металлографический метод для анализа микроструктуры сплавов (микроскоп KPL); метод Бринелля для определения твердости (прибор HBRV-187.5D); метод исследования теплоемкости в режиме «охлаждение»; термогравиметрический метод для изучения кинетики окисления; рентгенофазовый анализ продуктов окисления (ДРОН-3); потенциостатический метод для изучения электрохимических свойств сплавов (прибор ПИ 50-1.1).

Основные результаты: установлено, что добавки кальция, стронция и бария способствуют формированию дисперсной микроструктуры, что приводит к повышению твердости и прочности сплава. Одновременно зафиксировано снижение скорости коррозии и улучшение способности к репассивации. Определены закономерности кинетики окисления и рассчитаны значения энергии активации для исследованных сплавов.

Научная новизна: впервые комплексно исследовано и научно обосновано влияние добавок кальция, стронция и бария на физико-механические, термодинамические и электрохимические свойства алюминиевого сплава $\text{AlCu}_4,5\text{Mg}_1$. Установлены закономерности изменения микроструктуры и их связь с эксплуатационными свойствами сплава.

Теоретическая и практическая значимость: результаты исследования могут быть использованы для развития теории изменения структуры и свойств алюминиевых сплавов с активными добавками. Практически предложенные сплавы могут применяться при производстве деталей и конструкций в авиации, машиностроении и сельскохозяйственной технике, способствуя снижению расхода металла и повышению экономической эффективности.

Рекомендации: рекомендуется использование разработанных сплавов с добавками кальция, стронция и бария в промышленном производстве, особенно в условиях коррозионных сред. Также целесообразно продолжение исследований по оптимизации состава и режимов их термической обработки.

ANNOTATION

of the dissertation by Saidahmadzoda Rajabali Saidahmad on the topic “The Influence of Calcium, Strontium, and Barium on the Physico-Mechanical and Chemical Properties of the $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ Aluminum Alloy of Duralumin Type,” submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 2.5.16. Materials Science in the Metallurgical Industry.

Key words: $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ aluminum alloy of duralumin type, calcium, strontium, barium, coefficient of thermal expansion, thermodynamic functions, thermogravimetric method, oxidation kinetics, activation energy, hardness, strength, potentiostatic method, free corrosion potential, repassivation, corrosion rate, alloy microstructure.

Research objective: to develop and provide scientific justification for the synthesis of new $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ -type aluminum alloys with additions of calcium, strontium, and barium, which contribute to improved physico-mechanical properties and especially enhanced corrosion resistance.

Research tasks: to study the effect of these additions on the microstructure, mechanical and thermodynamic properties of the alloy; to determine the regularities of oxidation kinetics and evaluate activation energy; to analyze the electrochemical behavior and corrosion resistance of the obtained alloys.

Research methods: metallographic method for analyzing alloy microstructure (KPL microscope); Brinell method for determining hardness (HBRV-187.5D tester); heat capacity analysis in the “cooling” mode; thermogravimetric method for studying oxidation kinetics; X-ray phase analysis of oxidation products (DRON-3); potentiostatic method for studying electrochemical properties of alloys (PI 50-1.1 device).

Main results: it was established that additions of calcium, strontium, and barium promote the formation of a dispersed microstructure, leading to increased hardness and strength of the alloy. At the same time, a decrease in corrosion rate and an improvement in repassivation ability were observed. The regularities of oxidation kinetics were determined, and activation energy values for the studied alloys were calculated.

Scientific novelty: for the first time, the combined effect of calcium, strontium, and barium additions on the physico-mechanical, thermodynamic, and electrochemical properties of the $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ aluminum alloy has been comprehensively studied and scientifically substantiated. The patterns of microstructural changes and their relationship with the performance properties of the alloy have been established.

Theoretical and practical significance: the research results can be used to develop the theory of structural and property changes in aluminum alloys with active additives. Practically, the proposed alloys are suitable for manufacturing parts and structures in aviation, mechanical engineering, and agricultural machinery, contributing to reduced metal consumption and increased economic efficiency.

Recommendations: it is recommended to use the developed alloys with calcium, strontium, and barium additions in industrial production, especially in corrosive environments. Further research aimed at optimizing composition and heat treatment regimes is also considered necessary.

Ба чоп 19.06.2026 имзо шуд.
Андозаи 60x84 1/16. Коғази офсетӣ.
Адади нашр 100 нусха. 4,2 чузъи чопӣ.
Дар Маркази хизматрасонии нусхабардорӣ чоп шудааст.
С/И Ф. Камолов.
735140, ш. Бохтар, хиёбони Ваҳдат, 29 а.

Подписано в печать 19.06.2026.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз. Усл.п.л. 4,2.
Отпечатано в Копировальном центре.
И/П Ф. Камолов.
735140, г. Бохтар, проспект Ваҳдат, 29 а.