

АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ ХИМИЯИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

ВБД 669.017.162.3+669.771+669.831.66973+75

ББК 34.303.1

Бо ҳуқуқи дастнавис



ХОЛОВ Ёрмаҳмад Чомаҳмадович

ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХУЛАИ НОҚИЛИИ
АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей») БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА
СУРМА

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои
техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.02.01 - Маводшиносӣ
(05.02.01.02 - саноати мошинсозӣ)

Душанбе – 2024

Диссертатсия дар озмоишгоҳи «Маводҳои ба коррозия устувор»-и МДИ «Институти химия ба номи В.И.Никитин» Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва Донишгоҳи давлатии Данғара иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ: **Ғаниев Изатулло Наврузович** – доктори илмҳои химия, академики АМИТ, профессор

Муқарризони расмӣ: **Рузиев Чура Раҳимназарович** – доктори илмҳои техника, профессор, профессори кафедраи «Химияи татбиқӣ», Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Мирзоев Шамсулло Изатович - номзоди илмҳои техникӣ, дотсент, Декани факултаи «Механикони кишоварзӣ», Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шотемур

Муассисаи пешбар: Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия «16» январи соли 2025, соати 9⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионӣ 6Д.КОА-028 назди Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, дар суроғаи 734042, ш.Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад. E-mail: adliya69@mail.ru

Бо матни диссертатсия ва автореферат дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон: www.ttu.tj ба номи акад. М.С. Осимӣ шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___» _____ соли 2024 тавзеъ шудааст.

Котиби илмӣ

Шӯрои диссертатсионӣ,
номзоди илмҳои техникӣ,
дотсент



Бабаева А.Х.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Муҳимияти мавзӯ. Алюминий ва хӯлаҳои он дар электротехникаи муосир васеъ истифода мешаванд. Ин факт аз бисёр ҷиҳат бо арзиши худи металл ва характеристикаҳои техникаи он асоснок карда мешавад. Ҳангоми сохтани маводҳои навро, ки барои кор дар шароити махсусан вазнин пешбинӣ шудаанд, вазифаи ба онҳо додани устуворӣ ба зангзанӣ ба миён меояд, ки ҳалли амалии он бо сатҳи дониш дар соҳаи маводшиносии хӯлаҳои алюминий алоқаманд аст. Барои беҳтар кардани баъзе хусусиятҳои алюминий, иловаҳои гуногун, ҳамчун элементҳои чавҳаронида истифода мешаванд.

Дар соли 1928 хӯлаи «алдрей» коркард карда шуд, ки ҳадафи асосии он ин истеҳсоли симҳо барои хатҳои интиқоли барқ мебошад. Коркарди ҳароратии он аз он иборат аст, ки маҳсулоти таёр кардаи прессшуда ё ҳамворшуда дар 510-550 °C дар об обутоб дода мешавад ва сипас кашида мешавад ва дар ҳарорати 140-180 °C ба пиршавии сунъӣ дучор карда мешавад. Мустаҳкамии баланди ноқилҳо аз «алдрей», имкон медиҳанд, ки андозаи фосилаҳои хатҳои ҳавоии интиқоли электрӣ зиёд карда шавад. Сахтии баланди «алдрей» сабабгори кам вайроншавии миқдори ноқилҳо ҳангоми васлқунӣ мегардад. «Алдрей» нисбат ба алюминий хеле беҳтар ба ҷараёнҳои расиши кӯтоҳ тобовар аст. Саршавии талафоти мустаҳкамӣ аз сими «алдрей», тақрибан дар ҳароратҳои 180-200°C меҳобад. Ҳудуди аз ларзиш фарсудашавии «алдрей» нисбат ба алюминий 1,5 маротиба зиёдтар аст. Аз рӯи муқовимат бо таъсири камон, ки ҳангоми расиши кӯтоҳ дар ноқилҳо пайдо мешавад, ноқил аз «алдрей» дар ҷойи дуум баъд аз мис ва хело устувортар нисбати ноқилҳо аз алюминий мебошад. Аммо ҳангоми истифода бурдани хӯлаҳои ноқилӣ алюминий барои сохтани сими борик, масалан сими печдор ва ғайра, дар алоқамандии бо норасогии устуворӣ ва адади ками қадшавӣ мумкин душвории муайяноро пайдо намояд.

Дар кор масъалаҳои беҳтар намудани хосиятҳои истифодабарӣ, яъне устуворӣ ба зангзанӣ ва оксидшавии хӯлаҳо, таҳқиқотҳои теплофизикӣ ва характеристикаи термодинамикии хӯлаи ноқили («алдрей») бо роҳи чавҳаронидани он бо калсий, кадмий ва сурма омӯхта шуданд. Мавзӯи кори диссертатсионӣ қисми таркибии лоиҳаи илмии «Коркарди таркибҳои нави хӯлаҳои ноқилии алюминий ва додани тавсияҳо барои истифодабарии онҳо дар корхонаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» мебошад, ки аз ҷониби лабораторияи «Материалҳои ба зангзанӣ тобовар»-и муассисаи давлатии илмии «Институти химияи ба номи Никитин»-и АМИТ барои солҳои 2021-2025 таҳия карда шудааст.

Мақсади таҳқиқот муқаррар намудани хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда, барои эҳтиёҷоти саноати электротехникӣ пешбинӣ шудааст, мебошад.

Ҳадафҳои таҳқиқот:

- омӯзиши вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма;
- омӯзиши кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма дар ҳолати саҳт ва муайян кардани механизми раванди оксидшавии онҳо;
- бо тарзи таҷрибавӣ муайян намудани таъсири калсий, кадмий ва сурма ба рафтори анодии ҳӯлаи ноқили E-AlMgSi («алдрей») дар муҳити электролити NaCl;
- оптимизатсияи таркиби ҳӯлаҳои чоркомпонента дар асоси муқаррар кардани хосиятҳои физикию химиявии онҳо ва муайян кардани ҳудуди имконпазири истифодаи онҳо.

Усулҳои таҳқиқоти илмӣ: усули таҳқиқоти гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо дар речаи «хунукшавӣ» бо истифодаи бақайдгирии автомати ҳарорати намуна аз вақти хунуккунӣ; усули термогравиметрии таҳқиқоти кинетикаи оксидшавии металлҳо ва ҳӯлаҳо дар ҳолати саҳт; усули электрохимиявӣ барои таҳқиқоти хосиятҳои анодии ҳӯлаҳо бо усули потенциостатикӣ дар потенциостати импульси ПИ – 50.1 - 1.

Марҳилаҳои таҳқиқот: синтез ва сертификатсияи ҳӯлаҳои ноқили нави E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма, таҳқиқоти характеристикаҳои ҳароратӣ, теплофизикӣ, кинетикӣ ва анодии онҳоро дар бар мегиранд.

Маълумоти асосӣ ва базаи таҷрибавӣ. Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ бо ёрии таҷҳизотҳои маълуми илмӣ иҷро карда шуданд: потенциостати импульси ПИ-50.1-1; тарозуи термогравиметрӣ; асбоб барои чен кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт дар речаи «хунукшавӣ»; микроскоп БИОМЕД-1, дастгоҳи ТШ-2 барои тағир додани саҳтӣ. Қоркарди математикии натиҷаҳо бо истифода аз бастаи стандартии замимаҳо ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot гузаронида шуд.

Эътимоднокии натиҷаҳои рисола. Эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот бо истифода аз усулҳои муосири таҳқиқот дар асбобҳо ва дастгоҳҳои восанчи модернизатсияшуда ва такмилёфта, такроршавандагии онҳо ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти муаллифони дигар таъмин карда мешавад.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот.

- Асосии қонуниятҳои тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма вобаста аз ҳарорат ва миқдори компонентҳои ҷавҳаронида муқаррар карда шуд. Нишон дода шуд, ки бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма зиёд шуда, энергияи Гиббс кам мешавад. Бо зиёд шудани

таносуби калсий, кадмий ва сурма дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») энталпия ва энтропия кам шуда, энергияи Гиббс зиёд мешавад.

- Нишон дода шуд, ки бо баланд шудани ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма дар ҳолати саҳт меафзояд. Константи суръати оксидшавӣ ба 10^{-4} кг/м²с⁻¹ баробар аст. Муқаррар карда шуд, ки оксидшавии хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма ба қонуни гипербола итоат мекунад.

- Бо истифода аз усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати гардиши потенциалии 2 мВ/с, муайян карда шуд, ки илова кардани кампонентҳои ҷавҳаронида то 0,5 ваз.% устувори ба зангзании хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») ро 15-20% зиёд мекунад. Бинобар ин лағжиши потенциалҳои зангзанӣ, питтинҳосилшавӣ ва репассиватсияи хӯлаи ибтидоӣ ба минтақаи мусбат ба назар мерасад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан пастшавии суръати зангзанӣ мушоҳида мешавад (барои хӯлаҳои 0,5 ваз.% иловашуда).

Аҳмияти назариявии таҳқиқот. Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии таҳқиқот пешниҳод карда шудааст: далели таъсири соҳтор, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ, аз рӯи қонуният тағйирёбии характеристикаҳои зангзани-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма; таъсири муҳити коррозсионӣ ва консентратсияҳои иловаҳои ҷавҳаронида ба устуворӣ ба коррозия ва оксидшавии хӯлаи алюминий E-AlMgSi («алдрей»).

Аҳмияти амалии таҳқиқот. Таҳқиқотҳои гузаронидашуда имкон доданд, ки таркибҳои хӯлаҳои, ки бо пасттарин оксидшавӣ дар ҳарорати баланд ҳосанд ва консентратсияи оптималии иловаҳои ҷавҳаронида (калсий, кадмий ва сурма) барои баланд бардоштани устувори ба коррозияи хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») муайян карда шаванд.

Дар маҷмӯъ, дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда таркибҳои алоҳидаи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма бо патентҳои хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шуданд.

Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшуда:

- Натиҷаҳои таҳқиқотҳои вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма;

- Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма, ва инчунин механизми оксидшавии хӯлаҳо.

- Вобастагии характеристикаи анодӣ ва суръати коррозсионии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма аз

концентратсияҳои компонентҳо чавҳаронида дар муҳити электролити NaCl;

- Таркиби оптималии хӯлаҳо бо тафовути пасттарини оксидшавӣ ва баланд бардоштани устуворӣ ба зангзанӣ, ҳамчун маводи ноқили барои истеҳсоли хатҳои интиқоли барқ.

Саҳми шахсии муаллиф дар таҳлили маълумотҳои адабиётҳо, таҳия ва ҳалли масъалаҳои таҳқиқот, омодагӣ ва гузаронидани таҳқиқотҳои таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, таҳияи муқаррароти асосӣ ва хулосаҳои рисола иборат мебошад.

Арзёбии рисола ва маълумот оид ба истифодаи натиҷаҳои он. Муқаррароти асосии диссертация муҳокима шуданд дар: Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои актуалии индустрикунонии Ҷумҳурии Тоҷикистон: мушкилот ва стратегияҳо». Қисми 1. ДТТ, ш. Душанбе, 2019с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Нақши хунароҳои мардумӣ дар рушд ва пойдории фарҳанги миллӣ, бахшида ба эълони солҳои 2019-2021 рушди сайёҳӣ ва хунароҳои мардумӣ», ДДОТ ба номи С.Айнӣ, ш. Душанбе, 2019с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Рушди инноватсионии илм», Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИТ», ш. Душанбе, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои геологӣ ва маркшейдерӣ дар коркарди конҳои канданиҳои фойданок», бахшида ба «20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ», Донишкадаи кӯҳӣ-металлургии Тоҷикистон, ш. Бӯстон, 2020с.; Конфронси байналмилалӣ илмӣ ва амалӣ «Рушди энергетика ва имкониятҳо», Институти энергетикӣ Тоҷикистон. Кушонӣён, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ бахшида ба бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ, Донишгоҳи Русияву Тоҷикистон (Славянӣ). ш. Душанбе, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ "Илмҳои бунёдӣ - асоси тақмили технологияҳо ва маводҳо", МТИТ, Душанбе, 2021с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои химияи муосир ва ҳолати дар раванди таълим чори намудани он». ДДД, Данғара, 2022с.

Наشري натиҷаҳои рисола. Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқот 7 мақолаҳои илмӣ ба таърифи расидаанд, ки онҳо дар маҷаллаҳои тақрибие, ки ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия додааст ва 11 мақола дар маводи конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ чоп шудаанд. Инчунин 1 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Ҳаҷм ва сохтори рисола. Қори рисола аз муқаддима, чор боб ва замима иборат буда, дар 173 саҳифаи маҷмӯаи компютерӣ пешниҳод шудааст, ки 85 расм, 51 ҷадвал, 120 сарчашмаи адабиётҳо дар бар мегирад.

ТАРКИБИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар муқаддима масъалаҳо ва мушкилоти асосии таҳқиқот, аҳамияти кор муайян ва асоснок карда шуда, сохтори диссертатсия инъикос ёфтааст.

Дар боби якум маълумот оиди микросохтори хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма; гармиғунҷоиши алюминий, магний, силитсий, калсий, кадмий ва сурма; хусусиятҳои оксидшавӣ ва рафтори коррозионӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма дар муҳитҳои гуногун оварда шудааст. Дар асоси таҳлилҳои адабиётӣ маълум гардид, ки гармиғунҷоиши алюминий, магний, кремний, калсий, кадмий ва сурма хуб омӯхта шудааст. Аммо таҳлилҳо нишон додан, ки оид ба гармиғунҷоиш ва хосиятҳои термодинамикӣ, рафтори коррозионӣ - электрохимиявӣ ва хусусияти оксидшавӣ хӯлаи ноқилҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма маълумот мавҷуд нест.

Ҳамин тариқ, аз сабаби мавҷуд набудани маълумотҳои систематикӣ оид ба хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма онҳо ҳамчун объекти тадқиқоти ин рисола гирифта шудаанд.

БОБИ 2. ОМУЗИШИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ ВА ФИЗИКАВИ-ХИМИЯВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ E-AlMgSi («алдрей»), КИ БО КАЛЬЦИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДА ШУДААҢД.

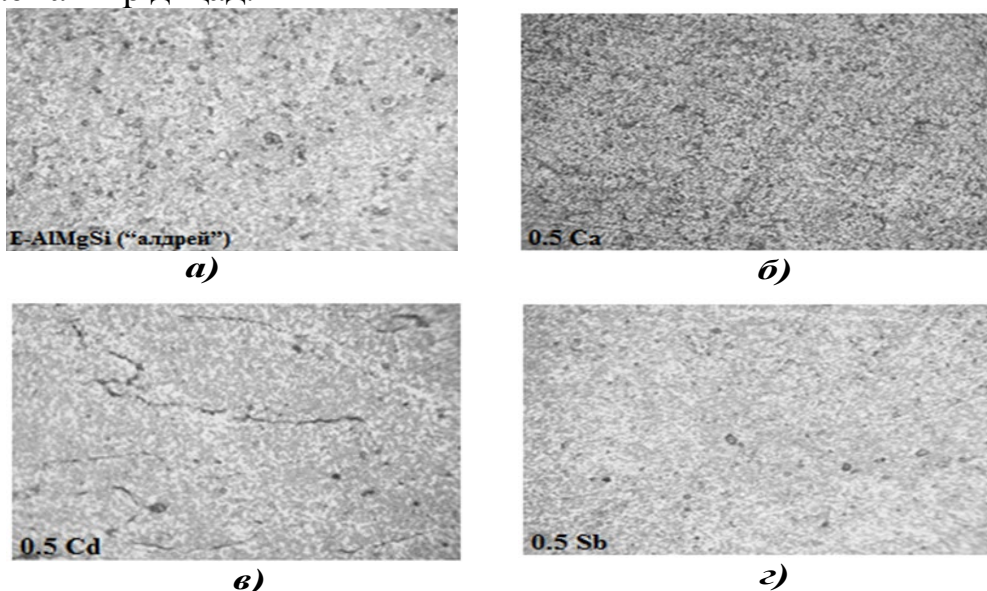
Истифодаи алюминий ҳамчун маводи ноқилӣ бо таносуби мусоиди арзиши он ба арзиши мис аз ҷиҳати иқтисодиёт мақсаднок шарҳ дода мешавад. Инчунин гуфтан муҳим аст, ки арзиши алюминий дар тӯли солҳои охир амалан бетағйир монд. Ҳангоми истифода бурдани хӯлаҳои алюминийи ноқилӣ барои сохтани сими борик, сими печдор ва ғайра мушкилоти муайян метавонанд аз сабаби мустаҳкамии нокифояи онҳо ва шумораи ками қадшавӣ пеш аз шикаст ба вучуд оянд. Солҳои охир, хӯлаҳои алюминий коркард карда шуданд, ки ҳатто дар ҳолати нарм, хусусиятҳои мустаҳкамӣ доранд, ки онҳоро ҳамчун маводи ноқилӣ истифода бурдан мумкин аст.

Инро ба инобат гирифта мақсади тадқиқоти мазкур муқаррар намудани таъсири иловаҳои калсий, кадмий ва сурма ба гармиғунҷоиш ва тағйироти функсияҳои термодинамикӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») мебошад. Мо дар адабиёт ва сарчашмаҳои интернетӣ дар бораи хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма маълумот пайдо накардем.

Барои муайян кардани суръати хунуккунӣ қачхатиҳои хунуккунии намунаҳо сохта мешаванд. Қачхатиҳои хунуккунӣ вобастагии ҳароратии намунаро аз вақт, ҳангоми хунукшавӣ он дар ҳаво ифода мекунанд. Синтези хӯлаҳо дар оташдони барқии муқовиматии лаборатории навъи СШОЛ дар ҳарорати 750 - 800°C гузаронида шуд. Ба сифати шихта дар истеҳсоли хӯлаи алюминийи E-AlMgSi, алюминийи навъи А6 истифода

гардида, ба таври иловагӣ миқдоран силитсий ва магний чавҳаронида шудааст. Ҳангоми чавҳаронидани алюминий бо силитсий, силитсийи металлуро (0,1вазн.%), ки дар таркиби алюминийи аввалия мавҷуд аст, ба назар мегиранд. Магнийро дар фолгаи алюминийи печонида, бо ёрии зангулача ба гудохтаи алюминий ворид мекунем. Металҳои калсий, кадмий ва сурмаро дар фолгаи алюминийи печонда, ба гудохтаи алюминий, дохил менамоем. Таҳлили химиявии ҳӯлаҳои ҳосилкардаи дорои алюминий, силитсий ва магний дар лабораторияи марказии Корхонаи воҳиди давлатии «Ширкати Алюминийи Тоҷик» гузаронида шуд. Таркиби ҳӯлаҳо инчунин тавассути баркашидани шихта ва ҳӯлаҳои ҳосилшуда назорат карда мешавад. Дар сурати фарқи вазни омехтаи металлҳо аз ҳӯлаҳо синтез гардида ба андозаи зиёда аз 1-2% бошад, онҳо ҳӯлаҳо аз нав ҳосил карда мешаванд.

Микроструктураи ҳӯлаи ноқилии алюминий E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма бо истифода аз микроскопи монокулярӣ таъмири «БИОМЕД-1 омӯхта шуд. Дар расми 1 микроструктураҳои ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда бо афзоиши 10x, ки дар он x=40 мебошад, нишон дода шудаанд. Таҳқиқот нишон дод, ки иловаҳои калсий, кадмий ва сурма, махсусан ҳангоми илова намудан то 0,5 вазн.% микроструктураи таркибии ҳӯлаи авваларо хеле майда мекунад. Чи тавре, ки дар расми 1 дида мешавад, иловаҳои калсий, кадмий ва сурма эвтектикаҳои дугона ва сегонаи дар структураи ҳӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), метавон ҳам хосиятҳои механикӣ, теплофизикӣ ва ҳам устувори ба коррозияи ҳӯлаи ноқилии E-AlMgSi («алдрей») -ро, ки ба кам шудани гармиғунҷоиш мусоидат мекунад, ба таври назаррас тағйир диҳад.



Расми 1 - Микроструктураи (x40) ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (a), бо 0,5 вазн. % калсий (б), кадмий (в) ва сурма (д)

Яке аз хусусиятҳои маъмултарине, ки сифати металлҳо ва ҳулаҳоро муайян мекунад ва имкони истифодаи онҳоро дар конструксияҳои гуногун ва дар шароити гуногуни корӣ муайян мекунад, саҳтӣ мебошад. Дар ҷадвали 1 натиҷаи ченкунии саҳтии ҳулаи ноқилии E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма аз рӯи усули стандартӣ (методи Бринелл) бо ёрии дастгоҳи ТШ-2, оварда шудааст. Барои озмоиш аз ҳулаҳои ҳосилнамуда намунаҳои цилиндрӣ бо ғафсии 10 мм ва диаметри 16 мм рехта шуданд. Муайян гардид, ки ҳангоми илова намудани то 0,5 вазн.% калсий, кадмий ва сурма ба ҳулаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») онҳо хосиятҳои саҳтӣ ва мустаҳкамиро зиёд мекунад.

Ҷадвали 1 - Саҳтӣ ва мустаҳкамии ҳисобии ҳулаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда

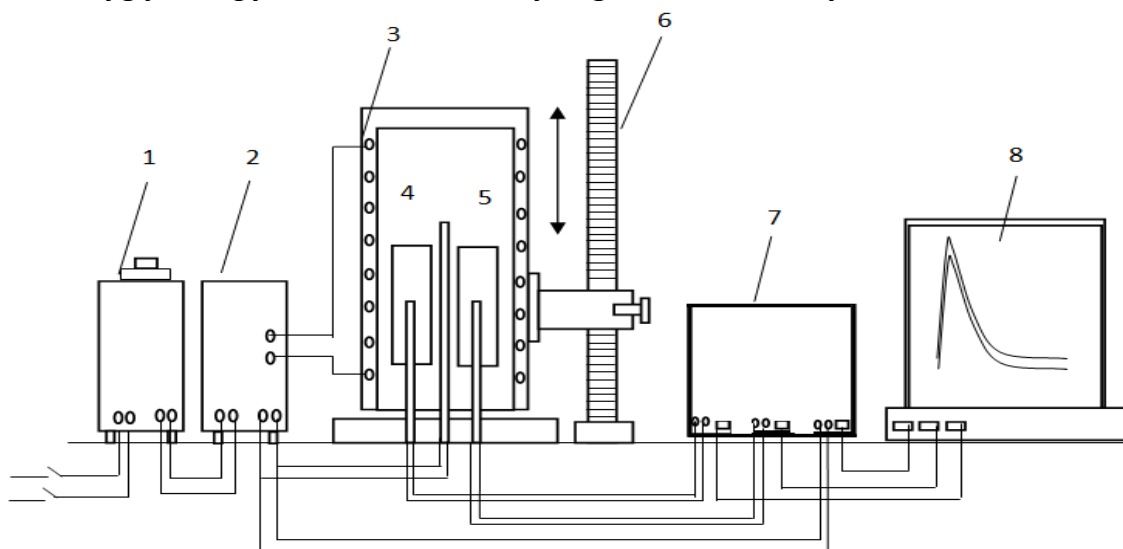
Миқдори Ca, Cd, Sb дар ҳула, вазн.%	Саҳтӣ НВ, кгк/мм ²	Саҳтӣ, МПа	Мустаҳкамии ҳисобӣ, МПа
0,0	16,344	160,28	43,27
0,01Ca	16,237	159,23	43,00
0,05Ca	16,230	159,16	42,97
0,1Ca	16,268	159,53	43,07
0,5 Ca	16,257	159,42	43,043
0,01 Cd	16,260	159,45	43,05
0,05Cd	16,263	159,48	43,05
0,1Cd	16,215	159,014	42,93
0,5Cd	16,248	159,338	43,02
0,01Sb	16,234	159,201	42,98
0,05Sb	16,255	159,407	43,05
0,1Sb	16,27	159,554	43,07
0,5 Sb	16,297	159,818	43,15

Дар адабиёт ва шабакаҳои интернетӣ оид ба таъсири калсий, кадмий ва сурма ба хосиятҳои гармофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии ҳулаи ноқилии E-AlMgSi («алдрей») маълумот мавҷуд нест. Бо ин мақсад гармиғунҷоиши нисбӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳулаи ноқилии E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда бо истифода аз суръати хунукшавии намунаҳо дар якҷоягии гармиғунҷоиши маълуми намунаи меъёрӣ аз алюминий тадқиқ карда шудааст.

Баъдан аз гудохта шлак хориҷ карда шуд ва намунаҳо барои таҳқиқоти хосиятҳои теплофизикӣ ба қолаби графитӣ рехта шуданд. Намунаҳои шакли цилиндрӣ диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм доранд.

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳи гузаронида мешавад, ки нақшаи он дар расми 2 пешниҳод карда шудааст. Дурустии ченкунии ҳарорат $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ташкил меёрад. Хатогии нисби андозагирии ҳарорат дар ҳудуди аз $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ то $400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\%$ мебошад. Хатогӣ ҳангоми чен кардани гармиғунҷоиш бо усули пешниҳодшуда вобаста ба зарорат аз 1-2 фоиз зиёд нест.

Қоркарди натиҷаҳои ченшуда бо ёрии барномаи MS Excel гузаронида мешаванд. Графикҳо бо ёрии барномаи Sigma Plot сохта шудаанд. Қимати коэффисиенти коррелятсия $R_{\text{корр}} > 0,9925$ аст, ки интихоби дурусти функсияи наздикуниро тасдиқ мекунад.



Расми 2 - Нақшаи дастгоҳ барои муайян кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт

Барои таҳлил ва муқоиса, дар автореферат ҳамчун намуна натиҷаҳои тадқиқоти ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий оварда шудааст.

Дар натиҷаи гузаронидани таҷрибаҳо барои ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо иловаҳои калсий ҷавҳаронидашуда, вобастагии ҳарорат аз вақт ба даст оварда шуд, ки (расми 2), ба ифодаи зерин мувофиқат мекунад:

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (1)$$

дар ин ҷо $a, b, p, k - \text{const}$, τ – вақти хунукшавии намуна.

Барои муайян кардани қимати суръати хунукшавии ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо иловаҳои калсий ҷавҳаронидашуда ифода (1)-ро нисбат ба τ дифференсиронида, ифодаи зеринро ҳосил намудем:

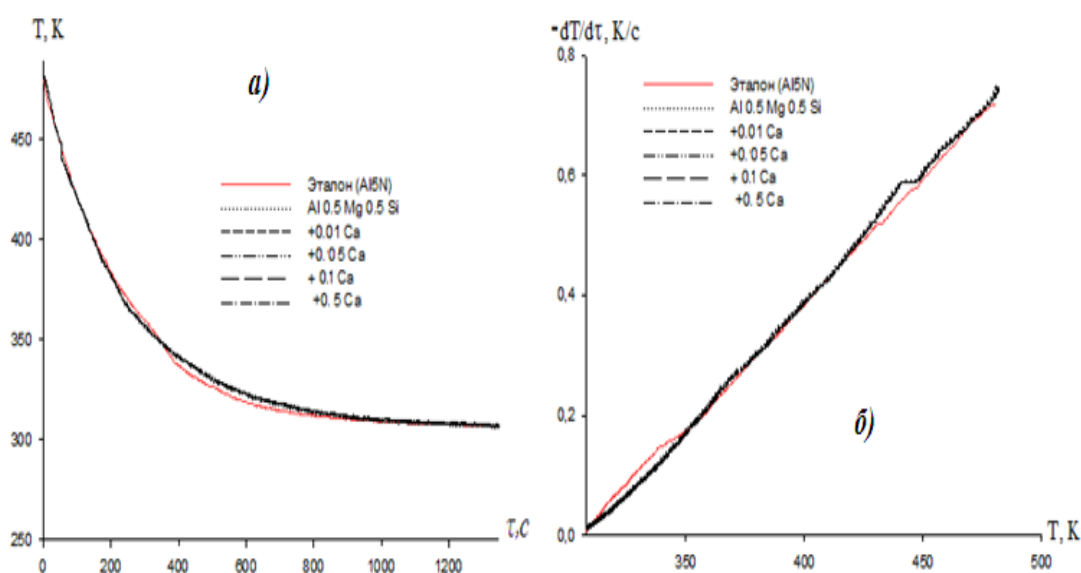
$$dT/d\tau = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}, \quad (2)$$

Бо истифода аз ифодаи (2) қачхаттаи суръати хунукшавии ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий ҷавҳаронида шуда, дар расми 3б нишон дода шудааст. Қимати бузургҳои коэффисиентҳои a, b, p, k, ab, pk ифодаи (2) барои ҳӯлаи ноқилии

алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий ҷавҳаронида шуда ва эталон (Al тамғаи А5N) дар ҷадвали 1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1 - Қиматҳои коэффициентҳои a , b , p , k , ab , pk ифодаи (2) барои ҳулаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар ҳула, вазн. %	a, K	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	p, K	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$ab \cdot 10^{-1}, Kc^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}, Kc^{-1}$
0.0	165,61	4,46	314,72	2,27	7,38	7,14
0.01	165,46	4,46	315,59	2,32	7,38	7,31
0.05	165,46	4,46	315,49	2,32	7,38	7,31
0.1	159,23	4,46	315,69	2,32	7,38	7,31
0.5	159,23	4,46	316,19	2,31	7,38	7,31
Эталон	174,88	4,11	305,62	3,2	7,19	1,00



Расми 3 - Графики вобастагии ҳарорат нисбат ба вақти хунуккунӣ (*a*) ва суръати хунукшавии намунаҳо аз ҳулаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий нисбат ба ҳарорат (*b*)

Зинаи навбатӣ ҳисобкунии гармигунҷоиши хоси ҳулаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда мебошад. Аз рӯи намунаи эталон (Al тамғаи А5N) бо ҳисобӣ пешакӣ бузургии суръати хунуккунии намунаҳо аз ҳулаҳо аз рӯи ифодаи (2), мувофиқи ифодаи зерин ҳисобкуниҳо гузаронида мешавад:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}. \quad (3)$$

Дар инҷо: $m_1 = \rho_1 V_1$ – массаи намунаи эталон; $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса намунаи омӯхташаванда; $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$ – суръати хунукшавии намунаҳои таҳқиқшаванда ва эталон; C_{p1}^0 – бузургии гармиғунҷоиши эталон.

Бо усули регрессияи полиномӣ таъсири ҳароратро ба бузургии гармиғунҷоиши хос барои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда, мувофиқи ифодаи зерин муайян мекунем:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Қиматҳои коэффисиентҳои a, b, c, d аз ифодаи (4) дар ҷадвали 2 нишон дода шудаанд.

Ҷадвали 2 - Қиматҳои коэффисиентҳои a, b, c, d аз ифодаи (4) барои намунаҳои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар ҳӯла, вазн. %	a , Ҷ/(кг·К)	b , Ҷ/(кг·К ²)	c , Ҷ/(кг·К ³)	$d \cdot 10^4$, Ҷ/(кг·К ⁴)	Коэффисиенти коррелясия R
0.0	-10400,00	84,29	-0,2084	1,71	0,9925
0.01	-9093,58	74,00	-0,1821	1,49	0,9999
0.05	-9093,54	73,93	-0,1821	1,49	0,9984
0.1	-9143,96	74,22	-0,1824	1,49	0,9970
0.5	-9143,43	74,22	-0,1824	1,49	0,9978
Эталон	645.88	0.35	0.00	0.00	1.0

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои гармиғунҷоиши ҳӯлаҳои таҳқиқшаванда баъди ҳар 50 К мувофиқи ифодаи (3) дар ҷадвали 3 ва расми 3а пешниҳод карда шудаанд. Тавре, ки дида мешавад, қимати гармиғунҷоиш барои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар вобастагӣ аз миқдори калсийи дар он, тамоюли камшавӣ дорад. Гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо бо зиёдшавии ҳарорат зиёд мешавад.

Аз рӯи қиматҳои ҳисобкардаи гармиғунҷоиши хос барои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ва бузургиҳои суръати хунукшавӣ, ки дар натиҷаи таҷриба барои ҳӯлаҳои таҳқиқшаванда ба даст омад, коэффисиенти гармидиҳӣ ва вобастагии он аз ҳарорати ҳӯлаҳо мувофиқи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\alpha = \frac{C_p^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}. \quad (5)$$

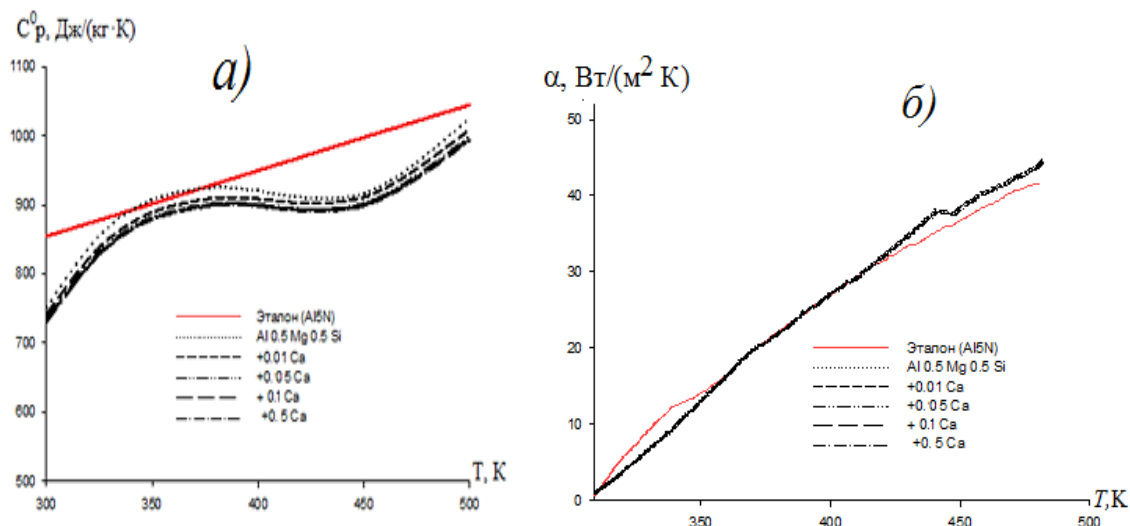
дар инҷо: T ва T_0 ҳарорати намунаҳо мувофиқи муҳити атроф; S , m – масоҳати сатҳ ва массаи намунаҳо.

Таъсири ҳарорат ба коэффисиенти гармидиҳӣ барои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда, дар расми

Зб нишон дода шудааст. Чи тавре, ки дида мешавад, дар баробари баланд шудани ҳарорат қиммати коэффитисенти гармидиҳӣ афзоиш ёфта ва аз микдори иловаи калсий дар хӯла, коҳиш меёбад.

Ҷадвали 3 – Гармиғунҷоиши хоси ((C_p /(кгК)) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Концентрацияи калсий дар хӯла, ваз%	T, K				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.01	741,80	889,15	908,26	910,86	1008,72
0.05	735,68	882,01	900,09	901,67	998,50
0.1	731,31	880,06	889,07	900,07	994,83
0.5	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57



Расми 4 - Вобастагии ҳарорат аз гармиғунҷоиши хос (*a*) ва коэффисенти гармидиҳии (*б*) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Таъсири ҳарорат ба тағйирёбии хосиятҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) аз руи (6)-(8) бо роҳи интегронидани бузургиҳои гармиғунҷоиш хос, ки дар боло бо ифодаи (4) ҳисоб карда шудаанд, гузаронида шуд:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (7)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (8)$$

Дар инҷо: $T_0 = 298,15\text{K}$.

Натиҷаҳои ҳисоб кардани вобастагии ҳарорат аз тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи ноқили алюминийи AlMgSi («алдрей») бо калсий аз рӯи муодилаҳои (6)-(8) дар ҷадвали 4 оварда шудаанд.

Ҷадвали 4 - Хосиятҳои термодинамикии хӯлаи ноқилии алюминийи AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар хӯла, вазн. %	Т, К				
	300	350	400	450	500
	[$H^0(T)-H^0(T_0^*)$], кҶ/кг барои хулаҳо				
0.0	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2480
0.01	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2466
0.05	1,3561	42,7136	87,8881	133,3547	181,1382
0.1	1,3483	42,5050	87,3866	132,3243	179,2370
0.5	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
	[$S^0(T)-S^0(T_0^*)$], кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо				
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.01	0,00453	0,1317	0,2523	0,3594	0,4600
0.05	0,00450	0,1311	0,2509	0,3567	0,4555
0.1	0,00450	0,1308	0,2504	0,3560	0,4544
0.5	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
	[$G^0(T)-G^0(T_0^*)$], кҶ/кг барои хулаҳо				
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.01	-0,00419	-3,39812	-13,0562	-28,4015	-48,8891
0.05	-0,00416	-3,3810	-12,9889	-28,2344	-48,5457
0.1	-0,00415	-3,37229	-12,9578	-28,168	-48,4288
0.5	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

* $T_0 = 298.15\text{ K}$

Дар ҷадвали 5 натиҷаи муқоисавии тадқиқоти гармиғунҷоиши хоси хӯлаи ноқилии алюминийи AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма дар речаи «хунукшавӣ» оварда шудааст. Тавре, ки дида мешавад бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳо меафзояд. Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо кадмий ва сурма бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо паст мешавад.

Чадвали 5 - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хлси (Ҷ/(кг·К)) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий, сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Микдори Са, Cd, Sb дар хӯла, вазн. %	T, К				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.5 Са	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
0.5 Cd	729,39	876,24	893,85	893,95	988,31
0.5 Sb	557,44	769,55	810,40	827,42	951,40
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57

Тағйирёбии вобастагии ҳароратии энталпия, энтропия, энергияи Гиббси хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма дар чадвали 6 чамъ оварда шудаанд.

Чадвали 6 - Вобастагии ҳароратии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий, сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

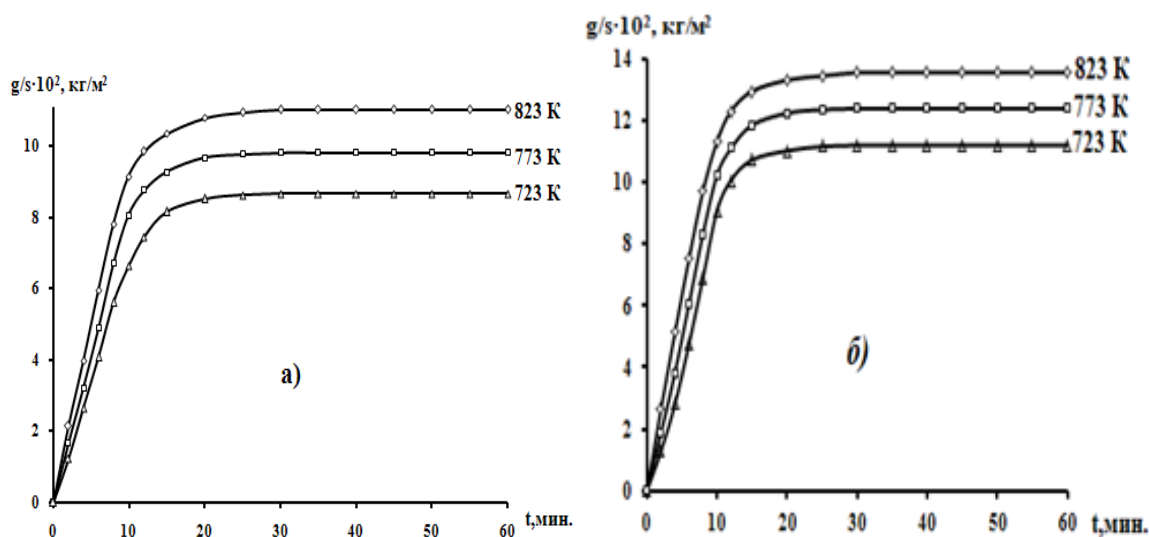
Микдори компоненти чавҳаронӣ дар хӯла, вазн. %	T, К				
	300	350	400	450	500
	$[H^0(T)-H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799
0.5Са	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
0.5Cd	1,3408	42,2530	86,8112	131,3465	177,7776
0.5Sb	1,3376	42,1045	86,4505	130,7819	177,0923
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
	$[S^0(T)-S^0(T_0^*)]$, кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо				
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.5Са	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
0.5Cd	0,0045	0,1303	0,2493	0,3542	0,4520
0.5Sb	0,00450	0,1299	0,2483	0,3527	0,4502
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
	$[G^0(T)-G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.5Са	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
0.5Cd	-0,0041	-3,3614	-12,9095	-28,0497	-48,2069
0.5Sb	-0,0041	-3,3510	-12,8622	-27,9389	-48,0135
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

Бузургиҳои энталпия ва энтропияи хӯлаҳо ҳангоми гузариш аз хӯлаи ибтидоии AlMgSi («алдрей») ба хӯлаҳои бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда паст мешаванд, бузургии энергияи Гиббс бошад баланд мешавад. Бо баланд шудани ҳарорат бузургиҳои энталпия ва энтропияи хӯлаҳо афзуда нишондиҳандаи энергияи Гиббс кам мешавад. Ҳамаи ин тағйиротҳои функсияҳои термодинамикии хӯлаҳо бо баланд шудани дараҷаи гетерогении сохтори хӯла AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронида шудаанд, алоқаманд аст.

БОБИ 3. ТАҲҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДАШУДА

Барои омӯзиши равандҳои кинетикии, ки ҳангоми оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо ба амал меоянд, дар алоҳидагӣ барои омӯختани суръати оксидшавии хӯлаҳои коркардшудаи саноатӣ, асосан усули термогравиметрӣ истифода мешавад, ки барои ин намуди тадқиқотҳо хело самаранок аст. Ин усулро ҳангоми таҳқиқоти равандҳои кинетикии, ки дар шароитҳои гуногун ба амал меоянд, васеъ истифода мекунанд, зеро оддӣ буда ва онро дар доираи васеи ҳароратҳо (зиёда аз 1773 К) истифода бурдан мумкин аст.

Барои тадқиқоти таъсири калсий, кадмий ва сурма ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») маҷмӯи хӯлаҳо бо миқдорҳои аз 0,01 то 0,5 вазн.% калсий, кадмий ва сурма синтез карда шуданд. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) ва бо 0,01(б) вазн.% калсий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ дар расми 5 нишон дода шудааст.



Расми 5 - Качхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) ва бо 0,01(б) вазн.% калсий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ

Омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) ва бо 0,01(б) вазн.% калсий ҷавҳаронидашуда, дар

хароратҳои 723, 773 ва 823К иҷро кардашуда нишон дод, ки дар муддати 10-20 дақиқа қачхатаҳои кинетикӣ бо суръатҳои хеле баланди оксидшавӣ ва вобастагии ҳаттӣ аз вақт тавсиф меёбанд. Минбаъд, бо дараҷаи зиёдшавии қобилияти муҳофизатии пардаи оксидӣ афзоиши вазнгирии хӯлаҳо муътадил мегардад.

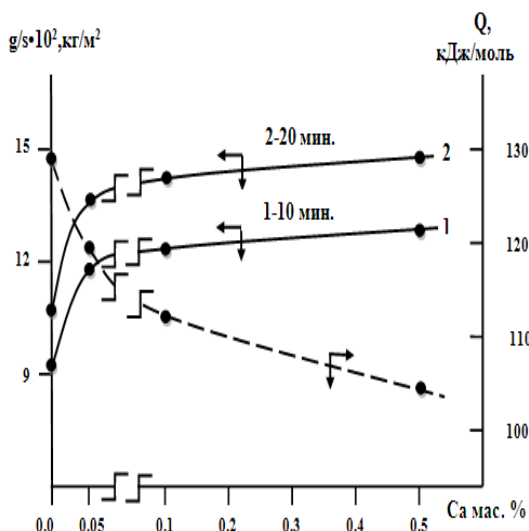
Дар раванди оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда параметрҳои энергетикӣ дида баромада шуд, ки натиҷаи онҳо дар ҷадвали 7 инъикос ёфтаанд. Чӣ тавре дида мешавад, оксидшавии хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей»), ки бо 0,05 %-и вазни калсий ҷавҳаронида шудааст нишон медиҳад, ки миқдори калони компоненти ҷавҳарӣ ба зиёдшавии бузургии суръати ҳақиқии оксидшавӣ аз $2,81 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сония⁻¹ то $3,41 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сония⁻¹ дар ҳароратҳои 723К ва 823К оварда мерасонад. Энергияи фаъолшавии хӯлаҳои нишондодашуда, низ дар муқоиса бо хӯлаи таркибаш 0,01 ваз % Са - каме пасттар аст ва барои хӯлаи бо миқдори 0.05 ваз % Са 119,5 кҶ/мол ва барои хӯлаи бо миқдори 0,1 ваз% Са, 112,6 кҶ/мол-ро ташкил медиҳанд, ҳол он ки ҳангоми миқдорӣ 0.01 ваз% Са, энергияи фаъолшави баландтар 124,1 кҶ/мол-ро ташкил медед.

Ҷадвали 7 - Параметрҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ

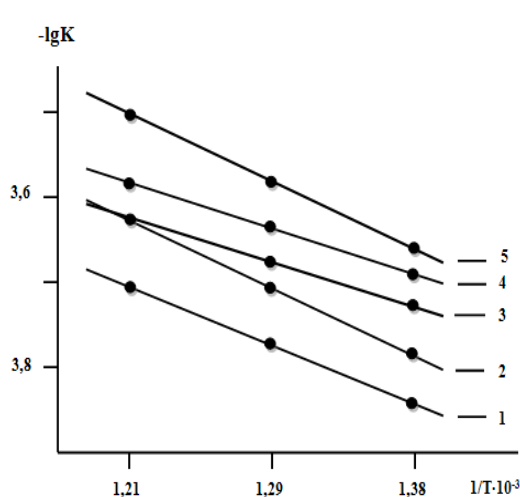
Миқдори калсий дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ К·10 ⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.01	723	2.69	124.1
	773	2.91	
	823	3.31	
0.05	723	2.73	119.5
	773	2.94	
	823	3.35	
0.1	723	2.77	112.6
	773	3.01	
	823	3.41	
0.5	723	2.81	104.9
	773	3.07	
	823	3.46	

Концентратсияи калсий 0,01 вазн.% дар хӯла ба оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») каме таъсир мерасонад. Зиёдшавии минбаъдаи концентратсияи калсий оксидшавии хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») -ро зиёд мекунад (расми 6). Тавре, ки дида мешавад аз график бо зиёд шудани миқдори калсий дар таркиби хӯла, қиммати энергияи фаъолгардони кам мегаргардад.

Барои хӯлаи омӯхташавандаи E-AlMgSi («алдрей»), ба миқдорҳои гуногун калсий (аз 0,01 то 0,5 вазн) ҷавҳаронидашуда, инчунин графикаи вобастагии $-\lg K$ аз ҳарорати мутақобила сохта шуд (расми 7) ва маълум карда шуд, ки раванди оксидшавии хӯлаҳои мавриди назар қарордошта ба таври хаттӣ мегузаранд. Гуфтан мумкин аст, ки бо баланд шудани ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаҳо зиёд мешавад. Качхатҳои (2-5) марбут ба хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий мебошад, ки дар болои качхатҳои (1) хӯлаи аввала ҷойгир шудаанд (расми 6).

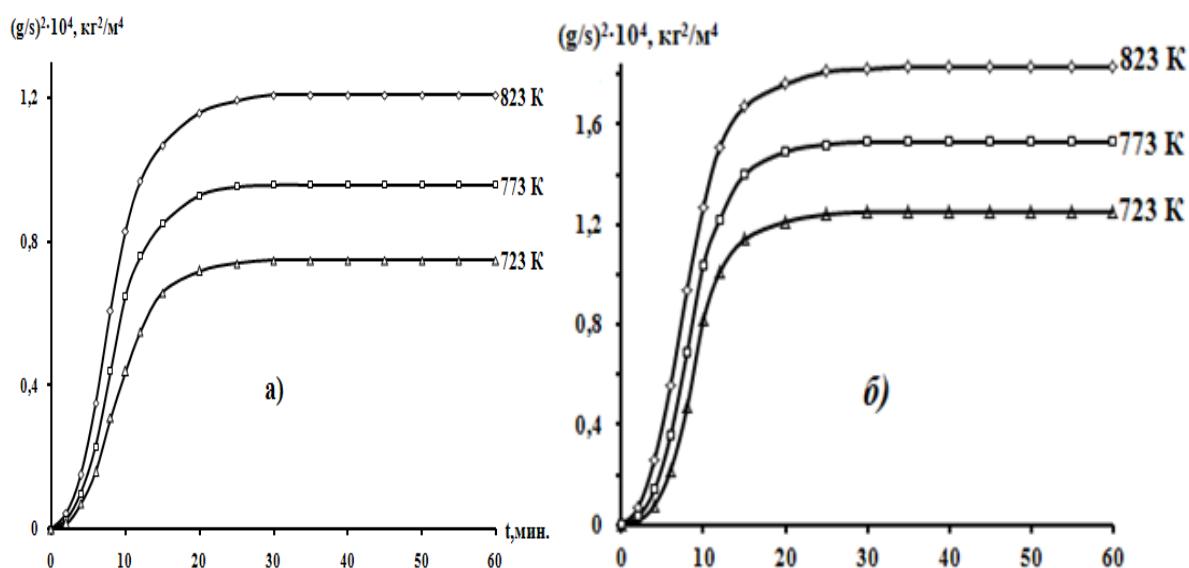


Расми 6 - Изохрони оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 823K.



Расми 7 - Вобастагии $-\lg K$ аз $1/T$ барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), бо калсий ҷавҳаронидашуда, вазн%: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5).

Дар ҷадвали 8 натиҷаҳои коркарди качхатиҳои кинетикии оксидшавӣ дар шакли вобастагӣ $(g/s)^2-t$ (расми 8) барои хӯлаҳои ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки таркибашон 0,01% калсий доранд, оварда шудаанд. Қайд карда мешавад, ки качхатиҳои кинетикии хӯлаҳо бо муодилаи гиперболии навъи $y=kx^n$ навишта мешаванд, ки дар инҷо $n=1-4$ аст.



Расми 8 - Қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (a) бо 0,01(б) вазн.% калсий.

Ҷадвали 8 - Полиномҳои қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт

Миқдори калсий дар хӯла, ваз.%	харорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффисиенти регрессия R ²
0.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0.01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,011x^2 + 1,000x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,057x^2 + 1,426x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,078x^2 + 1,719x$	0,994
0.05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,001x^3 - 0,046x^2 + 1,260x$	0,974
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,414x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,002x^3 - 0,088x^2 + 1,840x$	0,995
0.1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,016x^2 + 1,122x$	0,978
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,404x$	0,984
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,073x^2 + 1,770x$	0,991
0.5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,022x^2 + 1,214x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,047x^2 + 1,521x$	0,986
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,002x^3 - 0,087x^2 + 1,924x$	0,993

Бо усули математикии коркарди қачхатаҳои квадратии кинетикаи оксидшавии намунаҳои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий (0,01-0,5 %-и вазн) ва истифода аз барномаи *Excel* муайян карда шуда буд, ки қачхатаҳои кинетикаи раванди оксидшавии хӯлаҳои ба таҷриба фарогирифташудаи коэффитсиенти корелятсияи $R=0,998-0,999$ доранд, аз механизми гиперболии оксидшавии маҳакхоро тасдиқ менамоянд (ҷадвали 8).

Дар дар ҷадвали 9 вобастагии энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ оварда шудааст. Ҷамъбасти натиҷаҳои таҳқиқотҳои гузаронидашудаи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») оварда шуда, бо омӯзиши тағйирёбии энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ дар вобаста аз консентратсияи компонентҳои ҷавҳаронидашудаи калсий, кадмий ва сурма, қимати максималии энергияи фаъолшавӣ барои хӯлаи аввала бо 0,5 вазн.% Sb 143,2 кҶ/мол, қимати минималӣ барои хӯлаи дар таркибаш 0,5 вазн.% кадмий дорад, муайян гардид.

Ҷадвали 9 - Вобастагии энергияи эҳтимолии фаъолшавии (кҶ/мол) раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт

Миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашуда дар хӯла, вазн.%	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
Калсий	128.5	124.1	119.5	112.6	104.9
Кадмий		119.9	114.2	107.0	99.5
Сурма		133.0	137.9	140.6	143.2

Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронида кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт, ошкор карда шуд:

1. Оксидшавии хӯлаҳои баррасишуда, мувофиқи қонуни гипербола ҷараён мегирад ва дараҷаи суръати оксидшавии $\sim 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹ доро мебошанд;

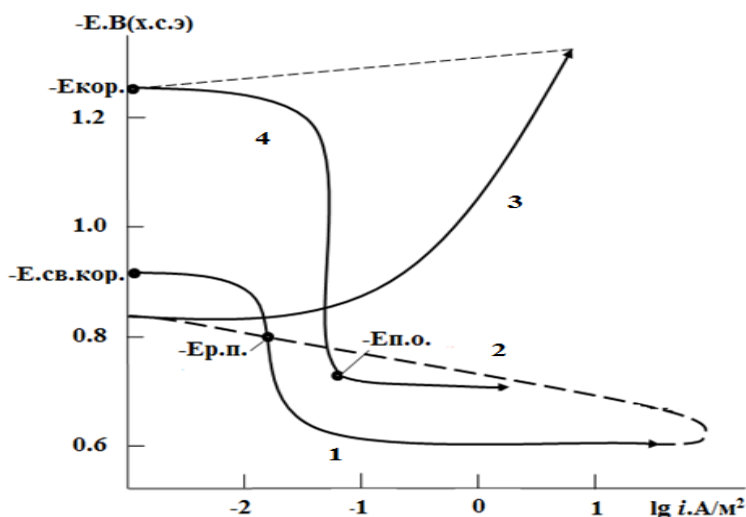
2. Хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий баландтарин суръати оксидшавиро ва хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронидашуда пасттарин суръати оксидшавиро доро мебошанд.

БОБИ 4. РАҶТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДАШУДА ДАР МУҶИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl

Барои таҳқиқоти электрохимиявӣ намунаи аз хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi (алдрей) бо таркибҳои химиявӣ, вазн%: Si - 0,5; Mg

- 0,5, ҳосил карда шуда, дар маҳлули электролити 3,0% NaCl омӯхта шуд. Намуна дар маҳлули электролитӣ таҳқиқотшаванда ҷойгир карда шуда, раванди поляризасия (қудбноқшавӣ) аз потенциали ибтидоӣ то қиматҳои максималии зичии ҷараёни намуна омӯхташуд. Дар ин ҳолат, қимати потенциали зангзании озод (($E_{св.кор.}$)) -и намуна ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳои ҷенкунҳо дар расми 9 (хатти 1) ҷамъбаст карда шудаанд. Пас аз ин, намуна ба самти муқобил поляризу карда шуд (расми 8, қачхатиҳои 2 ва 3), ки қимати потенциалӣ то қиматӣ -1,3 В расид, ки дар ин маврид пардаи оксидии рӯи намунаи хӯла ҳал мешавад. Сипас намунаҳои хӯлаҳо поляризу гузаронида шуданд, ки дар онҳо потенциали питтингҳосилшавӣ ($E_{п.о.}$) бо гузашти вақт аз минтақаи катодӣ ба анодӣ мегузарад (расми 9, қачхати 4).

Ҳамин тариқ, хатҳои поляризу карда, дар онҳо бузургиҳои асосии потенциалҳои электрохимиявӣ хӯлаҳои омӯхташаванда, муайян карда шуданд: $-E_{ст}$ ё $-E_{озод,кор.}$ - потенциали стандартӣ ё потенциали озоди коррозия; $-E_{рп.}$ - потенциали репассивасия; $-E_{п.о.}$ - потенциали питтингҳосилшавӣ; $-E_{кор.}$ - потенциали коррозия ё зангзанӣ; $-i_{кор.}$ - ҷараёни коррозия ё зангзанӣ.



Расми 9 - Қачхатиҳои поляризу сиюни анодӣ ва катодӣ (2 мВ/с) хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролити 3%-и NaCl

Бузургиҳои ҷараёни зангзании хӯлаи таҳқиқшуда, бо назардошти хати қачии катодӣ бо нишебии тафелӣ (v_k), ки қимати он 0,12-ро ташкил медиҳад, ҳисоб карда шуд, зеро барои алюминий ва хӯлаҳои он дар муҳити нейтралӣ, зангзании питтингӣ дар вобастагӣ аз ионизатсияи оксиген ва реаксияи катодӣ мегузарад. Суръати зангзанӣ барои хӯлаҳо бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$K = i_{кор.} \cdot k, \quad (9)$$

барои алюминий k ба 0,335г/А·с баробар аст. (Эквиваленти электрохимиявӣ алюминий).

Дар ҳисобҳои потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳо инчунин такроршавандагии онҳо ҳисоб карда шуданд, ки аз ± 1 мВ иборат аст. Инчунин зичии ҷараёни зангзанӣ ҳисоб карда шуд, ки аз $0.001 \cdot 10^{-2}$ то $0.005 \cdot 10^{-2}$ А/м² баробар аст.

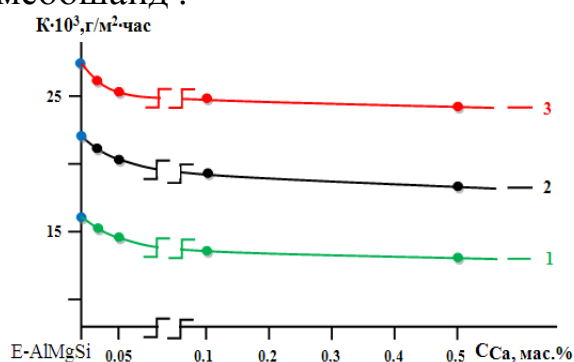
Дар ҷадвали 10 барои хӯлаҳои таҳқиқшаванда ҳисобҳои хусусиятҳои зангзании электрохимиявии онҳо оварда шудаанд. Дар асоси маълумотҳои ҷадвали 10 метавон гуфт, ки ҷавҳаронидани хӯлаи ноқили алюминийи аввалияи AlMgSi («алдрей») бо миқдорҳои гуногуни калсий (аз 0,01 то 0,5 ваз.% Са) дар маҳлули электролити NaCl бо консентратсияҳои гуногун потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳои таҳқиқшаванда (потенсиали зангзанӣ, потенциали репассиватсия ва потенциали питингҳосилшавӣ) ба минтақаи бештари қиматҳои мусбат мелағжанд, дар ин маврид устувории хӯлаҳои омӯхташаванда ба зангзании питтингӣ зиёд мешавад.

Ҷадвали 10 - Хусусиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, дар муҳити электролити NaCl

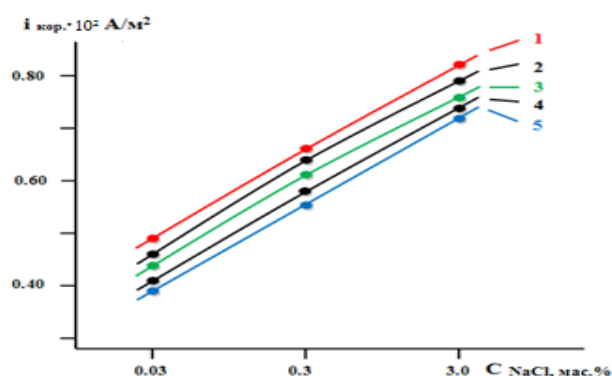
Муҳит NaCl, вазн.%	Миқдори калсий дар хӯла, вазн.%	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати зангзанӣ	
		-E _{оз.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{кор.} · 10 ² , А/м ²	K · 10 ³ , г/м ² ·час
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,850	1,088	0,590	0,715	0,046	15,41
	0.05	0,842	1,072	0,578	0,715	0,044	14,74
	0.1	0,830	1,055	0,566	0,710	0,041	13,73
	0.5	0,822	1,040	0,552	0,707	0,039	13,06
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,878	1,169	0,664	0,760	0,064	21,44
	0.05	0,870	1,152	0,656	0,754	0,061	20,43
	0.1	0,863	1,137	0,647	0,750	0,058	19,43
	0.5	0,852	1,124	0,640	0,750	0,055	18,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,910	1,230	0,724	0,785	0,079	26,46
	0.05	0,900	1,228	0,718	0,780	0,076	25,46
	0.1	0,894	1,216	0,710	0,780	0,074	24,71
	0.5	0,883	1,205	0,700	0,770	0,072	24,12

Дар асоси маълумотҳои дар ҷадвали 10 оварда шуда метавон гуфт, ки ҷавҳаронидани хӯлаи ноқили алюминийи аввалияи AlMgSi («алдрей») бо миқдорҳои гуногуни калсий (аз 0,01 то 0,5 ваз.% Са) дар маҳлули электролити NaCl бо консентратсияҳои гуногун, потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳои таҳқиқшаванда (потенсиали коррозия, потенциали репассиватсия ва потенциали питингҳосилшавӣ) ба минтақаи қиматҳои мусбат мекӯҷад, дар ин маврид устувории хӯлаҳои омӯхташаванда ба коррозияи питтингӣ зиёд мешавад. Инчунин дар ин

чадвал ва дар расми 10 вобастагии суръати коррозияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий дар муҳити электролити 0,03, 0,3 ва 3,0% NaCl нишон дода шудааст. Илова кардани калсий ба хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») суръати коррозияи онро дар тамоми муҳитҳои омӯхташавандаи электролити NaCl паст мекунад. Аз ин лиҳоз, зиёдшавии консентратсияи электролити NaCl (хлорид-ион) ба баланд шудани суръати зангзании хӯлаи ибтидоӣ мусоидат мекунад (расми 10). Зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») дар консентратсияи 0,5 ваз.% калсий қимати минималӣ дорад (расми 11). Аз ин рӯ, таркиби хӯлаҳои муайяншуда аз ҷиҳати зангзанӣ оптималӣ мебошанд.

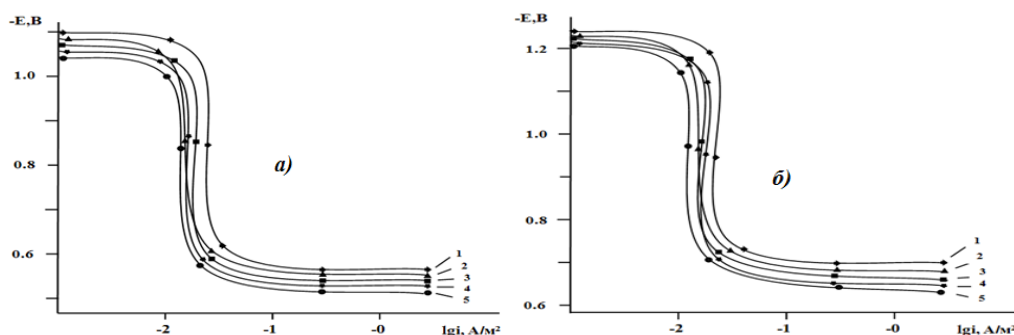


Расми 10 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз консентратсияи калсий, дар муҳити электролити 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0%-и (3) NaCl 10^2



Расми 11 - Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои калсий, вазн%: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5) аз консентратсияи NaCl

Шохаҳои анодии хатҳои поляризатсияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий дар расми 12 нишон дода шудаанд. Тавре ки аз рафти қачхатиҳо дида мешавад, бо зиёд шудани миқдори компоненти ҷавҳаронидашуда - калсий, дар муҳити электролити NaCl гузариши ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаҳои қиматҳои мусбат мушоҳида мешавад, ки ин аз камшавии суръати ҳалшавии анодии хӯлаҳои ҷавҳаронида шаҳодат медиҳад.



Расми 12 - Қачхатҳои поляризатсияи аноди (2мВ/с) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои калсий, вазн%: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а) ва 3%-и (б) NaCl

Дар **ҷадвали 11** потенциали (х.н.э.) коррозияи озод (-Еоз.корр, В), ва питтингҳосилшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий, сурма дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияи гуногун нишон дода шудааст. Потенциали коррозияи озоди хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо афзоиши консентратсияи калсий, кадмий ва сурма ба самти мусбати меҳвари ордината мегузарад. Ҳангоми гузаштан аз электролитҳои заиф ба электролитҳои кавӣ камшавии бузургии потенциали коррозияи озод новобаста аз таркиби элементҳои ҷавҳаронӣ мушоҳида мешавад.

Ҷадвали 11 - Потенциалҳои (х.н.э.) коррозияи озод (-Еоз.корр, В), ва питтингҳосилшавии хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий, сурма дар муҳити электролити NaCl

Муҳит NaCl	Миқдори Ca, Cd, Sb дар хӯла	Хӯлаҳо бо калсий		Хӯлаҳо бо кадмий		Хӯлаҳо бо сурма	
		-Еоз.корр	-Еп.х.	-Еоз.корр	-Еп.х.	-Еоз.корр	-Еп.х.
вазн. %							
0.03	-	0,860	0,600	0,860	0,600	0,860	0,600
	0.01	0,850	0,590	0,840	0,584	0,830	0,576
	0.05	0,842	0,578	0,832	0,572	0,822	0,564
	0.1	0,830	0,566	0,823	0,560	0,815	0,552
	0.5	0,822	0,557	0,815	0,547	0,808	0,540
0.3	-	0,890	0,680	0,890	0,680	0,890	0,680
	0.01	0,878	0,664	0,868	0,658	0,857	0,650
	0.05	0,870	0,656	0,860	0,646	0,848	0,635
	0.1	0,863	0,647	0,853	0,638	0,840	0,626
	0.5	0,852	0,640	0,844	0,630	0,833	0,616
3.0	-	0,919	0,735	0,919	0,735	0,919	0,735
	0.01	0,910	0,724	0,885	0,716	0,872	0,709
	0.05	0,900	0,718	0,878	0,708	0,864	0,698
	0.1	0,894	0,710	0,870	0,700	0,856	0,686
	0.5	0,883	0,700	0,862	0,692	0,844	0,677

Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои калсий ба хӯлаҳои дорои кадмий ва сурма, потенциалҳои коррозияи озод ва питтингҳосилшавӣ зиёд мешаванд.

Зичии ҷараёни коррозия ва мувофиқан суръати коррозияи хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий, сурма ҷавҳаронидашуда бо афзоиши консентратсияи электролитҳо зиёд мешавад. Ин вобастагӣ барои ҳама хӯлаҳо, новобаста аз таркибашон ва хусусиятҳои хосиятҳои физикӣ-химиявии элементҳои ҷавҳаронӣ хос аст. Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои дорои калсий ба хӯлаҳои дорои кадмий ва сурма пастшавии суръати коррозия мушоҳида мешавад. Барои хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») инчунин бо афзоиши консентратсияи иони хлорид дар электролит афзоиши суръати коррозия хос аст.

Дар ҷадвали 12 вобастагии зичии ҷараёни коррозия ва суръати коррозияи хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий, сурма дар муҳити электролити NaCl бо концентратсияи гуногун пешниҳод шудааст.

Ҷадвали 12 - Вобастагии зичии ҷараёни коррозия ва суръати коррозияи хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий, сурма дар муҳити электролити NaCl

Муҳит NaCl	Миқдори Ca, Cd, Sb дар хӯла	Суръати коррозия					
		Хӯлаҳо бо калсий		Хӯлаҳо бо кадмий		Хӯлаҳо бо сурма	
вазн. %		$i_{корр} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{корр} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{корр} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$
0.03	-	0,049	16,41	0,049	16,41	0,049	16,41
	0.01	0,046	15,41	0,044	14,74	0,043	14,40
	0.05	0,044	14,74	0,041	13,73	0,040	13,40
	0.1	0,041	13,73	0,039	13,06	0,038	12,73
	0.5	0,039	13,06	0,037	12,40	0,035	11,72
0.3	-	0,066	22,11	0,066	22,11	0,066	22,11
	0.01	0,064	21,44	0,062	20,77	0,061	20,43
	0.05	0,061	20,43	0,059	19,76	0,058	19,43
	0.1	0,058	19,43	0,056	18,76	0,055	18,42
	0.5	0,055	18,42	0,053	17,75	0,052	17,42
3.0	-	0,082	27,47	0,082	27,47	0,082	27,47
	0.01	0,079	26,46	0,077	25,79	0,076	25,46
	0.05	0,076	25,46	0,075	25,12	0,074	24,79
	0.1	0,074	24,71	0,073	24,45	0,072	24,12
	0.5	0,072	24,12	0,070	23,45	0,069	23,11

ХУЛОСАҲО

1. Таъсири иловаҳои калсий, кадмий ва сурма ба сахтӣ ва устувории хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») омӯхта шуд. Муайян карда шудааст, ки дар баробари зиёд шудани миқдори маводи ҷавҳаронидашаванда, қиммати сахтӣ ва устувории хӯлаи «алдрей» тайир намеёбад. Металлография нишон дод, ки илова кардани калсий, кадмий ва сурма то 0,5 вазн.% ба майдашавии ҷузъҳои сохтории хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») оварда мерасонад.

2. Дар речаи «хунукшавӣ» вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки бо зиёд шудани концентратсияи компонентҳои ҷавҳаронида гармиғунҷоиши

хӯлаҳо кам шуда, аз ҳарорат зиёд мешавад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо кам мешавад.

3. Таҳқиқотҳои вобастагии ҳарорат аз тағйироти функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ҷавҳаронидашуда бо калсий, кадмий ва сурма нишон доданд, ки ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои сурма гузаштан бузургиҳои энталпия ва энтропия кам мешаванд. Бо зиёд шудани ҳарорат энталпия ва энтропияи хӯлаҳо зиёд шуда, қимати энергияи Гиббс кам мешавад. Тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи («алдрей») ҳангоми ҷавҳаронидан бо калсий, кадмий ва сурма, баланд шудани дараҷаи гетерогении структураи хӯлаҳоро ҳангоми ҷавҳаронидан онҳо бо металлҳои нишондодашуда мефаҳмонад [7, 13, 15, 17, 18, 19-М].

4. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда тавассути усули термогравиметрия омӯхта шуд. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гипербола иттиҳод намуда, суръати ҳақиқии оксидшавӣ тартиби 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹ дорост; Муайян карда шуд, ки қиматҳои минималии суръати оксидшавӣ ба хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма ва максималӣ ба хӯлаҳои калсий тааллуқ доранд [2,3,5,6,12,14,13-М].

5. Рафтори анодии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда, бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати гардиши потенциали 2 мВ/с омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки илова кардани компонентҳои ҷавҳаронида ба миқдори аз 0.01 то 0.5 ваз.% устувории зангзании хӯлаи алюминийи E-AlMgSi –ро дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl ба 20% зиёд мекунад. Зиёдшавии суръати зангзании хӯлаҳо бо концентратсияи электролити NaCl муқаррар карда шудааст. Дар ин ҳолат, потенциалҳои асосии электрохимиявии хӯлаҳо ба минтақаи қиматҳои манфӣ лағжиш менамояд [1, 4, 9, 10, 11-М].

6. Муқаррар карда шуд, ки қонунияти физикавӣ-химиявии тағйирёбии хосиятҳои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») ҳамчун асос барои коркарди таркиби хӯлаҳои нав, ки бо нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд, хизмат мекунанд. № ТҶ 1220 аз 14.12.2021с [8-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо.

1. Параметрҳои физикавӣ-химиявии муқарраршудаи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма барои пур кардани саҳифаҳои маълумотномаҳои дахлдор тавсия карда мешаванд.

2. Хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои истеҳсоли онҳо, барои истифода ба корхонаҳои саноатии тобеи Вазорати саноат ва технологияи нави Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия дода мешаванд.

3. Хӯлаҳо ба сифати ноқилҳои ҷараёнӣ ба соҳаи саноатӣ электротехника пешниҳод карда мешаванд.

НАТИҶАҶОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР МАҚОЛАҶОИ ЗЕРИН ДАРҶ ЁФТААНД:

Мақолаҳое, ки дар маҷалаҳои илмии аз тарафи ҚОА назди Президенти
Ҷумҳурии Тоҷикистон эътироф гардидаанд, инчунин дар журналҳои ба
руйхат дохилшуда Scopus Web of Sciens

[1-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 4. С. 267—274. (SCOPUS - Q3)

Effect of calcium doping on the anodic behavior of E-AlMgSi (Aldrey) conducting aluminum alloy in NaCl electrolyte medium / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, **E.J. Kholov**, N.I. Ganieva / Modern Electronic Materials. 2023; 9(1): P.33–38. (SCOPUS - Q3).

[2-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, В.Д. Абулхаев // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 2. -С. 131—137. (SCOPUS - Q3).

E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy solid state cadmium oxidation kinetics / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, E.J. Kholov, N.I. Ganieva, V.D. Abulkhaev // Modern Electronic Materials. 2022; 8(2): -P.79–83. (SCOPUS - Q3).

[3-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («Алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2024. № 2, С. 72-85.

[4-М]. **Холов, Ё.Дж.** Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, И.Т. Амонзода, Х.М. Ходжаназаров // Практика противокоррозионной защиты. 2023, Т.8, №4, С. 22-29.

[5-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и тех. наук. 2021. №1 (182). С. 75-81.

[6-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. Душанбе – 2021. - №1(10-11). –С.134-136.

[7-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на теплоемкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi

(«алдрей») / Ё.Дж. Холов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. - 2022. - №2/2(99). - С.77-82.

Ихтироот аз рӯи мавзӯи рисола:

[8-М]. Нахустпатенти Чумхурии Тоҷикистон № ТҶ 1220. Хӯлаи алюминийи ноқилӣ / аризадиҳанда ва дорандагони патент: И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Ё.Қ. Холов, Ф.А. Алиев, Қ.Ҳ. Чайлоев, У.Ш. Якубов, А.Р. Рашидов, Ф.С. Давлатзода, А.П. Абдулаков. / №2101517; ариз. 12.03.2021с, чоп. 14.12.2021с.

Мақолаҳо, ки дар маҷаллаҳои конференсияҳои байналмиллалӣ ва чумхуриявӣ аз ҷоп баромаданд

[9-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в среде электролита 0,3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, У.Н. Фазуллоев // Мат. Респ. научно-практ. конф., посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук, «Актуальные вопросы естественных наук и технологий».-Душанбе: РТСУ, 2020. С. 76-78.

[10-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научной конф. «Инновационное развитие науки». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2020. - С. 170-172.

[11-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с сурьмой в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Развитие энергетики и возможности».- ИЭТ, г. Бохтар, 2020.- С. 388-390.

[12-М]. Холов, Ё.Дж. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, А.Дж. Амиров // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики РТ: состояние, проблемы и перспективы».- МИСиС, г. Душанбе, 2020. - С. 356-359.

[13-М]. Холов, Ё.Дж. Влияние сурьмы на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан». - Душанбе: ТТУ, 2021. –С.90-95.

[14-М]. Холов, Ё.Дж. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-практ. конф. XVI Нумановские чтения «Достижения

химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан», посвященной 75 – летию Института химии имени В.И. Никитина и 40 – летию лаборатории «Коррозионостойкие материалы». - Душанбе, 2021. -С. 99-102.

[15-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние кальция на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев // Респ. научно-прак. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2021.- С. 96-99.

[16-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, А.М. Сафаров, Н.И. Ганиева // Мат. межд. научной конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан» Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (г. Душанбе, 22 декабря). 2023. -С. 76-80.

[17-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на изменение термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов // Мат. Межд. научно-прак. конф. «XII Ломоносовские чтения», посвященной Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. ЧАСТЬ I. Естественные науки. -Душанбе, 2022. -С.133-135.

[18-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кадмия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (« алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-прак. конф. XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». - Душанбе, 2022. -С. 115-117.

[19-М]. **Холов, Ё.Дж.** Исследование физико-химических свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров // Матер. межд. научно-терет. конф. «Значение изучения естественных, точных и математических наук в развитии медицинской технологии», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере образования», (18 март 2024 года). Технический колледж технического университета Таджикистана имени академика М.Осими. -Душанбе, -С. 233-241.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА»
ДАНГАРИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 669.017.162.3+669.771+669.831.66973+75

ББК 34.303.1

На правах рукописи



ХОЛОВ Ёрмахмад Джомахмадович

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО
ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi («алдрей»)
С КАЛЬЦИЕМ, КАДМИЕМ И СУРЬМОЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение
(05.02.01.02- машиностроительная промышленность)**

Душанбе-2024

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина» Национальной академии наук Таджикистана и в Дангаринском государственном университете.

Научный руководитель: **Ганиев Изатулло Наврузович** - доктор химических наук, академик Национальной академии наук Таджикистана, профессор

Официальные оппоненты: **Рузиев Джура Рахимназарович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная химия», Таджикский национальный университет

Мирзоев Шамсулло Изатович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Механизация сельского хозяйства», Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур

Ведущая организация: Институт энергетики Таджикистана

Защита состоится «16» января 2025 г. в «9⁰⁰» часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-028 при Таджикском техническом университете им. М.С. Осими по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10. E-mail: adliya69@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Таджикского технического университета им. М.С. Осими, www.ttu.tj

Автореферат разослан «__» _____ 2024 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент



Бабаева А.Х.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Алюминий в современном мире является материалом, на основе которого синтезируются сплавы и новые материалы имеющие улучшенные показатели по качеству. Этот металл входит в список самых распространенных материалов для изготовления деталей различной формы и размеров для множества сфер промышленности, начиная от пищевой промышленности и заканчивая крупными производственными заводами, в которых алюминий широко используется.

В фокусе данного научного изыскания является сплав, который широко используется в электротехнике имеющий обозначение E-AlMgSi. Как видно из формулы, основным компонентом на основе которого она получена – это алюминий. Соответственно данный сплав имеет все те преимущества пресущие алюминию, т.е. легкость, высокая прочность, пластичность, а также коррозионная стойкость. Если над данным сплавом провести дополнительную обработку относительно высокими температурами, то такой параметр как «токопроводимость» становится выше, и соответственно использование этого материала становится более выгодным в электропроводах, в различной форме и размерах. Кабели электропередач, которые повсеместно используются, как известно подвергаются влияниям различного вида и повышение их стойкости и, следовательно, увеличение срока их службы, являются актуальными. Особенно в условиях республики Таджикистан, где производится большое количество электроэнергии в нескольких крупных ГЭС-ах и необходимость их передачи до населенных пунктов является важнейшей задачей.

Основное назначение алюминиевого сплава, называемого также «Алдрей»- это электропровода. Если ранее кабели производили из других сплавов, то использование этого сплава дало возможность использовать меньшее количество пролетов, так как сплав «Алдрей» имеет более прочную структуру. А более высокая твердость данного сплава привело к уменьшению бракования и повреждения кабелей при производстве и монтаже.

В диапазоне температур начиная от 180-200°C прочность алюминиевой проволоки снижается. Следовательно, необходимо разработать сплавы, которые бы были прочнее и не теряли своей прочности и функциональности при высоких температурах. Также в сфере использования проводов существует такое требование как выдерживание многократных изгибов, из-за которого свою работоспособность, т.е. функцию проводить электричество теряют многие кабели как во время использования, так и в процессе установки и монтажа. «Алдрей» же в ходе ознакомления с работами других ученых и наших опытов показал большее значение прочности, в некоторых концентрациях лучшую коррозионную стойкость и стоит отметить что у проводов, изготовленных из исследованного сплава выше значение сопротивления действию дуги что сокращает количество такх называемых «коротких замыканий», следовательно, их использование оправдано как с технической точки зрения, так и с точки зрения безопасности.

С целью улучшения эксплуатационных свойств и получения оптимального состава сплавов, в данной исследовательской работе выбранный нами алюминиевый сплав «Алдрей» был легирован такими металлами как кальций, кадмий и сурьмой. Были проведены исследования свойств получившегося сплава, а именно устойчивость к коррозии, ход процесса окисления при высокой температуре, а также теплофизические свойства и термодинамические характеристики полученных сплавов. Стоит отметить, что данные исследования были проведены в Институте химии НАН Таджикистана и входят в один из проектов по разработке составов сплавов, которые могут иметь широкое использование в промышленных предприятиях.

Целью исследования: является установление термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой, предназначенного для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Объекты исследования: широко используемый в промышленности проводниковый сплав E-AlMgSi («алдрей»)

Предмет исследования: разработка и получение новых сплавов на основе сплава E-AlMgSi

Ключевые направления исследований: анализ термодинамического поведения и температурно-зависимых свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi, в который дополнительно добавлен металлический кальций, кадмий и сурьма

- Изучение и определение механизма твердофазного окисления исследуемых сплавов.

- Определение изменения анодного поведения исходного алюминиевого проводникового сплава в результате легирования кальцием кадмием и сурьмой, в среде жидкого электролита (NaCl).

- Определение оптимального состава, имеющего наилучшие характеристики и определение возможные сферы его применения.

Методы исследования: изучение параметров теплоемкости используя так называемый Метод охлаждения; Изучение электрохимического поведения сплавов потенциостатическим методом; Изучение процесса твердофазного окисления термовиметрическим методом.

Основными направлениями исследования является материаловедение, и поиск технологий на создание новых сплавов для использования в промышленности.

Ключевые направления исследований- получение нового сплава на основе алюминиевого сплава AlMgSi («алдрей») методом легирования добавками кальция кадмия и сурьмы, также изучение их термических, теплофизических, кинетических и анодных свойств.

Доказательства и экспериментальная основа. Все научные испытания были проведены с использованием сертифицированных тарированных приборов отвечающим научным требованиям: использовали импульсный потенциостат ПИ-50-1.1; термогравиметрические весы; прибор

для измерения теплоёмкости твёрдых тел в режиме «охлаждения»; микроскоп марки БИОМЕД-1, прибор ТШ-2 для проведения измерения твёрдости.

Достоверность результатов проведенных исследований.

Гарантируются использованием методов и приборов отвечающим современным требованиям, и прошедших широкую опробацию. Полученные результаты сопоставляются с результатами полученных других ученых, работающих в данном направлении.

Научно-практическая новизна исследования.

- Были определены ключевые параметры изменения теплоемкости, а также термодинамических функций исследуемого сплава E—AlMgSi и сплавы, на его основе которые были изменены добавлением металлического Ca, Cd, Sb. Опыты показали большую роль температуры рабочей среды на величину теплоемкости, энтальпии и энтропии. Если увеличить температуру, значения этих параметров также идет вверх. Также были определены закономерность изменения этих параметров в зависимости от концентрации дополнительных металлов в сплаве.

- Воспользовавшись методом термогравиметрии, определили, как влияет увеличение температуры в рабочей среде на интенсивность окисления образцов из сплава E-AlMgS, в который дополнительно были добавлены металлы Sb, Ca, а также Cd в определенных количествах. Основываясь на расчетах, пришли к мнению что окисление проходит согласно гипперболическому закону.

- Воспользовавшись методом измерения потенциалов, узнали какое влияние имеют добавленные металлы и разность их концентраций на электрохимические свойства. Результаты работ, согласно этому методу, показали, что при добавлении в сплав 0,5% металлов Sb, Ca, а также Cd можно заметить усиление антикоррозионных свойств на 20%.

Теоретическая ценность исследования. В диссертации рассматриваются теоретические основы исследования: влияние добавок на структуру, зависимость теплоемкости, изменении термодинамических функций и закономерностей изменения коррозионных электрохимических, кинетических и энергетических свойств в процессе окисления алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») содержащий дополнительно кальций, кадмий и сурьму; величины окислительной и коррозионной стойкости алюминиевого сплава E-AlMgSi в зависимости от концентрация легирующих добавок и использованных для исследования сред.

Практическая ценность исследования. Исследования привели к выявлению состава сплавов с наименьшей скоростью окисления при высоких температурах и подбору наиболее подходящих легирующих добавок (Ca, Cd, Sb) для повышения коррозионной стойкости исходного сплава E-AlMgSi.

Получен малый патент Республики Таджикистан на составы полученных сплавов на основе E-AlMgSi, в которые были добавлены кальций, кадмий и сурьма.

Положения выносимые к защите.

- Проведено исследование термодинамического поведения и температурно-зависимых свойств сплава E-AlMgSi («алдрей»), в состав которого добавляли кальций, кадмий и сурьму.

- Механизм окисления сплава E-AlMgSi, а также кинетические и энергитические показатели данного процесса.

- Влияние концентраций добавок кальция кадмия и сурьмы на анодное поведение.

- Предложен наиболее коррозионностойкий, с низким значением окисляемости сплав определенного состава для использования в качестве проводникового материала для линий электропередач.

Личный вклад соискателя заключается в анализе литературных данных, в постановке и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, в формулировке основных положений и выводов диссертации.

Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов. Основные положения диссертации обсуждались на: Респ. научно-прак. конф. «Инновационное развитие науки», ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий НАНТ, (г. Душанбе, 2020); Межд. научно-прак. конф. «Развитие энергетики и возможности», (г. Бохтар, 2020); Межд. научно-прак. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики РТ: состояние, проблемы и перспективы», МИСиС, (г. Душанбе, 2020); Респ. научно-прак. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий», посвящённая 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук РТСУ, (г. Душанбе, 2020); Мат. Межд. научно-прак. конф. «XII ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ», посвященной Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. ЧАСТЬ I. Естественные науки. –Душанбе, 2022; Мат. межд. научной конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан» Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (г. Душанбе, 22 декабря) 2023.

Опубликование результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 18 научных работ, из них 7 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан и 11 статей в материалах международных и республиканских конференций. Также получен 1 малый патент Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и приложения, изложена на 173 страницах компьютерного набора, включает 85 рисунка, 51 таблиц, 120 библиографических наименований.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ НАУЧНОЙ РАБОТЫ

Во введении подробно приведены состояние исследований в данном направлении, приведены достижения таджикских ученых в этом направлении и существующие проблемы. Также в этой части обоснована научная и практическая актуальность работы и основные теоретические предпосылки исследования.

В первой главе приведены описания процессов структурных формирований сплавов алюминия, легированных малыми добавками кальция, кадмия и сурьмой; теплофизические характеристики металлов, входящих в состав исследованного сплава; коррозия металлов в жидкой среде NaCl имеющий различные концентрации; также приведены литературные данные о процессе прохождения окисления сплавов алюминия.

Перед началом исследований в данном направлении, нами были проведены широкие поиски информации по данному направлению, что позволило нам выявить уже изученные свойства металлов и сплавов. Эта информация в обобщенном виде приведена в данной главе. И нами было замечено, что информация про исследования по свойствам проводникового E-AlMgSi сплава недостаточно полна, а данных про исследования этого же сплава с такими добавками как Ca, Sb и Cd вообще отсутствуют.

Необходимо подчеркнуть, что данная тема для исследования была выбрана из-за того, что исследований на данную тематику, а именно влияния малых добавок кальция, кадмия и сурьмы – не было проведено ранее и полной информации об их свойствах в литературе и в научных трудах ученых данного направления не было найдено.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi («алдрей»), ЛЕГИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, КАДМИЕМ И СУРЬМОЙ

Для проведения данных исследований и получения сплавов была использована шахтная печь, а именно СШОЛ. Так как основным компонентом в сплаве AlMgSi является алюминий, взяли сплав А6 и на его основе получили сплавы, которые непосредственно использовались в ходе опытов. Необходимо отметить, что синтез сплавов проводился в лабораторных условиях, с учетом техники безопасности и существующих ГОСТов. Установив высокую температуру в печи равной 750-800 градусов, расплавляли необходимые металлы, а далее добавляли лигатуры кремния и магния. При расчете необходимой концентрации добавок кремния, было учтено, что в составе уже есть металлический кремний. С целью предотвращения нежелательных образований и полного расплавления магния в объеме, магний был завернуть в алюминиевую фольгу и добавлялся посредством колоколчика. По такой же технологии добавляли и легирующие металлы кальций, кадмий и сурьма. На каждом шаге строго соблюдалась технология получения, исходная шихта и

каждый вводимый компонент взвешивались на калиброванных весах. Для полной уверенности полученные сплавы направлялись в лабораторию ТалКо, которая специализируется на химическом анализе сплавов на основе алюминия. При наличии несоответствий состава или большой погрешности, сплав браковался и получение сплава проводилось заново.

Для исследования изменения микроструктуры в результате легирования, нами были сняты изображения микроструктуры каждого полученного сплава в соответствии с концентрацией добавок. На рисунке 1 приведены микроструктуры исследованных сплавов. Данные изображения сняты на микроскопе марки БИОМЕД-1. По результату проведенных исследований по изучению микроструктуры, можно сказать, что добавки кальция кадмия и сурьмы приводят к тому, что микроструктура сплава притерпевает изменения и становится мельче. Также, можно сказать, что в результате добавки кальция, кадмия и сурьмы, в сплаве образуются двойные и тройные эфтектические фазы, которые непосредственно виляют на эксплуатационные, механические и физические свойства сплава.

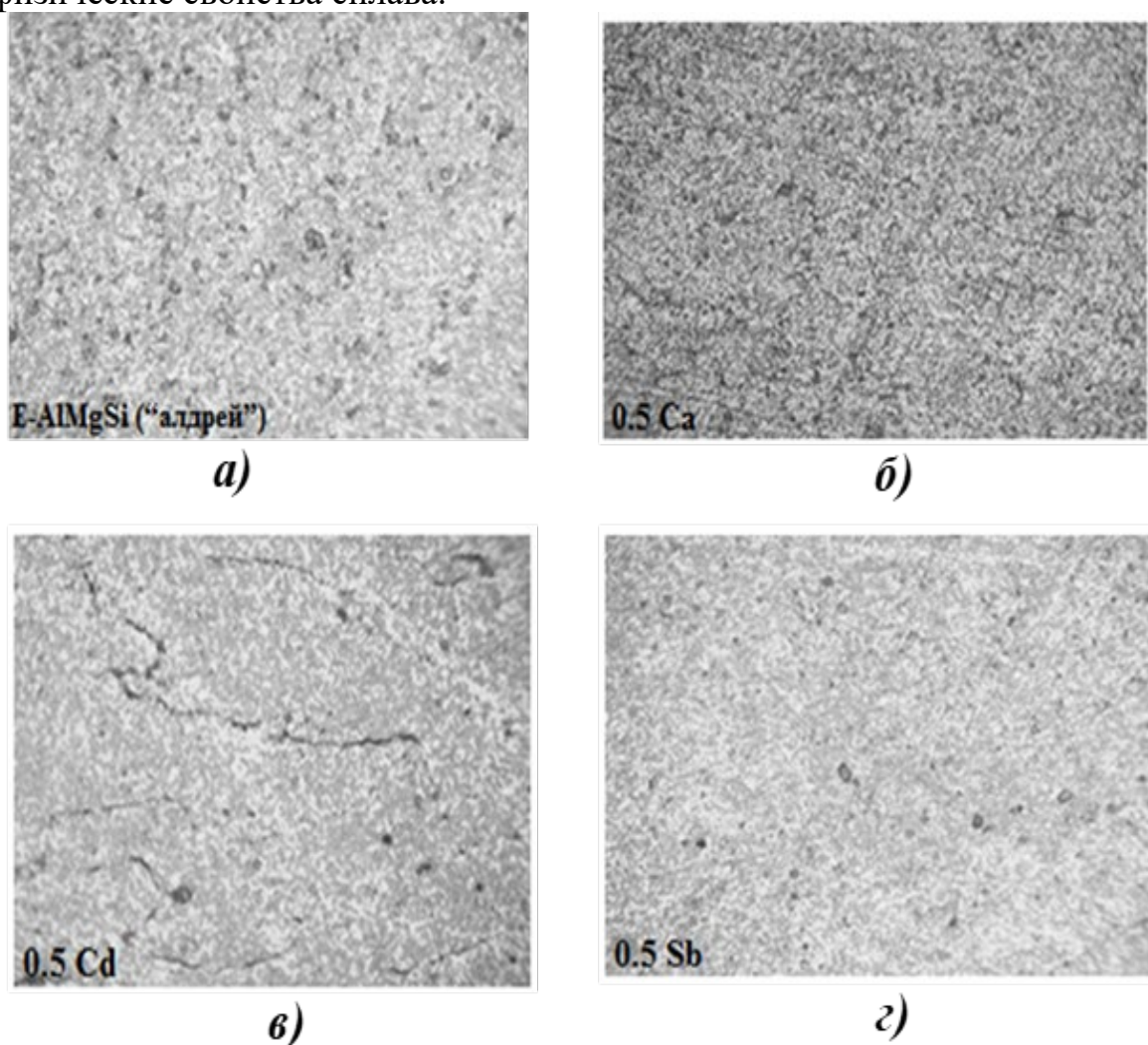


Рисунок 1 - Микроструктура (x40) электротехнического сплава E-AlMgSi (a) с 0,5 масс. % кальцием (б), кадмием (в) и сурьмой (г)

Одним из важнейших свойств материалов является твердость и прочность. Данные параметры непосредственно влияют на область применения деталей из данного сплава и также влияют на долговечность, выносливость, возможность использования в различных условиях применения и соответственно надежность.

Для определения твердости полученных сплавов был использован метод Бринелля, который широко используется и считается одним из точных методов определения твердости. Также преимущество данного метода в том, что, он не требует особых условий проведения испытания и возможно исследование сплавов различной формы и размеров. В таблице 1 приведены значения, полученные вследствие этих исследований. По результатам, приведенным в таблице видно, что при добавках до 0,5 масс. % кальция, кадмия или сурьмы твердость и определенная при помощи расчета значения прочности остаются на том же уровне что и у исходного материала.

Таблица 1 – Полные результаты проведенных тестов на твердость и прочность (расчетная) исходного сплава E-AlMgSi с Ca, Cd и Sb

Содержание кальция, кадмия и сурьмы в сплаве, масс. %	Твёрдость НВ, кгс/мм ²	Твёрдость НВ, МПа	Расчетная прочность, МПа
0,0	16,344	160,28	43,27
0,01Ca	16,237	159,23	43,00
0,05Ca	16,230	159,16	42,97
0,1Ca	16,268	159,53	43,07
0,5 Ca	16,257	159,42	43,04
0,01 Cd	16,260	159,45	43,05
0,05Cd	16,263	159,48	43,05
0,1Cd	16,215	159,014	42,93
0,5Cd	16,248	159,338	43,02
0,01Sb	16,234	159,201	42,98
0,05Sb	16,255	159,407	43,05
0,1Sb	16,27	159,554	43,07
0,5 Sb	16,297	159,818	43,15

Далее наше внимание было уделено изучению теплофизических характеристик легированного алюминиевого сплава. Для этих целей нами была выбрана установка схематическое изображение, которого приведено на рисунке 2. Данная установка широко опробирована и выдает результаты с высокой точностью измерения. Значение погрешности находится в пределах

от 4% и максимально может иметь значение не более 6%. Также это установка оборудована термопарой, которая имеет высокую точность и низкую погрешность измерений около 0,1 °С.

Полученные в следствии проведенных измерений данные были обработаны с помощью компьютерных программ для обобщения результатов и построения графиков (MS Excel, Sigma Plot).

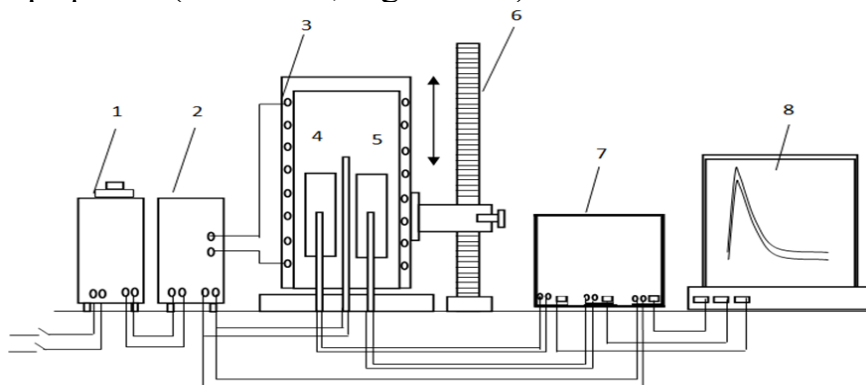


Рисунок 2 – Схематическое изображение установки, использованного для определения теплофизических характеристик исследуемых сплавов

Экспериментальные данные были использованы для определения корреляции между температурой образца и продолжительностью (рис. 1а).

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau} \quad (1)$$

тут a, b, p, k – постоянные, а τ - это продолжительность охлаждения.

Для этой величины можно получить скорость охлаждения, дифференцируя (1) на τ :

$$dT/d\tau = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (2)$$

Используя уравнение (2) были определены ход снижения температуры образцов из исследуемых сплавов. Эти значения переведены в графический вид на рисунке 3б.

Таблица 2 – Коэффициенты из 2-ой формулы необходимые для определения значений скоростей охлаждения для образцов из E-AlMgSi с Ca и эталона(A5N)

Содержание кальция в сплаве, мас. %	a, K	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	p, K	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$ab \cdot 10^{-1}, Kc^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}, Kc^{-1}$
0.0	165,61	4,46	314,72	2,27	7,38	7,14
0.01	165,46	4,46	315,59	2,32	7,38	7,31
0.05	165,46	4,74	315,49	2,32	7,38	7,37
0.1	159,23	4,73	315,69	2,32	7,38	7,31
0.5	159,23	4,73	316,19	2,31	7,38	7,31
Эталон	174,88	4,11	305,62	3,2	7,19	1,00

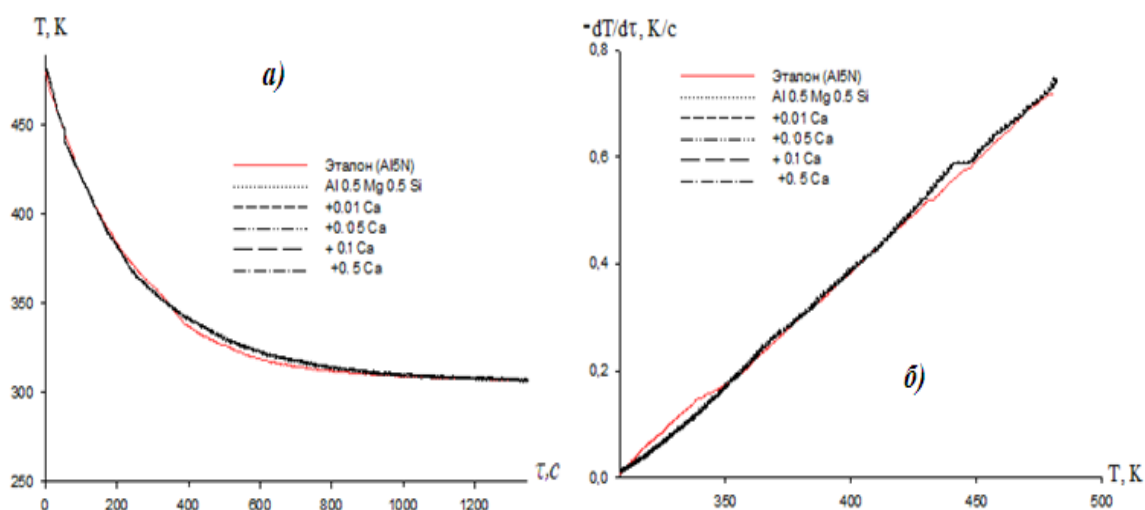


Рисунок 3 – Кривые зависимость: температура - время охлаждения (а); охлаждение - температура (б); для исследованных сплавов, содержащих добавки Са

Применяя уже известный метод для определения удельной теплоемкости исходного сплава, который содержит внутри металлический Са была использована приведенная ниже формула, но в данном случае мы также проводили корректировку оглядываясь на значения скоростей с которыми проходят охлаждения исследованные образцы.

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}. \quad (3)$$

В ходе проведения расчетов возникла необходимость в определении на сколько зависит теплоемкость от величины температуры. Поэтому была взята полиномиальная регрессия, вследствие образовалась формула, приведенная ниже:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Таблица 3 – Расчетные коэффициенты для расчетов (уравнение 4)

Содержание кальция в сплаве, мас. %	a , Дж/(кг·К)	b , Дж/(кг·К ²)	c , Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ⁴)	Коэффициент корреляции R ²
0.0	-10400,00	84,29	-0.2084	1.71	0.9925
0.01	-9093,58	74,00	-0,1821	1,49	0,9999
0.05	-9093,54	73,93	-0,1821	1,49	0,9984
0.1	-9143,96	74,22	-0,1824	1,49	0,9970
0.5	-9143,43	74,22	-0,1824	1,49	0,9978
Эталон	645.88	0.35	0.00	0.00	1.0

Используя (3) определили теплоемкость с периодичностью в 50К. По этим результатам построили графики на рисунке 4 (а) и заполнили таблицу 4.

По полученным в результате расчета значениям можно сказать что, теплоемкость при увеличении концентрации кальция уменьшается, а при увеличении температуры – увеличивается.

Экспериментальные результаты легированного кальцием алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей»), были получены путем исследования удельной теплоемкости и скорости охлаждения. Используя приведенную ниже формулу был определен коэффициент тепловой передачи, зависящий от температуры:

$$\alpha = \frac{C_p^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S} \quad (5)$$

На рисунке 4 б можно увидеть результаты измерения теплопередачи и её зависимость от изменения температур.

Таблица 4 – Удельная теплоемкость исследованного сплава E-AlMgSi от значения температуры и концентрации Ca и сравнение с эталоном

Содержания кальция в сплаве, мас%	Т, К				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.01	741,80	889,15	908,26	910,86	1008,72
0.05	735,68	882,01	900,09	901,67	998,50
0.1	731,31	880,06	889,07	900,07	994,83
0.5	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57

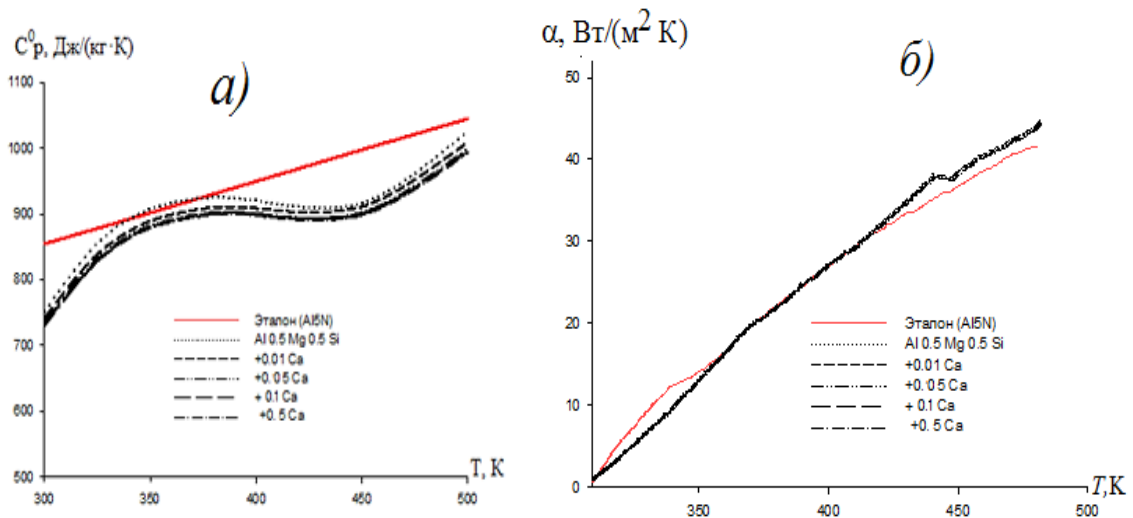


Рисунок 4 - Кривые а) температура- удельная теплоёмкость; и б) температура- коэффициент теплоотдачи; для алюминиевого сплава E-AlMgSi с кальцием различной концентрации и эталонного образца

Интегрируя имеющиеся значения по формуле (4) от удельной теплоемкости, вычислили изменения теплофизических функций с помощью формул (6) и (8).

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (7)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (8)$$

Значение $T_0 = 298,15\text{K}$.

Были рассчитаны используя уравнения (6)–(8), изменение таких параметров как энтальпия, энтропия и свободная энергия Гиббса сплава E-AlMgSi с кальцием в зависимости от температуры. Полученными значениями заполнена табл. 5.

Таблица 5 – Изменение основных теплофизических параметров с ростом массы добавки Ca, а также с увеличением температуры для сплава E-AlMgSi+Ca и эталона

Содержание кальция в сплаве, мас%	Т, К				
	300	350	400	450	500
	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов				
0.0	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2480
0.01	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2466
0.05	1,3561	42,7136	87,8881	133,3547	181,1382
0.1	1,3483	42,5050	87,3866	132,3243	179,2370
0.5	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов				
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.01	0,00453	0,1317	0,2523	0,3594	0,4600
0.05	0,00450	0,1311	0,2509	0,3567	0,4555
0.1	0,00450	0,1308	0,2504	0,3560	0,4544
0.5	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов				
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.01	-0,00419	-3,39812	-13,0562	-28,4015	-48,8891
0.05	-0,00416	-3,3810	-12,9889	-28,2344	-48,5457
0.1	-0,00415	-3,37229	-12,9578	-28,168	-48,4288
0.5	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

В таблице 6 приведены результаты, которые были нами получены и анализированы в результате исследования, и пришли к такому умозаключению что в случае добавления Ca, Sb и Cd к сплаву «алдрей» изменяется его теплоемкость и термодинамические параметры. По полученным результатам можно сделать вывод что содержание 0,5 % в массовом соотношении добавок вышеупомянутых металлов приводят к тому, что коэффициент тепловой отдачи, теплоемкость, энтальпия и энтропия изученных материалов от значения температуры увеличивается, а энергия Гиббса наоборот, снижается.

Таблица 6 – Изменение основных теплофизических параметров с ростом температуры для сплава E-AlMgSi с добавками Ca, Sb и Cd и эталона

Содержание легирующего компонента в сплаве мас. %	Т.К				
	300	350	400	450	500
	$C_{P,0}^0$, (Дж/(кг·К)) для сплавов				
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,0
0.5Ca	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
0.5Cd	729,39	876,24	893,85	893,95	988,31
0.5Sb	557,44	769,55	810,40	827,42	951,40
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,6
$[H^0(T)-H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
0.0	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799
0.5Ca	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
0.5Cd	1,3408	42,2530	86,8112	131,3465	177,7776
0.5Sb	1,3376	42,1045	86,4505	130,7819	177,0923
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
$[S^0(T)-S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов					
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.5Ca	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
0.5Cd	0,0045	0,1303	0,2493	0,3542	0,4520
0.5Sb	0,00450	0,1299	0,2483	0,3527	0,4502
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
$[G^0(T)-G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.5Ca	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
0.5Cd	-0,0041	-3,3614	-12,9095	-28,0497	-48,2069
0.5Sb	-0,0041	-3,3510	-12,8622	-27,9389	-48,0135
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi («алдрей»), ЛЕГИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, КАДМИЕМ И СУРЬМОЙ

Существуют множество методов, с помощью которых возможно исследовать механизм прохождения окисления металлов и сплавов. Все эти методы отличаются по технологии, по атмосфере в которой проходит исследование, по тому в какой фазе в твердом или жидком проводится исследование и так далее. Одним из методов которая дает полную информацию о таком важном процессе как окисление и широко опробирована учеными в данной сфере является термогравиметрический метод. С помощью этого метода часто проводятся исследования окислительного поведения как твердых, так и жидких металлов. Среди его преимуществ — относительно простая аппаратная конструкция, способная работать при температурах выше 1773 К.

В данной работе мы изучили кинетику окисления электротехнического сплава AlMgSi который был дополнительно модифицирован добавлением в него кальция в количестве 0.01; 0.05; 0.1; 0.5 масс. %.

На рисунках 5-8 и таблицах 7-9 показаны энергетические параметры и кинетика этих процессов. В течение первых 15-20 минут после запуска процесса и его фиксации, масса сплава стремительно увеличивается. После, процесс становится более стабильным по причине образования лимитирующего слоя вокруг исследуемого образца, который препятствует дальнейшему образованию оксида (рис. 5).

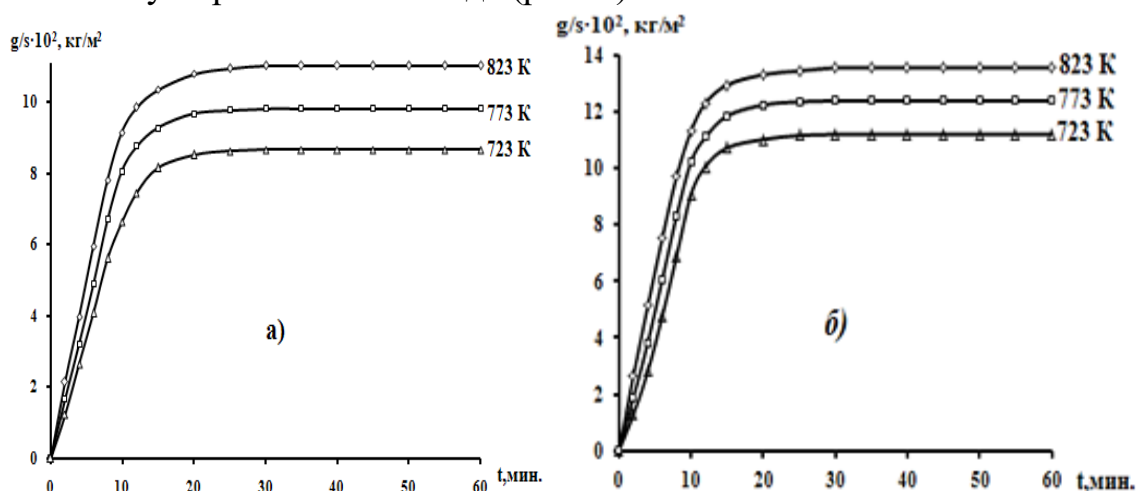


Рисунок 5 – Кривые хода окислительного процесса: а) E-AlMgSi б) E-AlMgSi + 0.01 % Ca

Так как энергия активации является важным фактором для определения вероятности прохождения взаимодействия нашего сплава в исследованной атмосфере и выявить закономерности изменения его величины были проведены расчеты по тангенсу уровня угла кривизны прямой зависимости - $\lg K - 1/T$. Согласно полученным результатам, это значение равняется 128,5 кДж/моль. Было выявлена прямая зависимость скорости окислительного

процесса. То есть чем выше температура в рабочей среде, тем интенсивнее идет окисление. Подробно об этой зависимости и ее значениях приведено в табл. 7.

Используя кривую скорости реакции, кажущееся время отклика сплава показано на рисунке 5б. При 823 К стабильное значение $3,31 \cdot 10^{-4}$ кг/м² достигается по мере увеличения удельного веса образца в течение длительного периода, равного 20 минутам. Скорость окисления сплава немного увеличивается с температурой и временем. Энергия, выделяющаяся в процессе окисления, указывает на то, что она имеет величину 124.1 кДж/моль (таблица 7). Быстрое охлаждение и уменьшение толщины оксидного слоя приводят к значительному снижению скорости окисления. Всего через 20 минут оксидная пленка начнет утолщаться и препятствовать окислению. Скорость окисления при 723 К составляет $2.81 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹, когда содержание кальция всего 0,5%, при температуре 823 она возрастает до $3.46 \cdot 10^{-4}$ кг · м⁻² · сек⁻¹. Определенная в ходе исследования необходимая энергия активации приведена в табл. 7 и она равна 104.9 кДж/моль.

Таблица 7 – Физико-химические параметры окислительного процесса сплава E-AlMgSi, и её изменение в зависимости от концентрации легирующего металла Са

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления К·10 ⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.01	723	2.69	124.1
	773	2.91	
	823	3.31	
0.05	723	2.73	119.5
	773	2.94	
	823	3.35	
0.1	723	2.77	112.6
	773	3.01	
	823	3.41	
0.5	723	2.81	104.9
	773	3.07	
	823	3.46	

Также можно подтвердить мысль о том, что при увеличении концентрации легирующего компонента, также увеличивается и окисляемость данного сплава (рис.б).

Доказательством того, что при более высоких температурах интенсивность окисления у сплавов с содержанием кальция увеличивается являются показатели, которые приведены на рис. 7.

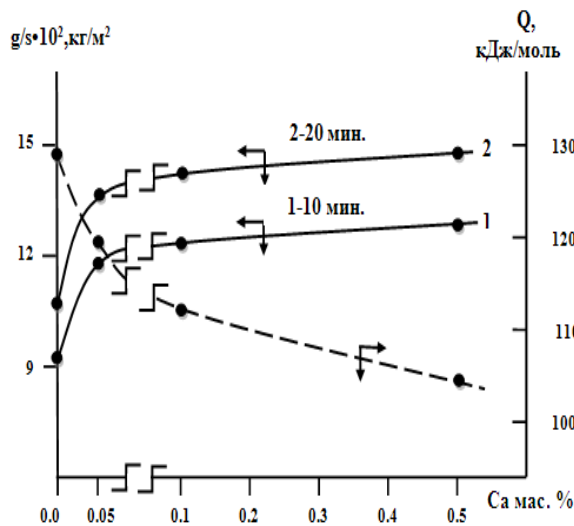


Рисунок 6 – График изохронн высокотемпературного твердофазного окисления алюминиевого сплава AlMgSi легированного кальцием.

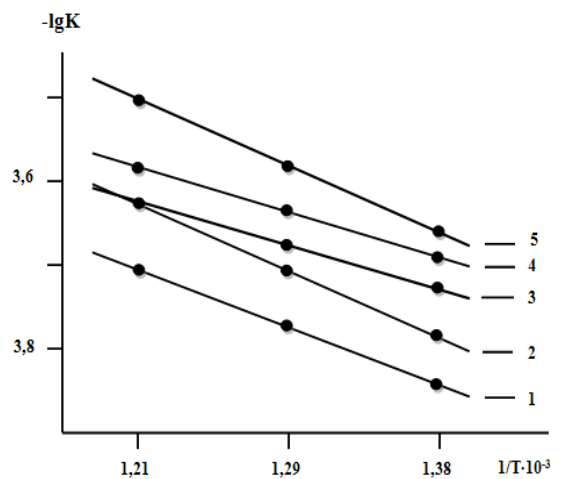


Рисунок 7 – Зависимость обратного логарифма К от 1/Т для исходного сплава (1) и с Ca, масс. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5)

Проводив математические действия, а именно расчитав квадрат от значения кинетических кривых с помощью формулы $(g/s)^2$ -т заполнили этими значениями таблицу 8 и построили графики зависимости на рисунке 8 для сплава E-AlMgSi добавки Ca в котором имеют разные значения (0.01-0.5масс%). Прорисовалась явная зависимость, которая согласуется с уравнением $y=K \cdot t^n$ и подтверждает гиперболический характер кривой т.к. n-в формуле изменяется в пределах 1-4.

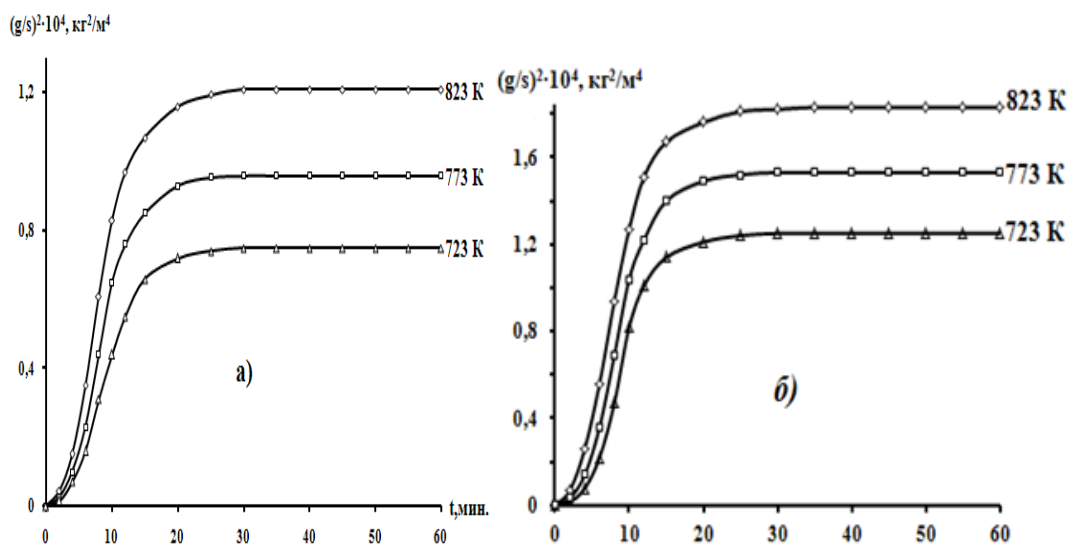


Рисунок 8 – Квадратированные кинетические кривые окисления с 0.01(б) масс. % кальцием, и исходный алюминиевый проводниковый сплав E-AlMgSi («алдрей») (а)

Таблица 8 – Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления в твердом виде, алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с добавками металлического Ca

Содержание кальция в сплаве, мас. %	Температура окисления, К	Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления сплавов	Коэффициент регрессии R ²
0.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0.01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,011x^2 + 1,000x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,057x^2 + 1,426x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,078x^2 + 1,719x$	0,994
0.05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,001x^3 - 0,046x^2 + 1,260x$	0,974
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,414x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,002x^3 - 0,088x^2 + 1,840x$	0,995
0.1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,016x^2 + 1,122x$	0,978
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,404x$	0,984
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,073x^2 + 1,770x$	0,991
0.5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,022x^2 + 1,214x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,047x^2 + 1,521x$	0,986
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,002x^3 - 0,087x^2 + 1,924x$	0,993

Исходя из проведенных расчетов и полученных данных в таблице 9 приведены значения представляющей энергию активации для процесса твердофазного окисления исследуемых сплавов. По значениям данной таблицы видно, что энергия активации у сплавов с добавлением сурьмы показывают наибольшее значение чем у других добавок.

Таблица 9 – Значения необходимой энергии активации процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой, в твердом состоянии

Содержание легирующих компонентов в сплаве, мас%	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
Кальций	128.5	124.1	119.5	112.6	104.9
Кадмий		119.9	114.2	107.0	99.5
Сурьмы		133.0	137.9	140.6	143.2

Проведя исследования синтезированных сплавов, с кадмием кальцием и сурьмой термогравиметрическим методом выявили следующее:

1. Скорость окисления исследованных сплавов имеет значения около $\sim 10^{-4}$ $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}$ и окисление проходит согласно гиперболическому закону;

2. Легированный кадмием сплав E-AlMgSi («алдрей») показал большую скорость окисления и размер привеса, а этот же сплав с добавками сурьмы относительно меньше.

ГЛАВА 4. АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi («алдрей»), ЛЕГИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, КАДМИЕМ И СУРЬМОЙ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

В данной части работы приведены результаты исследования электрохимического поведения проводникового сплава E-AlMgSi содержащий масс. %: Si - 0,5; Mg - 0,5 в растворе электролита хлорида натрия.

Для определения электрохимического поведения алюминиевого сплава с добавками кальция кадмия и сурьмы образцы устанавливали в электрохимическую ячейку и проводили исследование процесса поляризации от начального потенциала до максимального значения плотности тока образца. Далее проводили расчет величин потенциала хода свободного корродирования, на рисунке 9 можно увидеть это в виде кривой 1. Следом провели обратную поляризацию, которая представлена в виде 2-3 кривой. До момента, когда текущий потенциал равнялся -1.3В и образовавшаяся пленка, состоящая из оксидов металлов, растворялась. А после этого определили потенциал образования коррозионных точек проводив поляризацию, что показано на 4й кривой.

Данным методом создали линии полной поляризации и были зафиксированы ключевые величины и области значений электрохимического поведения сплавов.

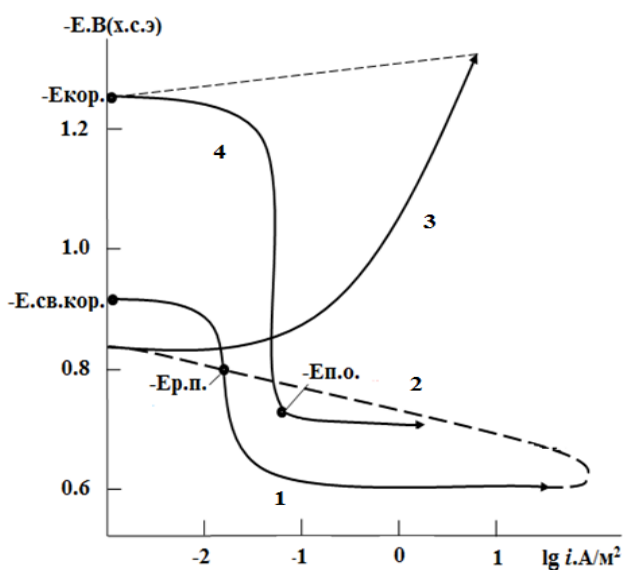


Рисунок 9 – Полная поляризационная картина процесса электрохимического изучения сплава E-AlMgSi

Известно, что основным параметром от которого зависит прохождение точечной коррозии для сплавов на основе алюминия это ионизация кислорода и ход реакции в роли катода. Поэтому величину тока коррозии рассчитывали, приняв значение наклона катодной кривой равную в 0.12В. В данном случае воспользовались уже известной формулой, для которой необходимо подставить значение «к» (электрохимический эквивалент), который имеет значение 0,335 г/А•час для сплавов на основе алюминия.

$$K = i_{кор.} \cdot K \quad (9)$$

Графики на рис. 10 создали, измерив скорость коррозии сплава E-AlMgSi содержащего дополнительно Ca в различной концентрации, в жидкой среде NaCl. Было замечено что, когда добавляем кальций в сплав, скорость его коррозии замедляется не зависимо от исследуемой среды. Только необходимо отметить что, чем больше содержится хлорид ионов в электролите, тем более скорость коррозии увеличивается (рисунок 11). Значения скорости коррозии, плотность тока коррозии в образцах из сплава E-AlMgSi+0,5Ca имеют самые меньшие показатели среди всех. Что с практической уверенностью дает нам констатировать тот факт, что среди всех изученных концентраций лигатур, сплав содержащий 0,5% Ca и есть самый стойкий к влиянию окружающей среды.

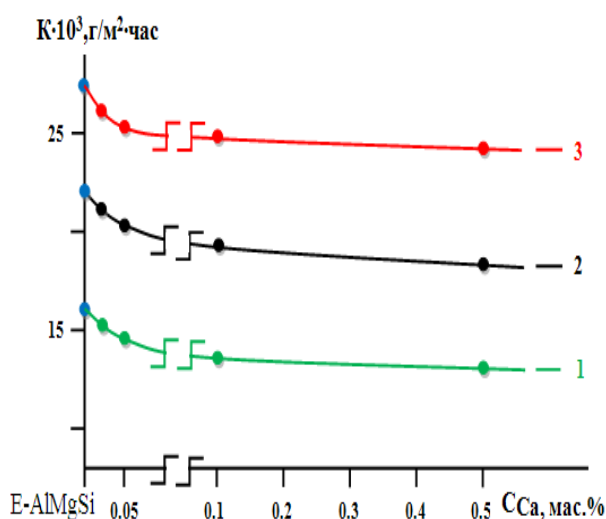


Рисунок 10 - Зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») от концентрации Ca. 1 - 0,03%; 2 - 0,3%; 3 - 3,0%, среда электролита NaCl.

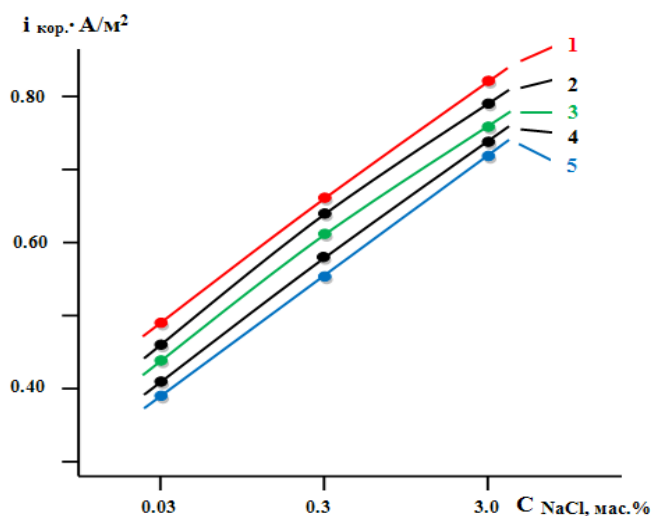


Рисунок 11 - Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») (1), содержащего кальций, масс. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5) от концентрации NaCl.

Коррозионные эксперименты на кальцийсодержащем E-AlMgSi в сернистом электролите NaCl дают общие результаты, представленные в 10-ой

таблице. Анализируя эти данные, можно констатировать то что при исследовании в жидкой среде NaCl, такие показатели как $E_{св.кор.}$, $E_{р.п.}$, $E_{п.о.}$, $E_{кор}$ увеличиваются при добавлении Ca от 0.01 до 0.5 массовых процентов, а стойкость к питтинговой коррозии становится выше чем у исходного сплава.

Таблица 10 – Электрохимические показатели изученного сплава E-AlMgSi + Ca в среде хлорида натрия

Среда NaCl	Содержание кальция в сплаве мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{рп.}$	$i_{кор.}$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·час
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,850	1,088	0,590	0,715	0,046	15,41
	0.05	0,842	1,072	0,578	0,715	0,044	14,74
	0.1	0,830	1,055	0,566	0,710	0,041	13,73
	0.5	0,822	1,040	0,552	0,707	0,039	13,06
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,878	1,169	0,664	0,760	0,064	21,44
	0.05	0,870	1,152	0,656	0,754	0,061	20,43
	0.1	0,863	1,137	0,647	0,750	0,058	19,43
	0.5	0,852	1,124	0,640	0,750	0,055	18,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,910	1,230	0,724	0,785	0,079	26,46
	0.05	0,900	1,228	0,718	0,780	0,076	25,46
	0.1	0,894	1,216	0,710	0,780	0,074	24,71
	0.5	0,883	1,205	0,700	0,770	0,072	24,12

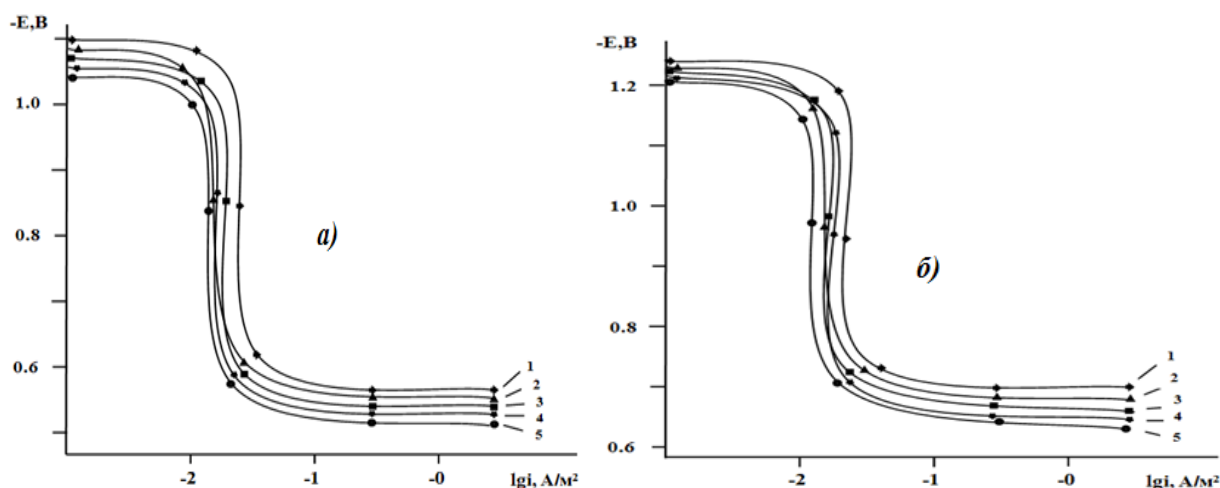


Рисунок 12 - Анодные поляризационные кривые, полученные в электролитической среде а)-0.03% б)-3% NaCl, для образцов из сплавов на основе E-AlMgSi (1) которые содержат в своем составе кальций, масс. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5)

Как можно заметить из рисунка 12 электрохимические потенциалы перемещаются в сторону положительных значений с увеличением содержания кальция, как это видно из кривых. Это свидетельствует об уменьшении скорости анодного растворения исследуемых сплавов.

В таблицах 11 и 12 представлены сводные данные по анодному поведению E-AlMgSi, в который дополнительно введен кальций, кадмий и сурьма. По полученным значениям можно утверждать, что коррозионная стойкость сплавов увеличивается при добавлении упомянутых металлов. Как было нами до этого сказано, если посмотреть на значения потенциала свободной коррозии, то в электролитах с меньшим содержанием хлорида она больше и с ростом концентрации хлоридов — это значение уменьшается. Чем больше величина добавок лигатуры, тем больше становится потенциал, то есть вероятность образования питтинговой коррозии и репассивации, в использованных для изучения средах. Согласно таблице 11, вероятность свободной коррозии и питтинговой коррозии становится незначительно, но выше, если смотреть от сплавов, содержащих кальций, к сплавам, содержащим кадмий и сурьму.

Таблица 11 – Величины свободной коррозии и образования питтингов для исследованного сплава с добавками Ca, Sb, Cd

Среда NaCl	Содержание Ca, Cd и Sb в сплаве	Сплавы с кальцием		Сплавы с кадмием		Сплавы с сурьмой	
		-E _{св.корр.}	-E _{п.о.}	-E _{св.корр.}	-E _{п.о.}	-E _{св.корр.}	-E _{п.о.}
мас. %							
0.03	-	0,860	0,600	0,860	0,600	0,860	0,600
	0.01	0,850	0,590	0,840	0,584	0,830	0,576
	0.05	0,842	0,578	0,832	0,572	0,822	0,564
	0.1	0,830	0,566	0,823	0,560	0,815	0,552
	0.5	0,822	0,557	0,815	0,547	0,808	0,540
0.3	-	0,890	0,680	0,890	0,680	0,890	0,680
	0.01	0,878	0,664	0,868	0,658	0,857	0,650
	0.05	0,870	0,656	0,860	0,646	0,848	0,635
	0.1	0,863	0,647	0,853	0,638	0,840	0,626
	0.5	0,852	0,640	0,844	0,630	0,833	0,616
3.0	-	0,919	0,735	0,919	0,735	0,919	0,735
	0.01	0,910	0,724	0,885	0,716	0,872	0,709
	0.05	0,900	0,718	0,878	0,708	0,864	0,698
	0.1	0,894	0,710	0,870	0,700	0,856	0,686
	0.5	0,883	0,700	0,862	0,692	0,844	0,677

Увеличение концентрации хлоридов в среде приводит к тому что интенсивность прохождения реакции увеличивается и скорость реакции становится выше, как и плотность тока сплава E-AlMgSi с добавками Ca, Sb и Cd. Во всех сплавах, которые были изучены, не зависимо от их свойств и состава можно заметить одинаковую зависимость. Согласно данным приведенным в 12 таблице, если перейти от сплава с добавками кальция к сплавам с кадмием и сурьмой можно заметить уменьшение интенсивности процесса коррозии. При проведении исследований в среде хлорида натрия, было замечено что при добавлении кальция кадмия и сурьмы в пределах 0.5 масс. % устойчивость сплавов к электрохимической коррозии улучшается примерно на 30-40 процентов.

Таблица 12 – Скорость коррозии и плотность тока сплава E-AlMgSi и их зависимость от концентрации в них добавок кальция кадмия и сурьмы

Среда NaCl	Содержание Ca, Cd и Sb в сплаве	Скорость коррозии					
		сплавов с кальцием		сплавов с кадмием		сплавов с сурьмой	
		$i_{корр} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч	$i_{корр} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч	$i_{корр} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч
	мас.%						
0.03	-	0,049	16,41	0,049	16,41	0,049	16,41
	0.01	0,046	15,41	0,044	14,74	0,043	14,40
	0.05	0,044	14,74	0,041	13,73	0,040	13,40
	0.1	0,041	13,73	0,039	13,06	0,038	12,73
	0.5	0,039	13,06	0,037	12,40	0,035	11,72
0.3	-	0,066	22,11	0,066	22,11	0,066	22,11
	0.01	0,064	21,44	0,062	20,77	0,061	20,43
	0.05	0,061	20,43	0,059	19,76	0,058	19,43
	0.1	0,058	19,43	0,056	18,76	0,055	18,42
	0.5	0,055	18,42	0,053	17,75	0,052	17,42
3.0	-	0,082	27,47	0,082	27,47	0,082	27,47
	0.01	0,079	26,46	0,077	25,79	0,076	25,46
	0.05	0,076	25,46	0,075	25,12	0,074	24,79
	0.1	0,074	24,71	0,073	24,45	0,072	24,12
	0.5	0,072	24,12	0,070	23,45	0,069	23,11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Включение соединений кальция, кадмия и сурьмы в состав E-AlMgSi («алдрей») оценивалось на предмет его способности повышать как твердость, так и прочность сплава. Значения твердости и прочности сплавов «алдрей» остаются постоянными при увеличении количества легирующих элементов. Добавка кальция, кадмия и сурьмы до 0,5% по массе привела к структурному

измельчению исходного сплава E-AlMgSi («алдрей»), как показали металлографические исследования.

2. Алюминиевый проводящий сплав E-AlMgSi («алдрей»), содержащий дополнительно кальций, кадмий и сурьму, был исследован в «режиме охлаждения» для определения зависимости теплоемкости от температуры. Было определено, что чем больше содержание указанных добавок в сплаве, тем меньше теплоемкость данных сплавов, но при росте температуры растет.

3. Исследовав теплофизику синтезированных сплавов на калиброванных аппаратах и проводив расчеты, нами был замечен закономерный рост энтропии и энтальпии во время роста температуры в системе, но параллельно с этим наблюдалось сокращение энергии Гиббса. Также, замечено снижение энтропии и энтальпии легированного Cd сплава E-AlMgSi. У сплавов с сурьмой еще ниже, меньше, чем у сплавов с кальцием [7, 13, 15, 17, 18, 19-А].

4. Была проведена работа по исследованию кинетики твердофазного окисления сплава E-AlMgSi и сплавов на его основе с добавками Ca, Cd и Sb. В результате расчетов и анализа полученных результатов пришли к выводу что кинетика идет согласно гиперболическому закону. Также было определено, что окисление идет со скоростью $3.46 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$; Исходя из полученных данных и закономерностей был выявлен состав сплавов у которого процесс окисления имеет наименьшее значение. Это сплавы, содержащие в своем составе дополнительное количество сурьмы, а наиболее быстры процесс окисления у сплавов с кальцием [2, 3, 5, 6, 12, 14, 13-А].

5. Были проведены исследования электрохимического проявления свойств сплава E-AlMgSi, содержащего дополнительные компоненты Ca, Cd и Sb. Было замечено положительное влияние добавок на коррозионную стойкость, а именно полученные сплавы стали на 30-40% более стойкими к коррозии что было определено при проведении исследований в лаборатории в среде электролита NaCl. Определена прямая зависимость скорость коррозии и содержание хлорид ионов в среде. Т.е. чем больше содержание NaCl в жидкой среде, тем соответственно выше скорость коррозии. Также замечен смещение ключевых электрохимических показателей (потенциалов) в более отрицательную область значений [1, 4, 9, 10, 11-А].

6. Проведенные исследования стали базой для регистрации авторского права на составы сплавов, в национальном патентно информационном центре Республики Таджикистан под регистрационным номером №ТJ 1220 [8-А].

Практические рекомендации по реализации результатов.

1. Синтезированные в результате исследования сплавы могут применяться в электротехнической сфере, в качестве материалов для изготовления кабелей электропередач.

2. Полученные в результате исследования данные физико-химических, эксплуатационных свойств могут быть внесены в отраслевые справочники.

3. Основываясь на проведенных опытах, было решено предложить результаты исследования для применения в промышленных предприятиях Республики Таджикистан.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте республики Таджикистана, а также в журналах, входящих в перечень Scopus и Web of Science

[1-А]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 4. С. 267—274. (SCOPUS - Q3)

Effect of calcium doping on the anodic behavior of E-AlMgSi (Aldrey) conducting aluminum alloy in NaCl electrolyte medium / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, E.J. Kholov, N.I. Ganieva / Modern Electronic Materials. 2023; 9(1): P.33–38. (SCOPUS - Q3).

[2-А]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, В.Д. Абулхаев // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 2. -С. 131—137. (SCOPUS - Q3).

E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy solid state cadmium oxidation kinetics / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, E.J. Kholov, N.I. Ganieva, V.D. Abulkhaev // Modern Electronic Materials. 2022; 8(2): -P.79–83. (SCOPUS - Q3).

[3-А]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («Алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой в твердом состоянии./ Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2024. № 2, С. 72-85.

[4-А]. **Холов, Ё.Дж.** Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, И.Т. Амонзода, Х.М. Ходжаназаров // Практика противокоррозионной защиты. 2023, Т.8, №4, С. 22-29.

[5-А]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и тех. наук. 2021. №1 (182). С. 75-81.

[6-А]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. Душанбе – 2021. - №1(10-11). –С.134-136.

[7-А]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на теплоемкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi

(«алдрей») / Ё.Дж. Холов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. - 2022. - №2/2(99). - С.77-82.

Изобретения по теме диссертации

[8-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1220. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Ё.Дж. Холов, Ф.А. Алиев, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, А.Р. Рашидов, Ф.С. Давлатзода, А.П. Абдулаков. / №2101517; заяв. 12.03.2021г., опубл. 14.12.2021г.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[9-А]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в среде электролита 0,3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, У.Н. Фазуллоев // Мат. Респ. научно-практ. конф., посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук, «Актуальные вопросы естественных наук и технологий».-Душанбе: РТСУ, 2020. С. 76-78.

[10-А]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научной конф. «Инновационное развитие науки». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2020.- С. 170-172.

[11-А]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с сурьмой в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Развитие энергетики и возможности».- ИЭТ, г. Бохтар, 2020.- С. 388-390.

[12-А]. Холов, Ё.Дж. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, А.Дж. Амиров // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики РТ: состояние, проблемы и перспективы».- МИСиС, г. Душанбе, 2020. - С. 356-359.

[13-А]. Холов, Ё.Дж. Влияние сурьмы на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан». - Душанбе: ТТУ, 2021. –С.90-95.

[14-А]. Холов, Ё.Дж. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-практ. конф. XVI Нумановские чтения «Достижения химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан», посвященной 75 – летию Института химии имени В.И.

Никитина и 40 – летию лаборатории «Коррозионостойкие материалы». - Душанбе, 2021. -С. 99-102.

[15-А]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние кальция на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев // Респ. научно-прак. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2021.- С. 96-99.

[16-А]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, А.М. Сафаров, Н.И. Ганиева // Мат. межд. научной конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан» Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (г. Душанбе, 22 декабря). 2023. -С. 76-80.

[17-А]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на изменение термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов // Мат. Межд. научно-прак. конф. «XII Ломоносовские чтения», посвященной Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. ЧАСТЬ I. Естественные науки. -Душанбе, 2022. -С.133-135.

[18-А]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кадмия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (« алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-прак. конф. XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». - Душанбе, 2022. -С. 115-117.

[19-А]. **Холов, Ё.Дж.** Исследование физико-химических свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров // Матер. межд. научно-терет. конф. «Значение изучения естественных, точных и математических наук в развитии медицинской технологии», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере образования», (18 март 2024 года). Технический колледж технического университета Таджикистана имени академика М.Осими. -Душанбе, -С. 233-241.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Холова Ёрмахмада Джомахмадовича на тему «Физико-химические свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.02.01 –
Материаловедение (05.02.01.02-в машиностроение)

Целью диссертационной работы является механических, установление термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой, предназначенного для нужд электротехнических отраслей промышленности.

В Основное назначение сплава («алдрей») это изготовление проводов для линий электропередач. Термическая обработка его состоит в том, что прессованную или катаную заготовку закаливают в воде с 510—550°С, затем протягивают и подвергают искусственному старению при 140—180° С. Высокая прочность проводов из «алдрея» позволяет увеличить размеры пролетов воздушных линий электропередач. Высокая твердость «алдрея» способствует уменьшению количества повреждений проводов при монтаже. «Алдрей» значительно лучше, чем алюминий, выдерживает токи короткого замыкания. Начало потери прочности у проволоки из «алдрея» лежит около 180—200° С. Предел вибрационной усталости у «алдрея» в 1,5 раза выше, чем у алюминия. По сопротивлению действию дуги, возникающей при коротком замыкании проводов, провода из «алдрея» стоят на втором месте после медных и значительно устойчивее проводов из алюминия.

На основе экспериментальных исследований были установлены математические модели тепловых зависимостей теплопроводности, коэффициента теплопроводности, термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой. Исследованы закономерности процесса высокотемпературного окисления тройных твердых сплавов E-AlMgSi + (Ca, Cd и Sb) в атмосфере воздуха. Определено влияние кальция, кадмия и сурьмы на твердость и прочность сплава E-AlMgSi («алдрей»), также проведен микроструктурный анализ состава сплавов. Установлены закономерности изменения анодных характеристик алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») от содержания кальция, кадмия и сурьмой в электролитной среде NaCl.

Диссертация включает введение, 4 главы, выводов, списка использованной литературы, состоящий из 120 наименований и приложений. Диссертация представлена на 173 компьютерных страницах, включает 51 таблиц и 85 рисунков.

Публикации: По результатам исследования опубликовано 18 научных работ, из них 7 в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте

Республики Таджикистан, 11 статей в сборниках международных и республиканских конференций, а также получен 1 малый патент Республики Таджикистан.

Ключевые слова: алюминевый проводниковый сплав E-AlMgSi («алдрей»), кальций, кадмий, сурьма, коэффициент теплоотдачи, теплоемкость, термодинамические функции, термогравиметрический метод, кинетика окисления, истинная скорость окисления, энергия активации, твердость, прочность, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, питтингообразования, репассивации, скорость коррозии, микроструктура сплавов.

АННОТАЦИЯ

ба рисолаи Холов Ёрмаҳмад Чомаҳмадович дар мавзӯи «Хусусиятҳои физикӣ ва химиявии ҳӯлаи ноқилҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма», барои дарёфти унвони илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосҳои 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02- дар муҳандисии мошинсозӣ)

Мақсади кори диссертатсия механикӣ, муайян кардани хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии ҳӯлаи ноқилҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма, ки барои эҳтиёҷоти саноати электротехники пешбинӣ шудааст.

Мақсади асосии ҳӯлаи («алдрей») истехсоли симҳо барои хатҳои барқ мебошад. Табобати гармии он аз хомӯш кардани пресси прессшуда ё печонидашуда дар об дар ҳарорати 510–550°C, сипас дароз кардани он ва ба пиршавии сунӣ дар 140–180°C гузаронидан иборат аст. Баландии симҳои «алдрей» имкон медиҳад, ки дарозии хатҳои электрии ҳавой зиёд карда шавад. Сахтии баланди «алдрей» барои кам кардани зарари симҳо ҳангоми насб кӯмак мекунад. «Алдрей» ба ҷараёнҳои ноқилҳои кӯтоҳ нисбат ба алюминий хеле беҳтар тоб меорад. Оғози аз даст додани қувват барои сими «алдрей» тақрибан 180-200° С аст. Маҳдудияти ҳастагии ларзиши «алдрей» нисбат ба алюминий 1,5 маротиба зиёдтар аст. Аз ҷиҳати муқовимат ба таъсири камон, ки ҳангоми кӯтоҳи ноқилҳо ба амал меояд, симҳои «алдрей» пас аз мис дар ҷои дуҷум қарор доранд ва нисбат ба симҳои алюминий хеле устувортаранд.

Дар асоси тадқиқотҳои таҷрибавӣ моделҳои математикии вобастагии гармии гармӣ, коэффисиенти гармигузаронӣ, функцияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) ҳӯлаи ноқилҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма муқаррар карда шуданд. Конуниятҳои процесси дар ҳарорати баланд оксидшавии ҳӯлаҳои сахти сечонибаи E-AlMgSi+ (Ca, Cd ва Sb) дар атмосфераи ҳаво омӯхта шудаанд.

Таъсири калсий, кадмий ва сурма ба сахтӣ ва устувории ҳӯлаи E-AlMgSi («алдрей») муайян карда, инчунин таҳлили микроструктураи таркиби ҳӯлаҳо гузаронида шуд. Тартиби тағйирёбии характеристикаҳои анодикии ҳӯлаи

ноқили алюминийи E- AlMgSi («алдрей») вобаста ба таркиби калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролитии NaCl муқаррар карда шудааст.

Рисола аз муқаддима, 4 боб, хулоса, рӯйхати адабиёти истифодашуда, аз 120 ном ва замима иборат аст. Рисола дар 173 саҳифаи компютерӣ пешниҳод шудааст, ки аз 51 ҷадвал ва 85 расм иборат аст.

Нашрияҳо: Аз рӯи натиҷаҳои тадқиқот 18 мақолаи илмӣ, аз ҷумла 7-тоаш дар маҷаллаҳои тавсиякардаи Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, 11 мақола дар маҷмӯаҳои конференсияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ ва 1 адад патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба таъб расидааст.

Калидвожаҳо: хӯлаи ноқилҳои алюминий E- AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма, коэффисиенти гармӣ, қобилияти гармӣ, функцияҳои термодинамикӣ, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, суръати воқеии оксидшавӣ, энергияи ғайбшавӣ, сахтӣ, қувват, усули потенциостатикӣ, потенциалҳои озод зангзанӣ, чуқурӣ, репасиватсия, суръати зангзанӣ, микроструктураи хӯлаҳо.

ANNOTATION

to the dissertation of Kholov Yormahmad Dzhomahmadovich on the topic «Physical and chemical properties of the aluminum conductor alloy E- AlMgSi («ALDREY») with calcium, cadmium and antimony», for the degree of candidate of technical sciences in specialties 05.02.01 – Materials Science (05.02.01.02- in mechanical engineering)

The purpose of the dissertation work is the mechanical, thermodynamic, kinetic and anodic properties of the aluminum conductor alloy E- AlMgSi («aldrey») with calcium, cadmium and antimony, intended for the needs of electrical industries.

The main purpose of the alloy («aldrey») is the manufacture of wires for power lines. Its heat treatment consists of quenching a pressed or rolled billet in water at 510–550°C, then stretching it and subjecting it to artificial aging at 140–180°C. The high strength of «Aldrey» wires makes it possible to increase the span size of overhead power lines. The high hardness of «Aldrey» helps reduce the amount of damage to wires during installation. «Aldrey» withstands short circuit currents much better than aluminum. The beginning of strength loss for «aldrey» wire lies around 180-200° C. The vibration fatigue limit of «aldrey» is 1.5 times higher than that of aluminum. In terms of resistance to the action of an arc that occurs when wires are short-circuited, «aldrey» wires are in second place after copper and are much more stable than aluminum wires. Based on experimental studies, mathematical models of the thermal dependences of thermal conductivity, thermal conductivity coefficient, thermodynamic functions (enthalpy, entropy, Gibbs energy) of the aluminum conductor alloy E- AlMgSi («aldrey») with calcium, cadmium and antimony were established. The regularities of the process of high-temperature oxidation of ternary hard alloys E- AlMgSi + (Ca, Cd and Sb) in an air

atmosphere have been studied. The influence of calcium, cadmium and antimony on the hardness and strength of the E-AlMgSi («aldrey») alloy was determined, and a microstructural analysis of the composition of the alloys was also carried out. The patterns of changes in the anodic characteristics of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi («aldrey») depending on the content of calcium, cadmium and antimony in the NaCl electrolyte medium have been established.

The dissertation includes an introduction, four chapters, conclusions, a list of used literature, consisting of 120 titles and appendices. The dissertation is presented on 173 computer pages, includes 51 tables and 85 figures.

Publications: Based on the results of the study, 18 scientific papers were published, 7 of them in journals recommended by the Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Tajikistan, 11 articles in collections of international and republican conferences, and 1 small patent of the Republic of Tajikistan was received.

Key words: aluminum conductor alloy E-AlMgSi («aldrey»), calcium, cadmium, antimony, heat transfer coefficient, heat capacity, thermodynamic functions, thermogravimetric method, oxidation kinetics, true oxidation rate, activation energy, hardness, strength, potentiostatic method, potentials free corrosion, pitting, reppasivation, corrosion rate, microstructure of alloys.

Сдано в печать “_____” “_____” 2024 г.
Подписано в печать “_____” “_____” 2024 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Тираж 100 экз
Отпечатано в типографии
ООО “Сармад-Компания”
г. Душанбе, ул. Лахути 6, 1 проезд