

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

**ВБД 615.011.4-034.89:546.62  
ББК 34.303.2**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



**ФАЙЗУЛОЕВ Рустам Чалилович**

**ТАЪСИРИ МЕТАЛҲОИ ИШҚОРЗАМИНӢ БА ХОСИЯТҲОИ  
ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВӢ ВА МЕХАНИКИИ ХӮЛАИ НОҚИЛИ  
АЛЮМИНИЙИ АГt0.1**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

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

ДУШАНБЕ – 2025

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

**Роҳбари илмӣ:**

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

**Муқарризони расмӣ:**

**Мабатқадамзода Кимё Сабзқадам** - доктори илмҳои химия, дотсент, дотсенти кафедраи «Химияи ғайриорганикӣ», Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

**Муҳаббатов Хушнуд Қурбонovich** - номзоди илмҳои техникӣ, дотсент, дотсенти кафедраи «Физикаи эксперименталӣ», Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни

**Муассисаи пешбар:**

Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав

Ҳимояи диссертатсия «15» майи соли 2025, соати «9<sup>00</sup>» дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6Д.КОА-028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғи 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад.  
E-mail: adliya69@mail.ru

Бо матни диссертатсия ва автореферат дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон: [www.ttu.tj](http://www.ttu.tj) ба номи академик М.С. Осимӣ шинос шудан мумкин аст.

Автореферат санаи «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 фиристода шуд.

Котиби илмии  
Шурои диссертатсионӣ,  
номзоди илмҳои техникӣ,  
дотсент



Бабаева А.Ҳ.

## МУҚАДДИМА

**Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот** Аз сабаби он, ки алюминий метали сабук, хосияти ҷараёнгузаронии хуб, устувории баланд ба зангзаниро дораду, бо осони коркард карда мешавад, алюминий ва як қатор хӯлаҳо дар асоси он дар электротехника ҳамчун ивазкунандаи масолеҳҳои ноқилҳои гаронбаҳои мисӣ, васеъ истифода менамоянд.

Алюминий дар электротехника хеле барвақт маълум аст. Аммо то имрӯз соҳаи истифода бурдани алюминий дар хатҳои интиқоли барқ ва дар баъзан мавридҳо дар кабелҳои қуввагӣ маҳдуд карда мешуд. Дар саноати ноқилбарорӣ мис ва сурб бартарӣ доштанд. Конструксияҳои элементҳои торҳои гузаронандаи кабелӣ аз мис ва рӯйпушҳои металлиаш аз сурб ё хӯлаҳо дар асоси сурб сохта мешуданд.

Дар тӯли даҳсолаҳо (рӯйпушҳои сурб барои муҳофизати ноқилҳои кабелӣ бори аввал соли 1851 пешниҳод шуда буданд), сурб ягона маводи металлӣ барои рӯйпуши кабелҳои истифода бурда мешуд. Он дар ин нақш бо назардошти камбудии зерин: зичии баланд, мустаҳкамии паст ва камбӯи хело хуб истифода мегардид, вале муҳаққон маҷбур шуданд, ки барои ҷустуҷӯи металл дигаре, ки тавонанд ба таври кофӣ сурбро иваз намояд, корҳои илмӣ тадқиқотӣ гузаронанд. Маълум шуд, ки он алюминий аст. Оғози истифодаи алюминий дар ин нақш аз соли 1939 сурат гирифт, вале саршавии корҳо ба соли 1928 рост меоянд. Аммо тағйиротҳои ҷиддӣ оид ба истифодаи алюминий дар технологияи ноқилбарорӣ дар соли 1948 ҳангоми коркард ва азхудкунии технологияи истеҳсоли рӯйпушҳои алюминий ба амал омад.

Мис низ дар тӯли даҳсолаҳои зиёд ягона металл барои истеҳсоли торҳои ноқилҳо буд. Тадқиқотҳо оид ба маводҳои, ки метавонанд мисро иваз кунанд, нишон доданд, ки чунин металл метавонад алюминий бошад. Ҳамин тариқ, бо иваз намудани ду металл аз руи таъинот гуногун буда, алюминий ба технологияи кабелӣ ворид шуд. Ин ивазкунӣ як қатор афзалиятҳо дорад. Аввалан, имконияти истифодаи рӯйпуши алюминий ба сифати ноқили сифрӣ - ин сарфаи металл ва кам кардани вазн мебошад. Дуюм, мустаҳкамии баландтар. Сеюм, насбро осон, хароҷоти нақлиёт ва арзиши кабел ва ғайраро кам мекунад.

Ноқилҳои аз алюминий сохташударо барои хатҳои интиқоли барқии ҳавоӣ истифода мекунанд. Аммо бисёр саъю кӯшиш ва вақти зиёдро барои иваз кардан талаб мекунад. Намудҳои зиёде коркард шудаанд, ки онҳо вобаста аз вазъияти мушаххас истифода мешаванд. Ноқилҳои алюминийи дорой мустаҳкамӣ баланд ва муқовимати зиёд ба печиш, тавассути ҷавҳаронидан бо магний, силитсий ва оҳан ҳосил карда мешаванд.

Ҳамчунин ноқилҳои, ки аз алюминий ва пӯлод сохта шудаанд, барои гузаронидани хатҳои тӯлонӣ, ки бисёр монетаҳои мегузаранд, истифода бурда мешаванд. Баъзе вақт масофаи симчубҳои ин ноқилҳоро нигоҳдоранда аз байни дарёҳо мегузаранд ва то масофаи 1500 метрро

ташкил медиҳанд. Дар айни замон аз ноқилҳо талаб карда мешавад, ки онҳо қувваи баланди барқгузаронӣ дошта, ҳамчунин мустаҳкамии зиёдро доро бошанд, ки ҳатто ҳангоми гарм кардан то ҳароратҳои 150–350 °С коршоямии худро гум накунад.

Камбудии дигари ноқилҳои аз алюминий сохташуда ин устувории паст, хусусиятҳои мустаҳкамии онҳо бо таъсири ҳарорат мебошад. Одатан, баланд бардоштани устувории ноқилҳо ба гармӣ, тавассути ба алюминий ворид кардани метали гузаранда ба монанди сирконий ба даст оварда мешавад, ки пас аз коркарди махсус бо гармӣ дар матритса дисперсоидҳои  $Al_3Zr$ , микроструктураи устувор ба вучуд омада, дар натиҷаи баландшавии ҳарорати кори то 230 °С хосиятҳои механикӣ устувор мешаванд.

Бо ҳамин сабаб, ба даст овардани хӯлаҳои нав дар асоси алюминий, ки хосиятҳои хуби электрогузаронӣ, мустаҳкамии баланд ва тобовари ба гармиро нишон диҳанд, вазифаи хеле таъхирнопазирии масолаҳои муосир мебошад. Корҳое, ки ҳоло анҷом дода мешаванд, барои баланд бардоштани мустаҳкамӣ ва устувории ноқилҳо ба гармӣ, тавассути тағйир додани таркиби химиявӣ бо металлҳои гузаранда ва нодири заминӣ, ҳамзамон бо истифодаи 7 усули коркарди деформатсияи термикӣ (КДТ) амалӣ карда мешавад.

Дар вақти мутолиаи адабиётҳо ба назар расид, ки таъсири илова кардани металлҳои ишқорзаминӣ ба хосиятҳои хӯлаи  $AlTi0.1$  омӯхта нашудааст, ин сабаб шуд, ки мо ин мавзӯро барои таҳқиқ кардан интихоб кардем ва ба хӯлаи  $AlTi0.1$  металлҳои Ca, Ba, Sr ро илова кардем. Маълумотҳои ба даст омада метавонанд ба адабиётҳои соҳаи илова шуда, барои коршиносон ва мутахассисон ғоида меоранд ва дар вақти нақшагирӣ ва сохтани қисмҳои ҳиссаҳои метавонад ҳамчун маводи асосӣ интихоб шавад.

**Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омӯзиш:** масъалаҳои таҳқиқ ва беҳтарсозии хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ ва механикии хӯлаҳо дар асоси алюминий зери диққати махсуси олимони ва таҳқиқотчиён қарор дорад. Аз ҷумла мутахассисони ватани ба монанди академик д.и.х., профессор, Ғаниев И.Н., н.и.т. Чайлоев Ҷ.Ҳ. н.и.т. Худойбердизода С.У. ва н.и.т. Зокиров Ф.Ш. ва дигарон дар ин самт корҳои таҳқиқотӣ бурда истодаанд.

**Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо), мавзӯҳои илмӣ.** Мавзӯи кори диссертатсионӣ қисми таркибии лоиҳаи илмӣ «Таҳияи таркиби хӯлаҳои нави алюминийи ноқилӣ ва додани тавсияҳо оид ба истифодаи онҳо ба корхонаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» мебошад, ки аз ҷониби озмоишгоҳи «Маводҳои ба коррозия устувор»-и Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АМИ Тоҷикистон» барои солҳои 2021-2025 таҳия карда шудааст.

## ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

**Мақсади таҳқиқот:** омӯзиши вобастагии ҳароратии гармигунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминийи  $AlTi_{0.1}$  бо иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ ( $Ca$ ,  $Sr$ ,  $Ba$ ), кинетика ва механизми раванди оксидшавӣ, рафтори электрохимиявӣ.

**Вазифаҳои таҳқиқот:** ҳӯлаи алюминийи таъиноти гуногуни тамғаи  $AlTi_{0.1}$ , ки дар мошинсозӣ, авиатсия, электротехника ва ғайра истифода бурда мешавад.

**Объекти таҳқиқот.** Объекти омӯзишро ҳӯлаи алюминийи ноқилии  $AlTi_{0.1}$  ташкил медиҳад. Бо мақсади омӯзиши таъсири иловаҳои  $Ca$ ,  $Ba$ ,  $Sr$  ба микроструктура ва хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ ва механикӣ, ҳӯлаҳо дар асоси ҳӯлаи  $AlTi_{0.1}$  ҳосил карда шуданд, ки дар таркибашон металлҳои нишондодашуда ба миқдори 0,01-0,5 % вазн доранд.

**Мавзӯи таҳқиқот:** ҳосил кардани ҳӯлаи нави ноқилии алюминийи  $AlTi_{0.1}$  бо калсий, стронсий ва барий.

### Навгонии илмӣ-таҳқиқот.

- Тағйирот дар микроструктураи ҳӯлаи  $AlTi_{0.1}$  дар натиҷаи илова кардани металлҳои  $Ca$ ,  $Sr$  ва  $Ba$  нишон дода шудааст. Иловаҳо ба микроструктура таъсири мусбат расонда онро хурдтар мекунад. Ҳар қадаре ки миқдори иловаҳо зиёд бошад, микроструктура ҳамон қадар хурдтар мешавад;

- Омӯзиши хосиятҳои механикӣ, яъне сахтӣ ва мустаҳкам нишон дод, ки дар натиҷаи ҷавҳаронидан сахтӣ ва ҳамчунин мустаҳкамии ҳӯлаҳо меафзояд;

- Тағйирот ба самти афзоиши арзиши иқтисодии гармӣ, энталпия ва энтропияи намунаҳо ҳангоми баланд шудани ҳарорат дар муҳити корӣ мушоҳида карда шуд. Ин вобастагӣ ҳангоми омӯзиши ҳамаи намунаҳо новобаста аз таркиб мушоҳида карда шуд;

- Муайян карда шуд, ки афзоиши консентратсияи иловаҳои  $Ca$ ,  $Sr$  ва  $Ba$  нишондиҳандаҳои асосии термофизикии ҳӯлаи энталпия ва энтропия коҳиш меёбанд, аммо энергияи Гиббс меафзояд;

- Таҳқиқоти раванди оксидшавӣ дар ҳарорати баланд нишон дод, ки бо афзоиши ҳарорат дар муҳити корӣ ва миқдори иловаҳо ( $Ca$ ,  $Sr$  ва  $Ba$ ) шиддати оксидшавии намунаҳо меафзояд.

- Моддаҳои, ки дар натиҷаи оксидшавӣ дар ҳолати сахтӣ ба вуҷуд омадаанд, бо роҳи таҳқиқоти рентгенофазаӣ муайян карда шуданд. Дар ин рентгенограмма чунин моддаҳо ошкор карда шуданд:  $AlO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO$ ,  $Ti_6O$ ,  $Ti_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $Ti_3O_5$ ,  $Ti_{0.912}O_2$ ,  $Ti_3O$ ,  $TiO_{0.892}$ ,  $CaAl_4O_7$ ,  $CaO_2$ ,  $(SrO)_2TiO_2$ ,  $BaAl_2O_4$ ,  $Ba_4Al_5$ . Инчунин сатҳ ва нақши иловаҳо дар ташаккул ва шаклгирии моддаҳои нав дар натиҷаи раванди оксидшавӣ муқаррар карда шуданд;

- Вобастагии консентратсионии иловаҳои элементҳои ҷавҳарикунанда ба хосиятҳои электрохимиявии ҳӯлаи ноқилии  $AlTi_{0.1}$

ошкор карда шуд. Муайян карда шуд, ки ин иловаҳо муқовимати хӯлаҳоро ба коррозия то 15% беҳтар мекунад. Ҳар қадаре ки миқдори иловаҳо зиёд бошад, муқовимати хӯлаҳо ба коррозия ҳамон қадар баландтар мешавад. Афзоиши миқдори  $\text{Cl}^-$  сабаби зангзании пуршиддати намунаҳои тадқиқшудаи ҳамаи таркибҳои омӯхташуда мегардад

#### **Усулҳо ва таҷҳизоти истифодашудаи таҳқиқот:**

- усули металлография барои гузаронидани таҳлили микроструктураи хӯлаҳо (микроскопи БИОМЕД-1);
- усули Бринелл барои муайян кардани сахтии металлҳо (ТШ-2);
- усули тадқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар речаи «хунукшавӣ» бо истифодаи сабти автоматии ҳарорати намуна аз вақти хунукшавӣ;
- усули термогравиметрӣ барои омӯзиши кинетикаи раванди оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо;
- таҳлили рентгенофазавай маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаҳо (ДРОН-3);
- усули потенциостатикӣ омӯзиши хосиятҳои анодии хӯлаҳо (дастгоҳи ПИ 50-1.1).

**Аҳамияти назариявии кор.** Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии таҳқиқот оварда шудаанд: исботи таъсири сохтор, тағйирёбии параметрҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ, вобастагии ҳарорати иқтидори гармӣ ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи алюминий  $\text{AlTi0.1}$  бо металлҳои ишқорзаминӣ; таъсири муҳит ва концентратсияи иловаҳо ба муқовимат ба коррозия ва оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи  $\text{AlTi0.1}$ .

**Аҳамияти амалии кор.** Дар асоси таҳқиқотҳои таҷрибавии гузаронидашуда миқдори оптималии калсий, стронсий ва барий дар хӯлаи алюминийи  $\text{AlTi0.1}$  муайян карда шудааст, ки муқовимат ба коррозияи хӯларо баланд мебардоранд. Натиҷаҳои кор метавонанд дар соҳаҳои радиоэлектроника, техникаи ҳисоббарорӣ, электротехника, техникаи рӯзгор, хангоми таҳияи усулҳо ва технологияҳои ҳосил кардан, рӯйпӯшкунӣ бо пардаҳои оксидии анодӣ бо хосиятҳои функционалии талабшуда дар алюминий ва хӯлаи он истифода шаванд. Дар натиҷаи таҳқиқотҳои илмӣ гузаронидашуда хӯла дар алюминий бо таркиби нав коркард карда шуд, ки бо нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ №1340 аз 17.03.2022 ҳифз карда шудааст.

#### **Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳод шаванда:**

- Арзишҳои бадастомадаи чен кардани сахтӣ ва мустаҳкамӣ ҳисобии хӯлаҳои синтезшуда. Муайян кардани вобастагии иқтидори гармӣ аз ҳарорат ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ хӯлаи  $\text{AlTi0.1}$  дар натиҷаи илова кардани  $\text{Ca}$ ,  $\text{Sr}$  ва  $\text{Ba}$ .
- Натиҷаҳои оксидшавии ҳамаи намунаҳои тафтишшаванда дар ҳарорати баланд ва муайян кардани марҳилаҳои механизми таъсири мутақобилаи хӯла бо оксигени ҳаво.

- Шиддати коррозияи хӯлаҳои ҳосилшуда дар асоси хӯлаи AlTi0.1 ва муқаррар кардани нишондиҳандаҳои умумии электрохимиявии ин хӯлаҳо.

- Натиҷаи таҳқиқотҳо, ки дар он хӯлаҳои нав бо иловаҳои, ки дорои хусусияти баландтарини муқовимат ба коррозияи электрохимиявӣ, оксидшавӣ дар ҳарорати баланд мебошанд, ҳосил шуда, метавонанд дар саноати барқӣ истифода шаванд.

**Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо** бо истифодаи усулҳои муосири таҳқиқот, дар асбобҳои дурусткоркунанда, навсозӣ ва такмилёфта гузаронида, дурустии онҳо бо бозгузаронӣ ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти дигар муаллифон таъмин карда мешавад.

**Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.** Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ, бахусус навгонҳои илмӣ ба бандҳои зерини шиносномаи феҳристи ихтисосҳои КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯйи самти ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 - саноати мошинсозӣ) мутобиқат мекунад:

**банди – 1.** Таҳқиқотҳои назариявӣ ва таҷрибавии алоқаи фундаменталии таркиб ва сохтори мавод бо маҷмӯи хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва корфармой бо мақсади таъмини эътимоднокӣ ва дарозумрии маводҳо ва маснуотҳо;

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

**банди – 3.** Таҳияи асосҳои илмии интиҳоби маводҳо барои хосиятҳои додашуда дар шароити конкретии истеҳсол ва истифодаи маснуот ва конструксияҳо;

**банди – 4.** Таҳияи равандҳои физикӣ-химиявӣ ва физикӣ-механикии ташаккул додани маводҳои нав, ки дорои хосиятҳои беназири функсионалӣ, физикӣ-механикӣ, хосиятҳои корфармой ва технологӣ, арзиши оптималӣ ва тозагии экологӣ мебошанд;

**банди – 10.** Кор карда баромадани роҳҳои баланд бардоштани тобоварӣ ба зангзании маводҳо дар шароити гуногуни кор.

**Саҳми шахсии довталаби дарачаи илмӣ дар таҳқиқот** дар таҳлили маълумоти адабӣ, дар таҳия ва ҳалли масъалаҳои таҳқиқот, таҳия ва гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, дар таҳияи муқаррароти асосӣ ва хулосаҳои диссертатсия мебошад.

**Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.** Муқаррароти асосии диссертатсия дар конференсиҳои зерин муҳокима шудаанд: Конференси илмӣ-амалӣ ҷумҳуриявӣ «Мушкилоти муосири илмҳои табиӣ», Донишгоҳи Тоҷикистону Русия (Славянӣ) (Душанбе, 2021); Маҷмӯаи маводҳои конференси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Илми бунёди асоси такмили технологияҳо ва маводҳо», Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИ Тоҷикистон, (Душанбе, 2022);

Конфронси байналмилалии илмӣ-амалӣ «XIII Ломоносовские чтения», баҳшида ба 115-солагии академик Бобочон Ғафуров, қисми III. илмҳои табиӣ, Филиали ДДМ ба номи М. Ломоносов дар шаҳри Душанбе, (Душанбе, 2023); Конфронси байналмилалии илмӣ-техникӣ «Мушкилоти мубрами эҷод ва истифодаи технологияҳои баланди коркарди захираҳои минералӣ-ашёи хоми Ӯзбекистон», Институти химияи умумӣ ва ғайриорганикӣ Вазорати таҳсилоти олий, илм ва инноватсияи Ҷумҳурии Ӯзбекистон (Тошканд, 2023); Конфронси илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Рушд ва дастовардҳои илми физика дар солҳои истиқлолият», Институти физика-техники ба номи С.У. Умарови АМИ Тоҷикистон, (Душанбе, 2023); Конфронси байналмилалии илмӣ-техникӣ «Минские научные чтения 2023». «Истиқлолияти технологӣ ва рақобатпазирии давлати иттифоқӣ, кишварҳои ИДМ, иттиҳоди иқтисодии аврупо ва СҶШ» Донишгоҳи давлатии технологияи Беларус, (Минск, 2023).

**Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия.** Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқот 15 мақолаҳои илмӣ нашр гардидааст, ки аз он 7 мақола дар маҷаллаҳои тақризии, ки аз тарафи КОА ФР ва КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия шудааст, инчунин дар базаи маълумоти Scopus дохил мешаванд. Инчунин 1 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст ва дар асоси он муаллиф санади озмоиши таҷрибавӣ-саноатии хӯлаҳоро дар корхонаи ҶДММ «Ноқили ТАЛКО» ба даст овардааст.

**Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Рисола аз муқаддима, чор боб ва замима иборат буда, дар 183 саҳифаи чопи компютерӣ пешниҳод шудааст. Дар рисола 65 расм, 54 ҷадвал, 149 номгӯи адабиёт пешниҳод шудааст.

### **ҚИСМҲОИ АСОСИИ КОР**

**Муқаддима** асосҳои назариявӣ ва амалиро барои омӯзиши ин мавзӯ дар бар мегирад, сохтор ва тавсифи кори илмӣ оварда шудааст.

**Боби аввал** манбаҳои адабии баррасишуда ва таҳқиқоти олимони ин самтро дар бар мегирад. Микроструктура ва тағйироти он дар натиҷаи илова кардани металлҳои ишқорзаминӣ; ҳосиятҳои механикӣ, яъне сахтӣ ва устувории намунаҳои тафтишшуда; муқовимати намунаҳо аз хӯлаҳои синтезшуда ҳангоми дар муҳити моеъ ҷойгир кардан ва таҳқиқи потенциалҳои гуногун; омӯзиши шиддат ва таъсири мутақобилаи намунаҳо бо оксигени ҳаво ҳангоми гузаронидани оксидшавӣ дар ҳарорати баланд;

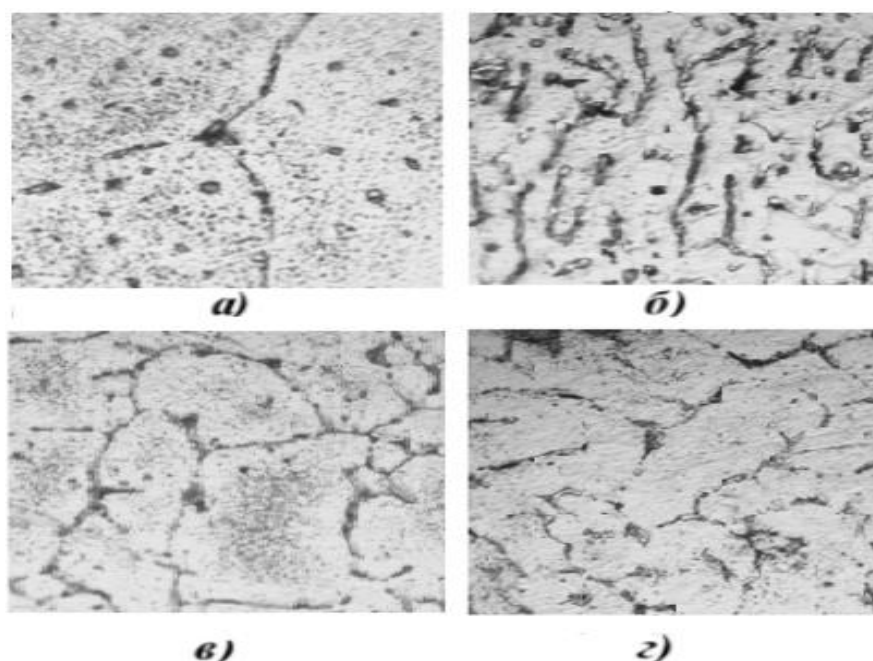
Пас аз баррасии адабиёти дастрас ба хулосае омадем, ки хӯлаи мазкур васеъ паҳн шудааст ва ба таври кофӣ омӯхта шудааст, аммо имкон дорад, ки бо металлҳои навъи Ca, Sr ва Ba ҷавҳаронида, натиҷаҳо ва тағйиротҳои ҳосиятҳоро таҳлил кунад. Ин сабаб шуд, ки мо ин хӯла ва мавзӯро барои гузаронидани корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ интихоб карда дар амал натиҷаҳо ва қонуниятҳоро омӯзем.



## БОБИ 2. ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ, ТЕПЛОФИЗИКӢ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ $AlTi0.1$ БО МЕТАЛЛҲОИ ИШҚОРЗАМИНӢ

Яке аз параметрҳои муҳиме, ки ба хосиятҳои механикии хӯлаҳо таъсир мерасонад, микроструктураи мавод мебошад. Бо тағйир додани микроструктура, ҷойгиршавии элементҳо, андозаи онҳо ва инчунин таркиби фаза, шумо метавонед дар хосиятҳои маводҳо тағйироти назаррас ба даст оред. Аз ин сабаб, омӯзиши микроструктура ва роҳҳои таъсиррасонӣ ба онҳо дар маркази таваҷҷӯҳи муҳаққиқони маводшиносӣ қарор дорад.

Дар рафти ин кор сатҳи таъсири металлҳои Ca, Sr ва Ba ба сохтори хӯла ва дар натиҷа, тағйирот дар хосиятҳои механикӣ муайян карда шуд. Барои ин микроскопи лабораторӣ БИОМЕД-1 истифода шуд, ки барои таҳқиқи маводҳои гуногун пешбинӣ шудааст, ки инчунин ба таҳқиқи сохтори металлҳо ва хӯлаҳо имкон медиҳад. Тасвирҳои гирифташудаи микроструктураи хӯлаҳои ҳосилкардашуда дар расми 1 оварда шудаанд. Ин тасвирҳо ҳангоми наздиккунӣ  $10\times(X=40)$  ба даст оварда шудаанд. Аз натиҷаи бадастомада маълум шуд, ки дар сурати илова кардани  $0.5\%$  Ca ба хӯлаи  $AlTi0.1$ , микроструктураи он тағйироти назаррасро аз сар мегузаронад ва донаҳо хурдтар мешаванд. Инчунин мушоҳида карда шуд, ки дар ҳолатҳои, ки Ca, Sr ва Ba илова карда шуданд, ҳосилишавии эвтектикҳо мушоҳида карда шуд, ки бешубҳа ба ҳама хосиятҳо, аз ҷумла механикӣ тағйирот ворид мекунад.



Расми 1 - Тасвири графикии микроструктураи хӯлаи  $AlTi0.1$  (a) ва хӯлаҳо дар асоси он бо илова кардани  $0.5\%$  (б) Ca, (в) Sr ва (д) Ba

Баланд бардоштани сахтӣ ва хосиятҳои механикии хӯлаҳои таҳияшаванда вазифаи муҳими ҳамаи муҳаққиқон мебошад, зеро мувофиқати истифодаи он ва мақсаднокии корҳои анҷомдодашуда аз ин вобаста аст. Азбаски ҳар як илова хосиятҳои хӯлаҳоро дар ин ё он самт тағйир медиҳад ва вобаста ба ин, ки чӣ гуна маҳсулоти аз маводи додашуда ё хӯла сохташуда, барои истифода мувофиқ буда мӯҳлати истифодаи он ҳамчунин вобаста аст.

Барои муайян кардани ин хосиятҳо мо технология ва усулҳои интихоб кардем, ки аллакай эътимодноӣ, дақиқӣ ва такроршавандагии худро нишон додаанд. Пас аз таҳқиқи усулҳои имконпазир, ба усули санҷиши сахтӣ бо асбоби тамғаи ТШ-2 таваҷҷӯҳ зоҳир карда шуд, ин дастгоҳ барои истифода осон аст ва барои гузаронидани санҷиш шароити махсусро талаб намекунад, намунаҳои таҳқиқшуда метавонанд андоза ва шакли гуногун дошта бошанд. Усули муайян кардани ин арзишҳо усули Бринелл буда, дар натиҷаи ҳисобҳои оддӣ арзишҳои дақиқро медиҳад.

Бо мақсади гузаронидани санҷиши сахтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи ҳосилкарда бо истифода аз усули рехтагарӣ дар тигелҳои графитӣ, намунаҳое ба даст оварда шуданд, ки андозаи муайян (10x16 мм) доштанд. Минбаъд ин намунаҳо бо усули дар боло овардашуда санҷида шуданд. Арзишҳои ҳосилшудаи сахтӣ дар ҷадвали 1 оварда шудаанд. Ҳангоми таҳлили натиҷаҳо мушоҳида кардан мумкин аст, ки ҳангоми илова кардани Ca, Sr ва Ba бо афзоиши миқдори ин иловаҳо мутаносибан арзишҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ низ меафзояд. Барӣ дар байни се металли иловашуда ба сахтӣ таъсири мусбат дорад.

Ҷадвали 1 - Натиҷаҳои санҷиши сахтӣ ва мустаҳкамии ҳисобии хӯлаи AlTi0.1 бо Ca, Sr, Ba

| Илова ва миқдори он,<br>(% вазн) | *Сахтӣ НВ,<br>Мпа | Мустаҳкамии ҳисобӣ,<br>МПа |
|----------------------------------|-------------------|----------------------------|
| 0,0                              | 181,1             | 44,42                      |
| 0,01Ca                           | 230,8             | 56,60                      |
| 0,05Ca                           | 244,5             | 59,96                      |
| 0,1Ca                            | 244,5             | 59,96                      |
| 0,5Ca                            | 251,8             | 61,74                      |
| 0,01Sr                           | 224,4             | 55,03                      |
| 0,05Sr                           | 230,8             | 56,60                      |
| 0,1Sr                            | 251,8             | 61,74                      |
| 0,5Sr                            | 259,4             | 63,61                      |
| 0,01Ba                           | 244,5             | 59,96                      |
| 0,05Ba                           | 251,8             | 61,74                      |
| 0,1Ba                            | 267,3             | 65,55                      |
| 0,5Ba                            | 267,3             | 65,55                      |

\* натиҷаҳои миенаи се андозагириши сахтӣ оварда шудаанд.

Яке аз дигар параметрҳои муҳиме, ки мо дар таҳқиқот баррасӣ кардем, параметрҳои теплофизикӣ мебошанд. Хусусиятҳои теплофизикӣ бо истифода аз таҷҳизоти озмоишии васеъ истифодашуда чен карда шуданд. Маълумоти бештар оиди асбоб дар матни пурраи рисола оварда шудааст. Ин таҷҳизот арзиши пасти хатогиҳо ё нодурустиро дорад ва ҳангоми ченкунӣ дар ҳарорати аз 40 то 400 дараҷаи дурусти 99%-ро ташкил медиҳад, ки ин нишондиҳандаи хуб аст. Ҳангоми таҳқиқи параметрҳои иқтидори гармӣ натиҷаҳо бо дақиқии то 96% ба даст оварда шуданд. Дар таҳқиқоти мо, арзиши нодурустиҳо ба 1,5% баробар буд. Бояд қайд кард, ки ҳарорат дар муҳити корӣ метавонад ба дурустии андозагирӣ низ таъсир расонад.

Истифодаи техникаи компютерӣ, яъне барномаҳое, ки барои таҳлили рақамҳо, барои ҳисобҳо ва сохтани графикҳо истифода карда мешаванд, имкон доданд, ки ҳамаи ҳисобҳои гузаронидашуда содда карда шаванд ва маълумоти дақиқтар ба даст оварда шавад.

Коэффитсиенти коррелясионӣ, ки нишондиҳандаи муҳим аст, дар ҳолати мо нишон дод, ки бузургии он аз 0.998 зиёдтар аст, ки тасдиқкунандаи он аст, ки функсияи наздиккунӣ дуруст интиҳоб шудааст.

Муодилаи (1) метавонад тағйирёбии ҳарорати намунаҳо дар вақти дар натиҷаи ҳисобҳо ба даст овардашуда нишон диҳад ва дар расми 2а пешниҳод карда шавад.

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

Дар ин формула коэффитсиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$  доимӣ мебошанд ва мувофиқан  $\tau$  давомнокии хунуккунии намунаҳо. Барои ба даст овардани суръати хунуккунӣ ин формуларо аз  $r$ и  $\tau$  фарқ кардан лозим аст.

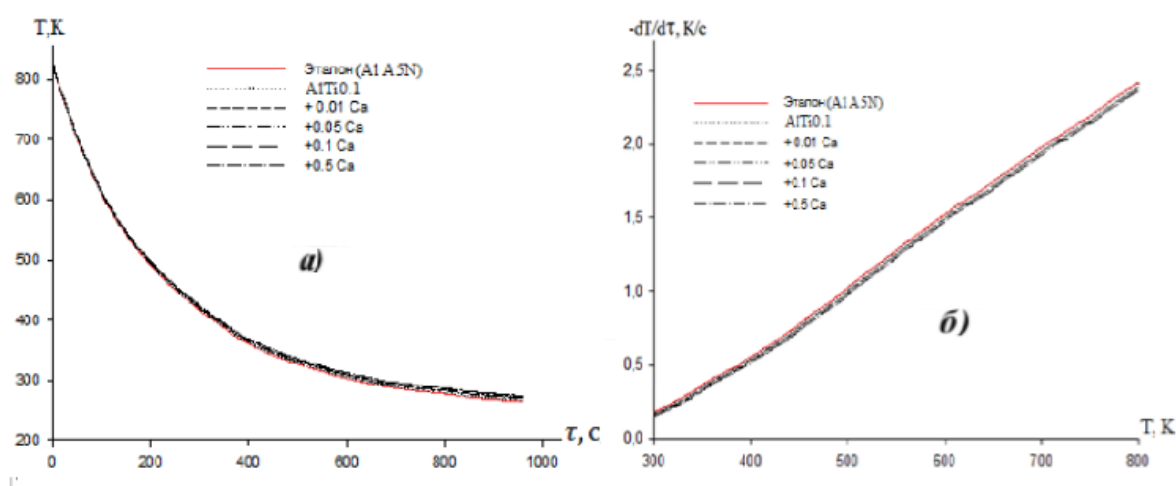
$$dT / d\tau = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau} \quad (2)$$

Бо гузаронидани ҳисобҳо бо формулаи (2) мо арзишҳои суръати хунуккунии ҳамаи намунаҳои дар асоси ҳӯлаи AlTi0.1 ба даст овардем ки барои муайян кардани сатҳи таъсири концентратсия ба он металлӣ Са дар ҳаҷми гуногун илова карда шудааст. Тибқи маълумоти бадастомада, расми 2б сохта шудааст, ки имкон медиҳад, ки вобастагии концентратсияи Са ба суръати хунуккунӣ баҳо дода шавад.

Дар ҷадвали 2 ҳамаи коэффитсиентҳо аз муодилаи (2) ва тағйироти онҳо бо афзоиши миқдори иловаҳои Са дар намуна муфассал оварда шудаанд.

Чадвали 2 - бузургии коэффитсиентҳо барои ҳисоб кардани суръати хунуккунӣ аз рӯи муодилаи (2) барои хӯлаҳои таҳқиқшуда ва эталон

| Микдори Ca, (% вазн) | $a, K$ | $b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$ | $p, K$ | $\kappa \cdot 10^{-4}, c^{-1}$ | $a \cdot b, Kc^{-1}$ | $p\kappa \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$ |
|----------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------------------|----------------------|---|
| 0.0                  | 495,45 | 4,94                      | 321,62 | 2,24                           | 2,45                 | 7,20                                    |
| 0.01                 | 491,78 | 4,91                      | 323,29 | 2,15                           | 2,42                 | 6,94                                    |
| 0.05                 | 491,78 | 4,91                      | 323,19 | 2,15                           | 2,42                 | 6,94                                    |
| 0.1                  | 490,02 | 4,90                      | 326,37 | 2,08                           | 2,40                 | 6,79                                    |
| 0.5                  | 490,02 | 4,90                      | 326,18 | 2,08                           | 2,40                 | 6,79                                    |
| Эталон               | 495,26 | 4,94                      | 319,82 | 2,26                           | 2,45                 | 7,24                                    |



Расми 2 - Качхатаҳои тағирёбии вобастагӣ: *a*-ҳарорат аз давомнокии хунуккунӣ; *б*-суръати хунуккунӣ аз ҳарорат.

Пас аз ин, бо истифода аз муодилаи (3) дар асоси маълумоти суръати хунуккунӣ, бо усули ҳисобкунӣ иқтидори гармии хӯлаи ибтидоии ноқилӣ бо калсий:

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (3)$$

Иҷрои регрессияи полиномӣ имкон дод, ки муодилаи (4) ба даст оварда шавад, ки алокаи ҳароратии гармигунҷоиши алоҳидаи хӯлаи ноқилии AlTi0.1 -ро бо иловаи калсий нишон медиҳад. Барои ин формула коэффитсиентҳои бузургии дар чадвали 3 овардашуда истифода шуданд.

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

Чадвали 3 - Бузургии коэффитсиентҳои дар муодилаи (4)  
истифодашуда ( $a, b, c, d$ )

| Миқдори Са, (% вазн) | $a$ ,<br>Ҷ/(кг·К) | $b$ ,<br>Ҷ/(кг·К <sup>2</sup> ) | $c \cdot 10^{-4}$ ,<br>Ҷ/(кг·К <sup>3</sup> ) | $d \cdot 10^{-7}$ ,<br>Ҷ/(кг·К <sup>4</sup> ) | Коэффитсиенти<br>коррелятсия R |
|----------------------|-------------------|---------------------------------|---|---|--------------------------------|
| 0.0                  | 690.11            | 1.01                            | -12,7   | 9,08  | 0.9999                         |
| 0.01                 | 698,48            | 0,98                            | -12,6   | 9,08  | 0.9998                         |
| 0.05                 | 698,38            | 0,98                            | -12,6   | 9,08  | 0.9998                         |
| 0.1                  | 698,25            | 0,98                            | -12,6   | 9,08  | 0.9998                         |
| 0.5                  | 697,88            | 0,978                           | -12,6   | 9,06  | 0.9998                         |
| Эталон               | 690.35            | 1.01                            | -12,7   | 9,13  | 1,0                            |

Дар чадвали 4 натиҷаи ҳисобҳои арзишҳои гармиғунҷоиши намунаҳо оварда шудаанд. Инчунин дар асоси ин маълумот қачхатаҳо дар расми 3а сохта шудаанд. Мувофиқи маълумоти ин чадвал, калсий ба қобилияти ҳӯлаи ибтидоӣ барои азхудкунии гармӣ таъсири манфӣ мерасонад ва тахмин қардан мумкин аст, ки бо афзоиши ҳаҷми калсий иқтидори гармӣ коҳиш меёбад. Ба ин баръакс, афзоиши ҳарорат хангоми ченкунӣ ба он оварда мерасонад, ки параметрҳои гармиғунҷоишии ҳӯлаҳо ба самти афзоиш ҳаракат мекунанд.

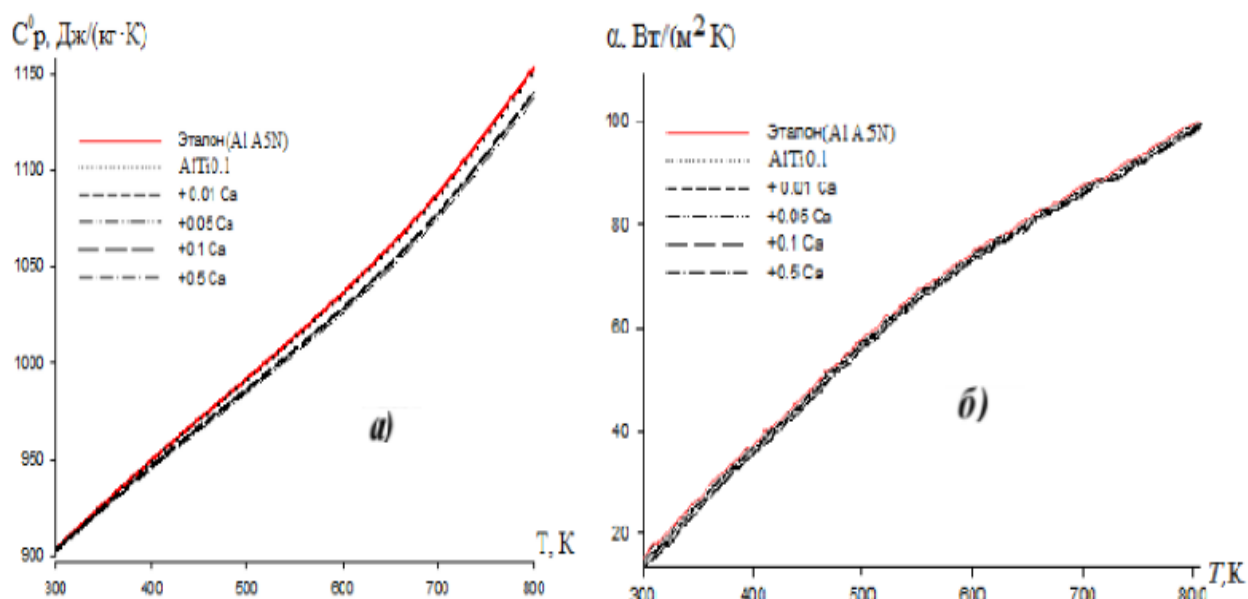
Дар асоси натиҷаҳои гармиғунҷоиш ва инчунин суръати хунуккуни қаблан муайяншуда, коэффитсиенти гармидиҳӣ бо истифода аз муодилаи (5) вобаста ба ҳарорати воқеии таҳқиқот бо усули ҳисобшуда ошқор қарда шуд:

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

Графики мувофиқи арзишҳои гирифташуда сохташуда (расм. 3б) таъсири ҳароратро хангоми гузаронидани таҳқиқот ба коэффитсиенти гармидиҳӣ нишон медиҳад.

Чадвали 4 - Тағйирёбии қимматҳои иқтидори гармии ҳоси намунаҳои калсийдор ва эталони муқоисавӣ

| Миқдори Са,<br>(% вазн) | Т.К.    |        |        |         |         |         |
|-------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                         | 300     | 400    | 500    | 600     | 700     | 800     |
| 0.0                     | 903,33  | 949,02 | 991,11 | 1035,04 | 1086,25 | 1150,21 |
| 0.01                    | 903,30  | 946,59 | 986,48 | 1028,41 | 1077,83 | 1140,18 |
| 0.05                    | 903,199 | 946,49 | 986,38 | 1028,31 | 1077,73 | 1140,08 |
| 0.1                     | 903,07  | 946,37 | 986,25 | 1028,18 | 1077,59 | 1139,95 |
| 0.5                     | 902,04  | 945,07 | 984,63 | 1026,18 | 1075,14 | 1136,96 |
| Эталон                  | 903,70  | 949,58 | 991,97 | 1036,35 | 1088,21 | 1153,00 |



Расми 3 - Графики алоқамандии арзишҳо: *a* иқтидори гармиғунҷоиши хос; ва *б* коэффитсиентҳои гармидиҳии хӯлаи ноқилии AlTi0.1 + Ca ва намуна аз эталон

Нишондиҳандаҳои асосии термофизикии хӯлаи омӯхташуда ( $H$ ,  $S$ ,  $G$ ) бо ёрии интегралҳои (4) бо истифода аз формулаҳои зер ҳисоб карда шуданд:

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

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

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

где  $T_0 = 298,15\text{K}$ .

Тасвири пурраи тағйироти хосиятҳои термофизикии хӯлаи ибтидоӣ ва таъсири иловаҳои Ca, Sr, Ba дар натиҷаи ҳисобҳои гузаронидашуда ба даст оварда шуданд. Масалан, хангоми илова кардани 0,5% ин металлҳо афзоиши энтропия ва энталпия, инчунин гармиғунҷоиш ошкор карда шуд. Маълумоти пурра дар бораи арзишҳои ҳар як хӯла дар ҳарорати гуногун дар ҷадвали 5 муфассал оварда шудааст.

Мувофиқи натиҷаҳои бадастомада, илова кардани металлҳои Ca, Sr ва Ba ба он оварда мерасонад, ки гармиғунҷоиш ва дигар нишондиҳандаҳои хӯлаҳо коҳиш меёбанд ва хӯлаҳои Ca нисбат ба дигар иловаҳо камтар коҳиш меёбад мебошанд.

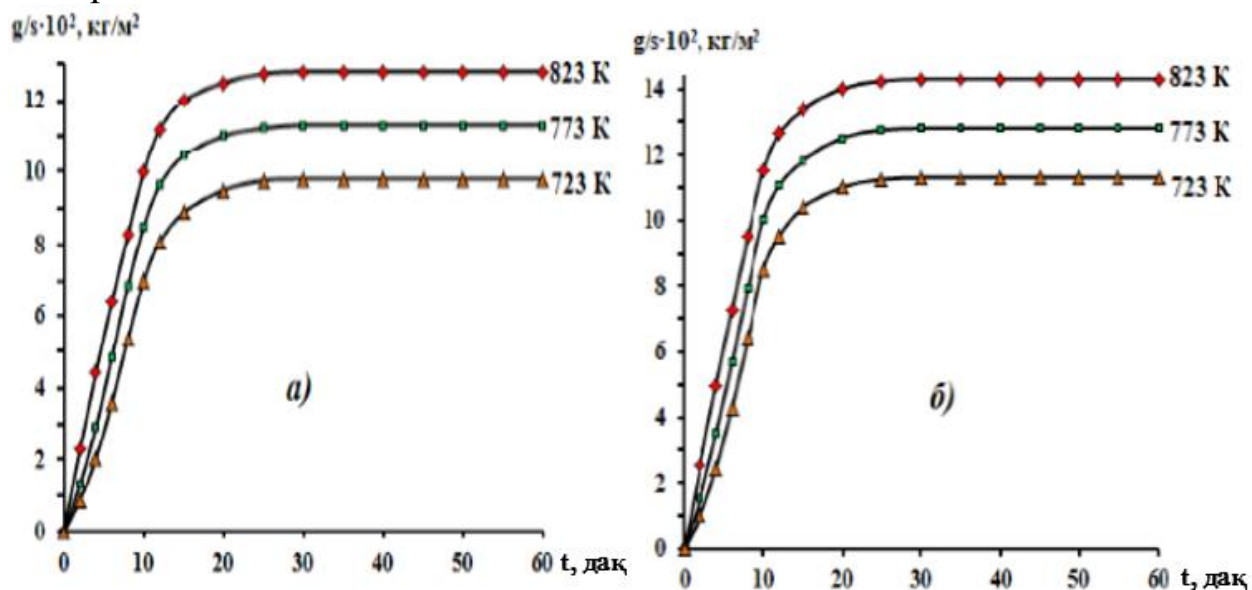
Ҷадвали 5 - Нишондиҳандаҳои асосии термофизикӣ ва тағйирёбии онҳо бо афзоиши ҳарорат ва миқдори лигатураҳо дар хӯла

| Илова ва миқдори он (% вазн) | Т.К.   |         |          |          |          |          |
|------------------------------|--|---------|----------|----------|----------|----------|
|                              | 300  | 400     | 500      | 600      | 700      | 800      |
|                              | $C_{P,0}^0$ , (Ҷ/(кг·К)) барои хӯлаҳо          |         |          |          |          |          |
| 0.0                          | 903,33   | 949,02  | 991,11   | 1035,04  | 1086,25  | 1150,21  |
| 0.5Ca                        | 902,04   | 945,07  | 984,63   | 1026,18  | 1075,14  | 1136,96  |
| 0.5 Sr                       | 900,34   | 943,22  | 982,63   | 1023,98  | 1072,72  | 1134,26  |
| 0.5Ba                        | 899,84   | 943,06  | 982,83   | 1024,57  | 1073,74  | 1135,75  |
| Эталон                       | 903,70   | 949,58  | 991,97   | 1036,35  | 1088,21  | 1153,00  |
|                              | $[H^0(T)-H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо     |         |          |          |          |          |
| 0.0                          | 1,6703   | 94,3405 | 191,3547 | 292,6241 | 398,6054 | 510,2997 |
| 0.5Ca                        | 1,6679   | 94,0751 | 190,5663 | 291,0678 | 396,0494 | 506,5245 |
| 0.5Sr                        | 1,6648   | 93,8944 | 190,1932 | 290,4848 | 395,2357 | 505,4553 |
| 0.5Ba                        | 1,6639   | 93,8604 | 190,1609 | 290,4918 | 395,3227 | 505,6672 |
| Эталон                       | 1,6709   | 94,3869 | 191,4710 | 291,5236 | 396,6963 | 510,9213 |
|                              | $[S^0(T)-S^0(T_0^*)]$ , кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо |         |          |          |          |          |
| 0.0                          | 0,0056   | 0,2719  | 0,4881   | 0,6726   | 0,8359   | 0,9850   |
| 0.5Ca                        | 0,0056   | 0,2711  | 0,4862   | 0,6694   | 0,8311   | 0,9785   |
| 0.5 Sr                       | 0,0055   | 0,2706  | 0,4853   | 0,6681   | 0,8294   | 0,9765   |
| 0.5 Ba                       | 0,0055   | 0,2705  | 0,4852   | 0,6680   | 0,8295   | 0,9767   |
| Эталон                       | 0,0056   | 0,2719  | 0,4884   | 0,6731   | 0,8367   | 0,9860   |
|                              | $[G^0(T)-G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо     |         |          |          |          |          |
| 0.0                          | -0,0052  | -14,406 | -52,732  | -110,988 | -186,565 | -277,708 |
| 0.5Ca                        | -0,0052  | -14,373 | -52,568  | -110,567 | -185,738 | -276,317 |
| 0.5 Sr                       | -0,0051  | -14,345 | -52,467  | -110,351 | -185,371 | -275,764 |
| 0.5 Ba                       | -0,0051  | -14,339 | -52,450  | -110,328 | -185,350 | -275,761 |
| Эталон                       | -0,0052  | -14,412 | -52,759  | -111,054 | -186,350 | -277,922 |

### БОБИ 3. КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИИ АITi0.1 БО МЕТАЛЛҶОИ ИШҚОРЗАМИНИ, ДАР ХОЛАТИ САХТ

Роҳҳои зиёде барои омӯзиши равандҳои оксидшавӣ дар металлҳо ва хӯлаҳо мавҷуданд. Ҳар яке аз ин усулҳо афзалиятҳо ва нуқсонҳои худро доранд. Усули интиҳобкардаи мо бо содагии нисбии гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ тавсиф карда мешавад, фароҳам овардани шароити махсусро талаб намекунад, дақиқии баланди ченкунӣ ва муҳимтар аз ҳама, натиҷаҳои таҳқиқотро фавран таҳлил кардан мумкин аст. Хӯлаи ноқилии АITi0.1, ки дар асоси он хӯлаҳо бо иловаҳои Са-ро синтез кардем, барои муайян кардани арзишҳои асосии раванди оксидшавӣ омӯхта шуданд.

Чадвалҳои 6, 7, 8 ва расмҳои 4, 5, 6 ва 7 маълумоти пурра дар бораи тағироти энергетикӣ дар раванди оксидшавӣ ва инчунин кинетикаи онро дар бар мегиранд. Тавре ки аз расми 4 дида мешавад, қачхаттаҳое, ки ҷараёни оксидшавиро дар дақиқаҳои аввал нишон медиҳанд, афзоиши шадидро нишон медиҳанд, аммо минбаъд, ҳар қадаре ки раванд идома ёбад, қабати оксиди дар атрофи намуна ғафстар мешавад, ки ба таъсири оксиген ба намуна монеъ мешавад. Ин ба он оварда мерасонад, ки пас аз 17-20 дақиқа шиддат коҳиш меёбад ва муътадилшавии раванд ба амал меояд, яъне қабати оксиди пурра ташаккул ёфта оксиген ба намуна намерасад.



Расми 4 - Қачхаттаҳои ҷараёни оксидшавӣ: *а* - хӯлаи ибтидоӣ  $\text{AlTi}_{0.1}$ ; *б* - хӯлаи ибтидоӣ  $\text{AlTi}_{0.1}$  бо иловаи 0.01% Са.

Устувори ба вайроншавӣ дар натиҷаи реаксияи намуна бо оксигени атрофи он параметри калидӣ мебошад ва пеш аз ҳама аз арзишҳои суръати бадастомада, ки ин вайроншавӣ ба амал меояд ва аз бузургии энергияи фаъолшавӣ, ки нишонаи мураккабии гузариши ин равандҳо мебошад, арзёбӣ карда мешавад. Чӣ қадаре ки бузургии ин параметр зиёд бошад, ҳамон қадар энергия ва аз ин рӯ саъйи бештар барои оғози раванд зарур аст.

Дар ҷараёни ҳисобҳо ва муайян кардани арзиши энергияе, ки барои фаъол кардани раванд зарур аст, мо арзишҳои кунҷи хати рост ва тангенсро аз бузургии ин кунҷ аз хати рост истифода бурдем, ки хусусият ва намуди  $-\lg K - 1/T$  дорад, ки арзиши баробар ба 140 кҶ/молро нишон дод. Мувофиқи ҳисобҳо, суръати оксидшавии хӯлаи ибтидоии  $\text{AlTi}_{0.1}$  бо тағйирёбии ҳарорати корӣ хосият дорад ва аз рӯи ҳисобҳои мо ба  $1.99 \cdot 10^{-4}$  дар ҳарорати 723 К ва  $2.45 \cdot 10^{-4}$  дар ҳарорати баландтар ба 823 К баробар аст. Ҳамаи арзишҳои таҷрибаҳои гузаронидашуда дар ҳарорати гуногун ва консентратсияи гуногуни хӯлаҳо дар чадвали б оварда шудаанд.



Ченкунии параметрҳои оксидшавӣ дар ҳарорати 723, 773, 823 К гузаронида шуд. Бояд қайд кард, ки дар ин ҳароратҳо намунаҳои таҳқиқшаванда дар ҳолати саҳт қарор доштанд, зеро ҳарорат аз ҳарорати гудозиш пастр аст.

Дар расми 4(б) қачхатаҳои раванди оксидкунии хӯлаи ибтидоӣ бо иловаҳои Са дар миқдори 0,01% оварда шудаанд. Тавре ки аз графикҳо дида мешавад, афзоиши ҳарорат ба афзоиши қисми оксидии хӯла оварда мерасонад.

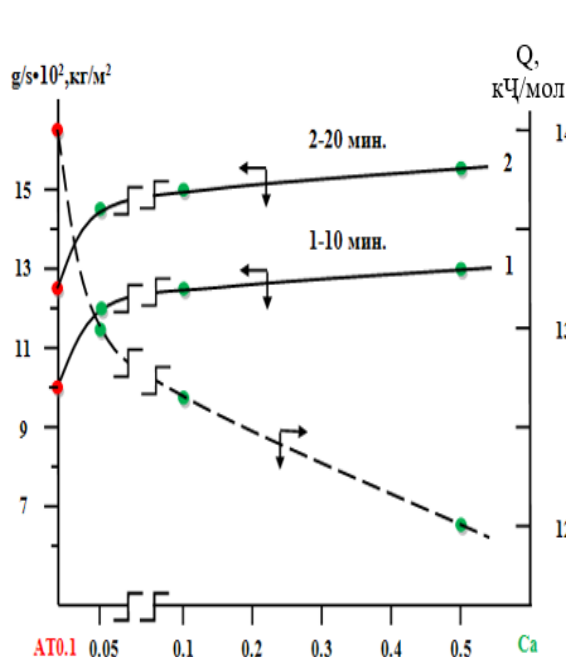
Агар шумо графикро бодикқат таҳлил кунед, метавонед бинед, ки раванди оксидшавӣ бо оғози реаксия шадид мегузарад, аз 10 то 15 дақиқаи аввал қачхатта босуръат меафзояд. Аммо бо гузашти вақт, тақрибан 20 дақиқа ба авҷи муайяни афзоиши мерасад, ки пас аз он ҳаракати мувозинатии хат бе афзоиш ё камшавӣ мушоҳида мешавад. Ин нишон медиҳад, ки бо гузашти вақт, раванди ташаккули оксидҳо дар болои намуна оғоз меёбад, ки пас аз тақрибан 20 дақиқа пурра ташаккул меёбад ва ин қабати оксидӣ раванди зангзании минбаъдаи намунаҳоро бозмедорад. Ин вобастагӣ дар ҳамаи намунаҳои таҳқиқшаванда новобаста аз миқдори чузъҳо ва ҳарорати муҳити атроф пайгирӣ карда мешавад.

Дар ҷадвали 6 арзишҳои оварда шудаанд, ки ҳангоми таҳқиқи ҳамаи намунаҳо дар се ҳарорат ба даст оварда шудаанд. Аз ин арзишҳо маълум мешавад, ки бо афзоиши суръати оксидшавӣ энергияи фаъолшавӣ коҳиш меёбад, ки бо маълумоти асосии физикӣ ва химивӣ ва натиҷаҳои кори дигар олимони мувофиқат мекунад.

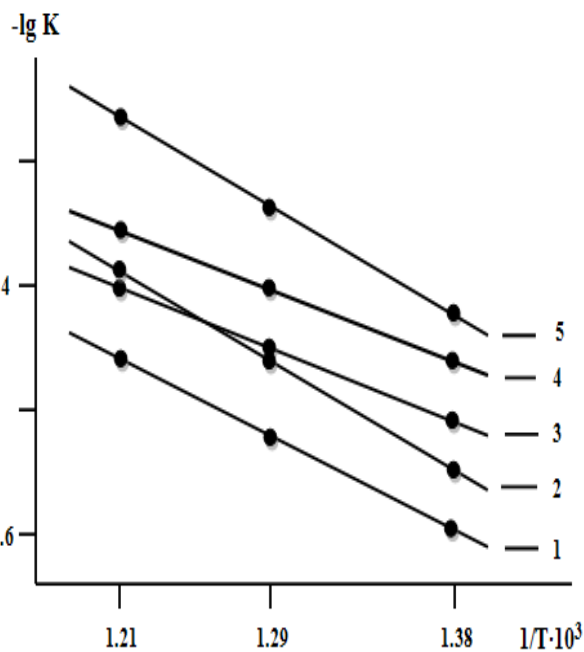
Ҷадвали 6 - Нишондиҳандаҳои кинетикаи раванди оксидкунии хӯлаи AlTi0.1 бо иловаҳои Са

| Миқдори Са,<br>(% вазн) | T, К | Суръати<br>оксидшавӣ<br>$K \cdot 10^4, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ | Энергияи<br>фаъолшавӣ,<br>кҶ/мол |
|-------------------------|------|---|----------------------------------|
| 0                       | 723К | 1.99  | 140.0                            |
|                         | 773К | 2.15  |                                  |
|                         | 823К | 2.45  |                                  |
| 0,01                    | 723К | 2.05  | 136.3                            |
|                         | 773К | 2.26  |                                  |
|                         | 823К | 2.55  |                                  |
| 0,05                    | 723К | 2.14  | 131.9                            |
|                         | 773К | 2.36  |                                  |
|                         | 823К | 2.59  |                                  |
| 0,1                     | 723К | 2.24  | 126.5                            |
|                         | 773К | 2.57  |                                  |
|                         | 823К | 2.70  |                                  |
| 0,5                     | 723К | 2.69  | 120.1                            |
|                         | 773К | 2.83  |                                  |
|                         | 823К | 2.97  |                                  |

Мувофиқи маълумоти гирифташуда чадвали тағйирёбии ҷараёни оксидшавии намунаҳо сохта шудааст (расми 5). Барои равшан кардани таҷриба, мо намунаҳои хӯлаи ибтидоӣ ва хӯлаҳои интиҳоб кардем, ки ба он микдори гуногуни Са илова карда шуд. Тавре ки аз графикҳои овардашуда хулоса баровардан мумкин аст, арзиши оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ нисбат ба намунаҳо бо иловаи Са камтар аст. Ин вобастагӣ новобаста аз давомнокии нигоҳ доштани намунаҳо дар шароити оксидшавӣ (қачхатаҳои 1-2) дар ҳарорати 823 К пайгирӣ карда мешавад.



Расми 5 - Ҳатти оксидшавии изохронии намунаҳо аз AlTi0.1 ва намунаҳо бо иловаи Са



Расми 6 - Гузариши бузургии  $-\lg K$  аз  $1/T$  дар AlTi0.1-и ибтидоӣ(1) ва хӯлаи дорой Са дар микдори оммавӣ: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5)

Минбаъд расми 6 дорой  $-\lg K - 1/T$  барои ҳамаи таркиби хӯлаи дар ин кор таҳқиқшуда, ки дорой Са мебошанд. Аз рӯи қачхатаҳои дар ин расм овардашуда, ба хулосае омадан мумкин аст, ки ҳар қадаре ки ҳарорат баландтар бошад, суръати оксидшавӣ ҳамон қадар баландтар мешавад.

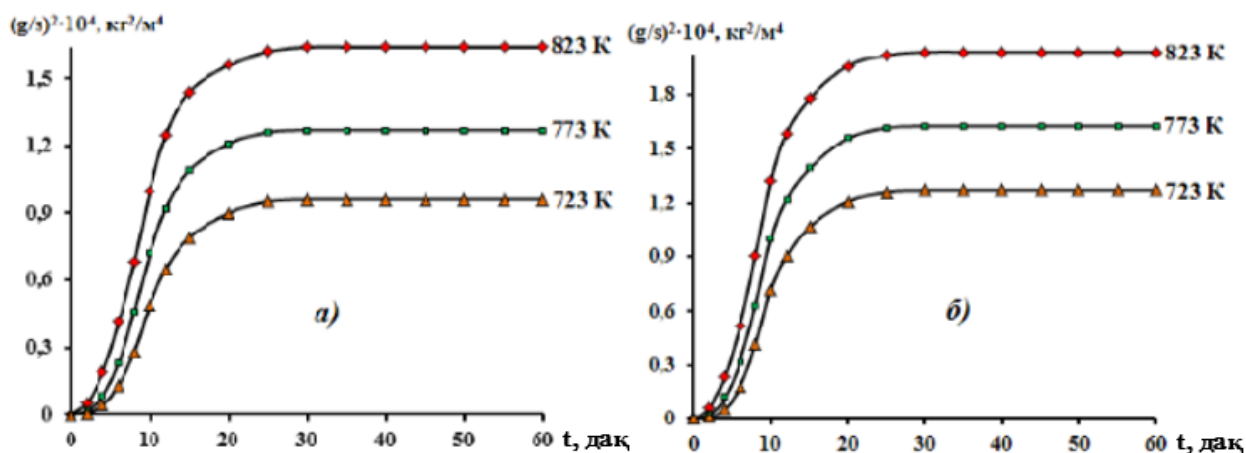
Дар чадвали 7 ва расми 7 арзишҳои қачхатаҳои кинетикӣ пас аз ба шакли вобастагӣ  $(g/s)^2 - \tau$  танҳо барои он намунаҳои омӯхташуда, ки мо Са-ро бо микдори муайян илова кардем, оварда шудаанд. Рақамҳои бадастомада рамзи он мебошанд ки қачхатаҳои квадратӣ бо намуди  $y = K \cdot t^n$  тавсиф карда мешаванд ва аз ин рӯ дараҷаҳо метавонанд аз 1 то 4 арзиш ( $n=1 \div 4$ ) дошта бошанд.

Чадвали 7 - Полиномҳои квадратии оксидшавии хӯлаи ноқилии AlTi0.1, ки ба он Са илова карда шудааст

| Миқдори Са, (% вазн) | Ҳарорати таҷқиқот, К | Полиномҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо  | Кoeffисиенти регрессия $R^2$ |
|----------------------|----------------------|---|------------------------------|
| 0.0                  | 723                  | $m/s^* = -0,7 \cdot 10^{-9}t^4 + 0,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 2,59 \cdot 10^{-2}t^2 + 0,8798t^{**}$ | 0,979                        |
|                      | 773                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,1424t$           | 0,985                        |
|                      | 823                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,8 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,4507t$         | 0,995                        |
| 0.01                 | 723                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,35 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,0636t$        | 0,977                        |
|                      | 773                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-4}t^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,89 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,3408t$        | 0,985                        |
|                      | 823                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-7}t^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}t^3 - 6,77 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,6587t$        | 0,994                        |
| 0.05                 | 723                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,73 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,1414t$        | 0,976                        |
|                      | 773                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,25 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,4175t$        | 0,984                        |
|                      | 823                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,27 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,7535t$        | 0,993                        |
| 0.1                  | 723                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,12 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,2196t$        | 0,976                        |
|                      | 773                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,71 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,5043t$        | 0,985                        |
|                      | 823                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,62 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,8247t$        | 0,993                        |
| 0.5                  | 723                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,4 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,2854t$         | 0,975                        |
|                      | 773                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}t^3 - 6,01 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,5684t$        | 0,986                        |
|                      | 823                  | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-9}t^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 8,02 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,9024t$        | 0,994                        |

$m/s^*$ - афзоиши вазн дар натиҷаи оксидшавӣ ( $кг/м^2$ );

$t^{**}$ - давомнокии раванди оксидшавии намунаҳо (вақт).

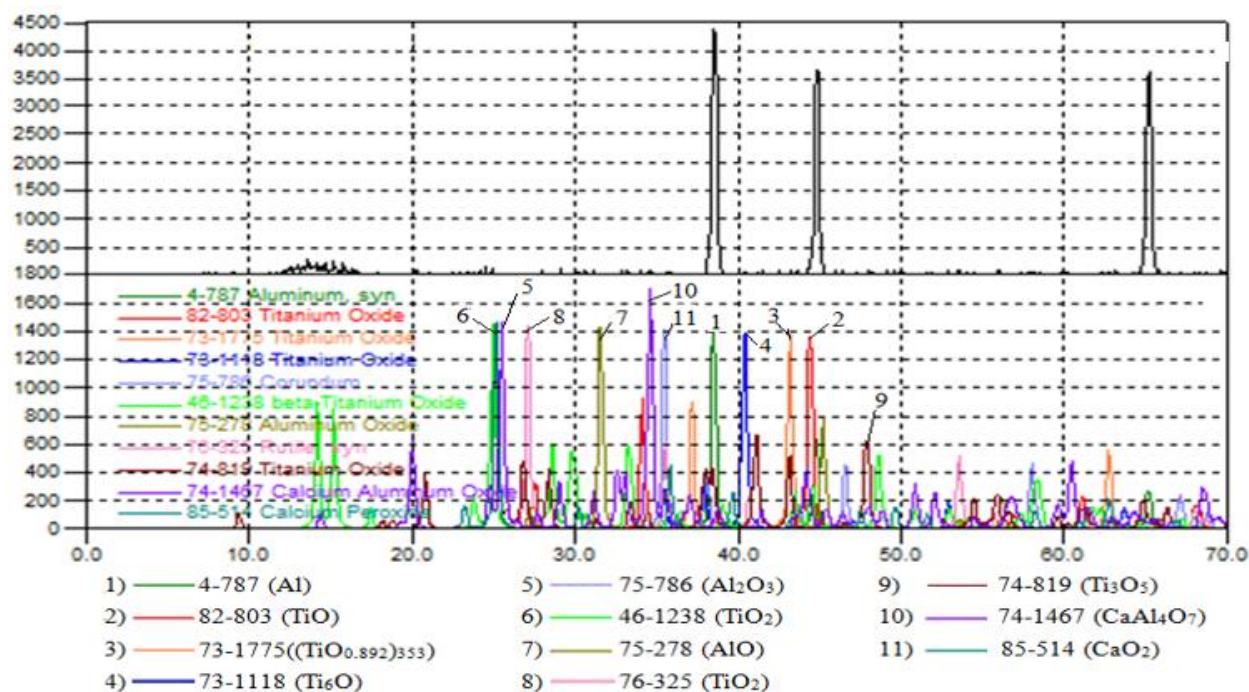


Расми 7 - Қачхатаҳои кинетикии квадратии оксидшавии хӯлаи алюминийи AlTi0.1(a) аз 0.01(б) % вазн калсий

Нақши асосии оксиди калсий дар раванди оксидшавии намунаҳо дар он аст, ки он ташаккул ёфта, ба вайроншавии яклухтии қисми муҳофизатӣ мусоидат мекунад, ки оксидшавии металлро пешгирӣ мекунад. Ҳамин тариқ, қабати оксиди мешавад ва оксидшавӣ бо суръати боз ҳам баландтар ба қисми дохилии хӯла меравад.

Аз рӯи натиҷаҳои таҳлили рентгенофазагӣ (ДРОН-3М) маҳсулоти оксидшавии хӯлаи ноқилии алюминийи AlTi0.1 бо иловаи Ca 0.5% вазн оксидҳои ташаккулёфтаи ҷузъҳои хӯла ошкор карда шуданд: CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; CaO<sub>2</sub>; TiO<sub>2</sub>; Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>; TiO; TiO<sub>0.892</sub>; Ti<sub>6</sub>O; Al<sub>2</sub>O (расм. 8).

Дар чадвали 8 арзишҳои энергияи фаълосозӣ барои ҳамаи хӯлаи синтезшуда ва таҳқиқшуда оварда шудаанд. Ҳангоми таҳлили ин арзишҳо қайд карда шуд ки дар байни ҳамаи намунаҳои таҳқиқшуда намунаҳое ки миқдори камтарини энергияи фаълосозиро нишон доданд намунаҳое буданд, ки дорои Ва-и металлӣ буданд.



Расми 8 - Натиҷаи таҳлили рентгенофазагии моддаҳои пас аз оксидшавӣ ҳосилшуда: хӯлаи AlTi0.1 бо Ca 0.5 % вазн

Чадвали 8 - Энергияи фаълосозӣ ва тағирёбии он бо афзоиши миқдори металлҳои иловашуда

| Илова ва миқдори он дар хӯла, % вазн | 0.0   | 0.01  | 0.05  | 0.1   | 0.5   |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Калсий                               | 140.0 | 136.3 | 131.9 | 126.5 | 120.1 |
| Стронсий                             |       | 132.5 | 127.2 | 122.0 | 116.9 |
| Барий                                |       | 126.1 | 123.5 | 117.9 | 112.0 |

Таҷрибаҳои заруриро оид ба муайян кардани қонуниятҳои асосии раванди оксидшавии хӯлаи ноқилии  $AlTi_{0.1}$  бо иловаҳои Ca, Sr, Ba, мушоҳида карда шуд:

1. Раванди оксидшавии намунаҳо намуди гиперболикӣ дорад. Суръати оксидшавии ҳамаи хӯлаи омӯхташуда дар доираи муайян тағйир меёбад ва тартиби  $\sim 10^{-4}$  ( $кг \cdot м^{-2} \cdot дақ^{-1}$ ) дорад.

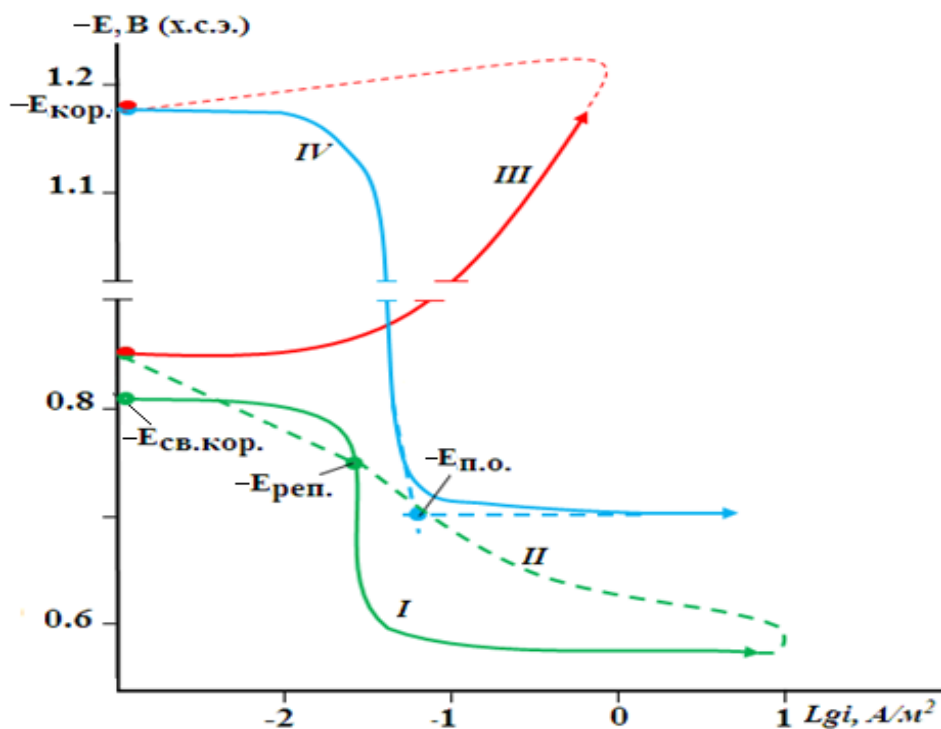
2. Хӯлаи ибтидоӣ, ки дар таркиби худ иловатан Ba дорад, суръати пуршиддати реаксия бо оксигени ҳаворо нишон дод ва ҳангоми илова кардани Ca баръакс, муқовимати оксидшавиро баланд карда суръати оксидшавӣ коҳиш медиҳад.

#### **БОБИ 4 ТАЪСИРИ МЕТАЛЛҲОИ ИШҚОРЗАМИНӢ БА РАФТОРИ КОРРОЗИОНӢ-ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХӢЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИИ $AlTi_{0.1}$ , ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl**

Дар ин қисми кор барои муайян кардани хусусиятҳои электрохимиявии хӯлаҳои ҳосилкарда усули ченкунии потенциалҳои интиҳоб карда шуд. Ин усул имкон медиҳад, ки озмоишҳо дар муҳити электрохимиявӣ гузаронида шаванд, ки дар он муҳити моеъ метавонад ҳам хусусияти кислота ва ҳам ишқорӣ дошта бошад.

Барои ин намуди таҳқиқот мо намунаҳои андозаи муайянро бо усули рехтагарӣ хӯлаҳо бо иловаҳои гуногун ҳосил кардем. Намунаҳои гирифташуда ба муҳити электролитӣ ҷойгир карда шуданд, ки дар дохили он маҳлули моеъи хлориди натрий аст. Аз лаҳзае, ки намуна ба муҳити таҳқиқотӣ ворид карда мешавад, раванди ченкунӣ ва сабти натиҷаҳо оғоз меебад. Дар раванди таҳқиқот андозаи потенциали коррозия озод (Екор.оз.), арзишҳои гирифташуда дар расми 9 (хати I) оварда шудаанд. Сипас намунаҳо дар самти муқобил (хатҳои II ва III) поляризасияро аз сар гузарониданд, ки дар натиҷа потенциал  $-1,2$  В ва пардаи оксиди атрофи намуна ҳал шуд. Сипас поляризасияро дар самти мусбат гузарониданд ва потенциали ташаккули пittingҳоро пайдо карданд (Еп.х.) (расми 9, қач III IV).

Қаҷхатаҳои сохташуда имкон медиҳанд, ки потенциалҳои асосии электрохимиявии дохили ячейкаро муайян кунанд, ки онҳоро дар расми 9 мушоҳида кардан мумкин аст.



Расми 9 - Качхатаҳои поляризатсия ҳангоми таҳқиқи намунаҳо аз хӯлаи AlTi0.1 дар муҳити моеъгии 3% NaCl

Муайян карда шуд ки омили ионизатсияи оксиген дар натиҷаи реаксияи катодӣ дар дохили муҳит ба миқдор ва ҳаҷми ташаккули коррозияи питтингӣ таъсири калон мерасонад. Дар ин шароит муайян кардани суръати коррозия бо истифода аз формулаи зер мегузарад:

$$K = i_{кор.} \cdot K,$$

арзиши  $K$  мувофиқи манбаъҳо ба  $0,335 \text{ г/А}^* \text{ соат}$  баробар аст.

Муайян карда шуд ки иловаҳои калсий ба хӯлаи ибтидоии AlTi0.1 ба муқовимати он ба зангзанӣ таъсири мусбат мерасонанд. Ин қонуният дар ҳамаи муҳитҳои (NaCl), ки дар онҳо таҳқиқот гузаронида шудааст, мушоҳида шудааст. Инчунин муайян карда шуд, ки ҳар қадар миқдори Cl дар маҳлули моеъи муҳит зиёд бошад, ҳамон қадар коррозияи намунаҳо ғаълтар мешавад. Бо 0,5% иловаи калсий дар хӯлаи ибтидоӣ, камтарин арзишҳои суръати коррозияи ва зичии ҷараён ба даст меояд. Аз ин ба хулосае омадан мумкин аст, ки таркиби дорои дар боло зикршуда муваффақтарин ва барои истифода ҳамчун маводи ба зангзанӣ тобовар мувофиқ аст. Ҷадвали 9 натиҷаҳои таҳқиқоти хӯлаҳои дорои миқдори гуногуни иловагиро дар бар мегирад.

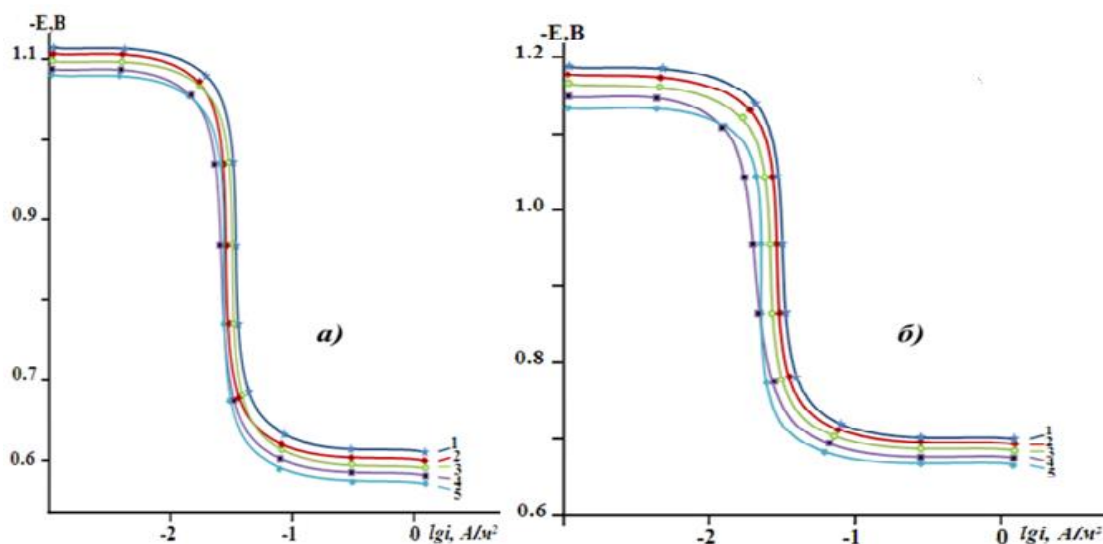
Дар расми 10 қачхатҳои анодӣ барои хӯлаи AlTi0.1+Ca оварда шудаанд. Тавре ки аз ин графикҳо дида мешавад, афзоиши миқдори Ca боиси он мегардад, ки потенциалҳои хӯлаи мазкур вобаста ба миқдори Ca баробар зиёд мешаванд. Ин нишон медиҳад, ки суръати коррозияи намунаҳо коҳиш меёбад. Ин раванд дар тамоми консентратсияи ионҳои хлорид дар муҳити моеъ мушоҳида мешавад.

Чадвали 9 - Бузургии потенциалҳои коррозияи озод ва ташаккули питтингҳои хӯлаи алюминий AlTi0.1, бо иловаҳои Sr, Ba, Ca

| Муҳити NaCl | Миқдори иловаҳо | Ca                     |                    | Ba                     |                    | Sr                     |                    |
|-------------|-----------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|             |                 | -E <sub>корр.оз.</sub> | -E <sub>п.х.</sub> | -E <sub>корр.оз.</sub> | -E <sub>п.х.</sub> | -E <sub>корр.оз.</sub> | -E <sub>п.х.</sub> |
| % вазн      |                 |                        |                    |                        |                    |                        |                    |
| 0.03        | -               | 0.685                  | 0.610              | 0.685                  | 0.610              | 0.685                  | 0.610              |
|             | 0.01            | 0.670                  | 0.600              | 0.658                  | 0.585              | 0.630                  | 0.569              |
|             | 0.05            | 0.659                  | 0.590              | 0.642                  | 0.575              | 0.620                  | 0.558              |
|             | 0.1             | 0.650                  | 0.579              | 0.633                  | 0.564              | 0.611                  | 0.549              |
|             | 0.5             | 0.640                  | 0.568              | 0.625                  | 0.555              | 0.603                  | 0.538              |
| 0.3         | -               | 0.740                  | 0.650              | 0.740                  | 0.650              | 0.740                  | 0.650              |
|             | 0.01            | 0.728                  | 0.641              | 0.714                  | 0.620              | 0.690                  | 0.614              |
|             | 0.05            | 0.720                  | 0.630              | 0.703                  | 0.611              | 0.680                  | 0.605              |
|             | 0.1             | 0.708                  | 0.619              | 0.689                  | 0.602              | 0.671                  | 0.594              |
|             | 0.5             | 0.700                  | 0.610              | 0.680                  | 0.593              | 0.660                  | 0.586              |
| 3.0         | -               | 0.809                  | 0.700              | 0.809                  | 0.700              | 0.809                  | 0.700              |
|             | 0.01            | 0.795                  | 0.690              | 0.780                  | 0.674              | 0.760                  | 0.660              |
|             | 0.05            | 0.782                  | 0.678              | 0.769                  | 0.665              | 0.752                  | 0.652              |
|             | 0.1             | 0.770                  | 0.670              | 0.758                  | 0.654              | 0.741                  | 0.641              |
|             | 0.5             | 0.759                  | 0.660              | 0.749                  | 0.645              | 0.730                  | 0.632              |

Қимматҳои гирифташудаи таҳқиқоти рафтори электрохимиявии хӯлаи AlTi0.1, бо иловаҳои металлӣ Ca, Sr ва Ba дар чадвали 9-10 оварда шудаанд. Мувофиқи ин ададҳо, бо афзоиши миқдори иловаҳо, потенциали коррозияи хӯлаи AlTi0.1 ба самти афзоиш ҳаракат мекунад. Инчунин, бо зиёд шудани миқдори иловаҳои Ca, Sr ва Ba, потенциалҳо ба монанди питтинг ва репассиватсия зиёд мешаванд, чунин ададҳо дар тамоми муҳитҳои таҳқиқоти гузаронидашуда мушоҳида карда шуданд. Бояд қайд кард ки дар байни ҳар се илова потенциалҳои хӯлаҳои алюминий бо барий ададҳои беҳтаринро нишон медиҳанд (ҷадвали 9). Ва ҳангоми гузаронидани таҳқиқот намунаҳо муайян карда шуданд, яъне рақамҳо нишон доданд, ки миқдори ионҳои хлорид дар муҳити моеъ таъсири мустақим дорад ва бо афзоиши он инчунин коррозияи озод шиддат мегирад. Чунин қонуният дар ҷараёни таҳқиқоти ҳамаи намунаҳо новобаста аз таркиб пайгирӣ карда шуд.





Расми 10 - Качхатаҳои анодии поляризация: 1 - ҳӯлаи ибтидоии AlTi0.1, 2 - бо Ca 0.01%; 3 - бо Ca 0.05%; 4 - бо Ca 0.1%; 5 - бо Ca 0.5, дар муҳити электролити моеъ бо миқдори NaCl: а - 0.03% ва б - 3%

Ҷадвали 10 - Бузургии зичии ҷараён ва суръати зангзанӣ барои ҳӯлаи AlTi0.1 ва тағирёбии онҳо дар натиҷаи илова кардани Ca, Sr ва Ba

| Муҳити NaCl | Миқдори иловаҳо | Суръати коррозия                      |  |                                       |  |                                       |  |
|-------------|-----------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
|             |                 | Ca                                    |  | Ba                                    |  | Sr                                    |  |
|             |                 | $i_{корр.} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{корр.} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{корр.} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ |
| вазн. %     |                 |                                       |  |                                       |  |                                       |  |
| 0.03        | -               | 0.048                                 | 16.0   | 0.048                                 | 16.0   | 0.048                                 | 16.0   |
|             | 0.01            | 0.046                                 | 15.4   | 0.044                                 | 14.7   | 0.042                                 | 14.0   |
|             | 0.05            | 0.044                                 | 14.7   | 0.042                                 | 14.0   | 0.039                                 | 13.0   |
|             | 0.1             | 0.042                                 | 14.0   | 0.040                                 | 13.4   | 0.037                                 | 12.3   |
|             | 0.5             | 0.040                                 | 13.4   | 0.038                                 | 12.7   | 0.035                                 | 11.2   |
| 0.3         | -               | 0.068                                 | 22.7   | 0.068                                 | 22.7   | 0.068                                 | 22.7   |
|             | 0.01            | 0.066                                 | 22.1   | 0.064                                 | 21.4   | 0.062                                 | 20.7   |
|             | 0.05            | 0.064                                 | 21.4   | 0.062                                 | 20.7   | 0.059                                 | 19.7   |
|             | 0.1             | 0.062                                 | 20.7   | 0.060                                 | 20.1   | 0.057                                 | 19.0   |
|             | 0.5             | 0.060                                 | 20.1   | 0.058                                 | 19.4   | 0.055                                 | 18.4   |
| 3.0         | -               | 0.086                                 | 28.8   | 0.086                                 | 28.8   | 0.086                                 | 28.8   |
|             | 0.01            | 0.084                                 | 28.1   | 0.082                                 | 27.4   | 0.080                                 | 26.8   |
|             | 0.05            | 0.082                                 | 27.4   | 0.080                                 | 26.8   | 0.077                                 | 25.7   |
|             | 0.1             | 0.080                                 | 26.8   | 0.078                                 | 26.1   | 0.075                                 | 25.1   |
|             | 0.5             | 0.078                                 | 26.1   | 0.076                                 | 25.4   | 0.073                                 | 24.4   |

Бо гузаронидани тадқиқотҳои дар боло зикршуда ба хулосаи илмӣ омадем, ки агар консентратсияи ионҳои Cl дар муҳити моеъи корӣ зиёд шавад, шиддати раванди коррозсионӣ ва зичии ҷараён меафзояд. Чунин қонуният ҳангоми гузаронидани корҳо новобаста аз намуди ҳӯла ва



таркиби он мушоҳида карда шуд. Арзишҳои ба даст омадаи натиҷаҳои таҳқиқот дар ҷадвали 10 муфассалтар оварда шудааст.

Дар натиҷа муайян карда шуд, ки устувории хӯлаҳо дар натиҷаи илова кардани калсий, стронсий ва барий тақрибан 10-15 фоиз баландтар шудааст. Чунин натиҷаҳо ҳангоми таҳқиқот дар муҳити маҳлули моеъи NaCl ба даст оварда мешаванд.

## ХУЛОСА

1. Омӯзиши сарчашмаҳои илмӣ ва таҳқиқоти мутахассисони ин самт асосҳои илмиро дар бораи гузаронидани корҳо оид ба имконпазирии ҳосил кардани хӯлаҳо дар асоси AlTi0.1 бо Ca, Ba, Sr, инчунин омӯзиши муфассали механизми тағйиребии хосиятҳо дар натиҷаи илова кардани ин металлҳо ба хосиятҳои физико-химиявӣ, механикӣ ва истифодакунӣ, инчунин таъсири омилҳои гуногун ба ин хосиятҳои хӯлаҳои нав.

2. Озмоишҳо оид ба муайян кардани параметрҳои механикии хӯлаи гирифташуда дар натиҷаи илова кардани металлҳои Ca, Ba, Sr гузаронида шуданд. Ин таҷрибаҳо нишон доданд, ки бо афзоиши микдори металлҳои номбаршуда, яке аз хосиятҳои муҳимтарини хӯлаҳо саҳтӣ низ тағйироти мусбатро нишон медиҳад. Дар ҷараёни ин корҳо инчунин тағйиребии микроструктураи хӯлаи ибтидоии AlTi0.1 ва таъсири ҳар як металлҳои иловашуда ба микроструктура тадқиқ карда шуд. Дар натиҷаи таҳлили тасвирҳои микроструктура, ба хулосае омадем, ки ҳамаи металлҳои иловашуда ба микроструктура таъсири мусбат мерасонанд ва ба он оварда мерасонанд, ки донаҳо хеле хурдтар мешаванд, ки сабаби тағйирот дар хусусиятҳои хӯлаҳо мегардад.

3. Тадқиқотҳои параметрҳои теплофизикии дар натиҷаи иловакунӣ металлҳо нишон доданд, ки иловаҳо ба бузургии гармиғунҷоиш таъсири манфӣ мерасонанд. Афзоиши гармиғунҷоиш бо афзоиши ҳарорати корӣ мушоҳида карда шуд. Мувофиқи маълумоти гирифташуда, бузургии иқтидори гармии намунаҳои Ca нисбат ба Sr камтар аст ва намунаҳо бо иловаи Ca бузургии баландтаринро нишон медиҳанд [1-2, 12-М].

4. Тадқиқотҳои гузаронида барои муайян кардани функцияҳои термодинамикии хӯлаҳо нишон доданд, ки дар суръати аз хӯла бо калсий, ба хӯла бо стронсий ва барий гузаштан, бузургии энтальпия (H) ва энтропия (S) коҳиш меёбанд. Бузургии энергияи Гиббс ( $\Delta G$ ) баръакс. Бо баланд шудани ҳарорат бузургии нишондаҳандаҳои энтальпия (H) ва энтропия (S) баланд шуда, энергияи Гиббс ( $\Delta G$ ) коҳиш меёбад [7, 9, 13-14-М].

5. Тадқиқоти оксидшавии хӯлаи ибтидоӣ ва хӯлаҳои ба даст овардашуда бо иловаҳои Ca, Ba ва Sr бо интиҳоби усули термогравиметрия гузаронида шуд. Қонуниятҳои асосии ҷараёни оксидшавӣ дар шакли саҳт муайян карда шуданд. Натиҷаҳо нишон доданд, ки оксидшавӣ тибқи қонуни гиперболикӣ сурат мегирад ва

суръати оксидшавӣ тақрибан  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> дорад: таҳлили маълумот нишон дод, ки барои оғози раванди оксидшавии хӯлаи ибтидоии AlTi0.1 микдори зиёди энергия лозим буда, барои хӯлаҳое, ки дорои иловаи Ва нисбатан камтар лозим аст [3-4-М].

6. Натиҷаҳои таҳлили фаза бо усули тадқиқоти рентгенӣ нишон доданд, ки дар таркиб чузъҳои оксидии зерин мавҷуданд: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; AlO; TiO; TiO<sub>2</sub>; Ti<sub>6</sub>O; Ti<sub>2</sub>O; Ti<sub>0.912</sub>O<sub>2</sub>; Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>; Ti<sub>3</sub>O; TiO<sub>0.892</sub>; (SrO)<sub>2</sub>TiO<sub>2</sub>; CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; CaO<sub>2</sub>; BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; Ba<sub>4</sub>Al<sub>5</sub>.

7. Нишондиҳандаҳои электрохимиявии параметрҳои хӯлаи ибтидоии AlTi0.1 ва хӯлаҳои дар асоси он синтезшуда, ки дорои Ca, Ba, Sr мебошанд, дар муҳити моеъи маҳлули NaCl тадқиқ карда шуданд. Муайян карда шуд, ки илова кардани 0,5% ҳар як металл боиси он мегардад, ки намунаҳо ба вайроншавии электрохимиявӣ 15% тобовартар мешаванд. Қонунияти тағйирот дар муқовимати хӯлаҳо ба вайроншавӣ инчунин аз шумораи ионҳои хлорид дар муҳити тадқиқотӣ мушоҳида карда шуд. Яъне, ҳар қадар хлоридҳо зиёд бошанд, ҳамон қадар зангзании намунаҳо шадидтар мешавад [5-6, 10-11, 15-16-М].

8. Пас аз гузаронидани тамоми озмоишҳо ва таҳлилҳо, мо маълумотро дар бораи ҳамаи хӯлаҳои ҳосилшуда ба низом даровардем ва таҳлил кардем. Ин маълумот ба мо имконият дод, ки ҳуқуқи муаллифро ба қайд гирифта нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистонро соҳиб шавем. Инчунин, хӯлаи ҳосилкарда дар корхонаи калони саноатии "ТалКо Кабел" озмоиш карда шуда самаранокии худро барои истифода ҳамчун маводи ибтидоӣ барои истехсоли симҳои гуногун тасдиқ кард [8-М].

#### **Тавсияи муаллиф барои истифодаи эҳтимолии натиҷаҳои кори илмӣ.**

1. Қонуниятҳо ва арзишҳои бадастомада тасаввурот дар бораи металлҳо ба монанди Ca, Ba ва Sr ҳангоми илова кардани онҳо ба хӯлаи алюминийи AlTi0.1 медиҳанд. Ин маълумотҳо натиҷаи таҳқиқоти илмӣ мебошанд ва заминаи адабиро пурра мекунанд ва метавонанд барои мутахассисони металлургия ва маводшиносӣ маълумоти муфид бошанд.

2. Таркиб ва усулҳои таҳияшудаи ҳосилкардани хӯлаҳо барои истифода дар корхонаҳои саноатӣ, ки дар соҳаи ноқилҳо, электротехника, металлургия ва дигар соҳаҳо бо хӯлаҳои алюминий кор мекунанд, тавсия дода мешавад.

## НАТИЧАҲОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН ДАРЧ ЁФТААНД

**Мақолаҳое, ки дар маҷалаҳои илмии аз тарафи ҚОА назди  
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон эътироф гардидаанд, инчунин дар  
маҷаллаҳои ба Scopus ва Web of Science дохилшуда.**

[1-М]. Ганиев, И.Н. Влияние кальция на удельную теплоемкость и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш Зокиров, А.Г. Сафаров // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2023. Т. 26. № 1. С. 76-84 (**Scopus – Q3**).

Ganiev I.N. Influence of calcium on specific heat capacity and changes in thermodynamic functions of aluminum conductor alloy AlTi0.1 / I.N. Ganiev, R.J. Faizuloev, F.Sh. Zokirov, A.G. Safarov // Modern Electronic Materials. 2023; 26(1): P.76–84 (**SCOPUS - Q3**).

[2-М]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 со стронцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш Зокиров, Н.И. Ганиева // Теплофизика высоких температур. 2023. Т.61. №3. С. 376-381 (**Scopus – Q2**).

Ganiev I.N. Temperature dependences of the heat capacity and thermodynamic functions of aluminum conducting alloy AlTi0.1 with strontium / I.N. Ganiev, **R.J. Faizuloev**, F.Sh. Zokirov, N.I. Ganieva // High Temperature. 2023. Vol.61. No.3. P. 344-349 (**Scopus – Q2**).

[3-М]. Ганиев, И.Н. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Журнал физической химии. 2024. Т. 98. № 1. С. 81-89 (**Scopus – Q4**).

Ganiev I.N. Kinetics of oxidation of aluminum conduct alloy AlTi0.1 with calcium in the solid state / I.N. Ganiev, **R.J. Faizuloev**, F.Sh. Zokirov, M.M. Makhmadizoda // Russian Journal of Physical Chemistry. 2024. Vol. 98. No 1. P. 78-86 (**Scopus – Q4**).

[4-М]. Ганиев, И.Н. Влияние стронция на кинетику окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Перспективные Материалы. 2024. № 5. С. 37-47 (**Scopus – Q2**).

[5-М]. Ганиев, И.Н. Влияние кальция на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Известия Санкт-Петербургский государственный технологический института (технический университет). 2021. № 58(84). С. 33-37.

[6-М]. Ганиев, И.Н. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров //

«Вестник Саратовский государственный техническим университет». 2023. №3 (98). С. 76-88.

[7-М]. Ганиев, И.Н. Вобастагии хароратии иктидори гармӣ ва функцияҳои термодинамикии хӯлаи ноқилии алюминийи AlTi0.1 бо барий / И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, **Р.Қ. Файзулов** // Паёми политехникӣ. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ. 2024. №1 (65). С. 78-86.

#### **Ихтироот дар мавзӯи рисола:**

[8-М]. Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ 1340. Хӯлаи алюминии электротехникӣ / И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Шокиров, Ф. Холмуродов, К. Ботуров, А.Ғ. Сафаров, Ф.Ш. Зокиров, **Р.Қ. Файзулов**, У.Ш. Якубов, А.Р. Рашидов, / №2201653; ариза 17.03.2022с., чоп 30.01.2023с. (Санади таҷрибавии санҷишӣ - саноатӣ «Хӯлаи ноқилии алюминий» аз 17.03.2023с.).

#### **Мақолаҳои ки дар маҷаллаҳои конференсияҳои байналмилалӣ ва Ҷумҳуриявӣ аз чоп баромаданд.**

[9-М]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Вестник Института энергетики Таджикистана (Научный журнал). Серия инженерных, инновационных и инвестиционных исследований. 2022. № 3(3). С. 28-33.

[10-М]. Ганиев, И.Н. Потенциодинамическое исследование алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1 с барием, в среде электролита 0,03%-ного NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Межд. научно-техн. конф. «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана». Ташкент. 2023. С. 287-288.

[11-М]. Ганиев, И.Н. Потенциодинамическое исследование алюминиевого проводникового сплава AlTi0,1% с кальцием, в среде электролита 0,03%-ного NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, Холикова Л. // Мат. Межд. научно-техн. конф. «Минские научные чтения 2023», «Технологическая независимость и конкурентоспособность союзного государства, СТРАН СНГ, ЕАЭС И ШОС». Белорусский государственный технологический университет. Минск. 2023. Т.2. С. 66-70.

[12-М]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 со стронцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Межд. научно-практ. конф. «XIII Ломоносовские чтения», часть III. Естественные науки, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе. 2023. С. 159-164.

[13-М]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию

Государственной независимости РТ, ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана. –Душанбе. 2023. С. 50-53.

[14-М]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с барием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости РТ, ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана. – Душанбе. 2023. С. 206-209.

[15-М]. Ганиев, И.Н. Потенциал свободной коррозии алюминиевого сплава AlTi0,1% с кальцием, в среде 0.3%-ного электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, **Р.Дж. Файзулов** // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук», посвященной 30-летию независимости РТ и 25-летию РТСУ. –Душанбе. 2021. С. 88-92.

[16-М]. Ганиев, И.Н. Потенциал свободной коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 со стронцием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов», Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана. Душанбе. 2021. С. 25-28.

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

**УДК 615.011.4-034.89:546.62**

**ББК 34.303.2**

*На правах рукописи*



**ФАЙЗУЛОЕВ Рустам Джалилович**

**ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ФИЗИКО-  
ХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА АITi0.1**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Душанбе – 2025

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

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

**Официальные оппоненты:** **Мабаткадамзода Кимё Сабзкадам** - доктор химических наук, доцент, доцент кафедры «Неорганическая химия», Таджикского национального университета

**Мухаббатов Хушнуд Курбонович** - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экспериментальная физика», Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни

**Ведущая организация:** Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава

Защита состоится «15» мая 2025 г. в «9<sup>00</sup>» часов на заседании диссертационного совета 6Д.КОА-028 при Таджикском техническом университете им. М.С. Осими по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10. E-mail: [adliya69@mail.ru](mailto:adliya69@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Таджикского технического университета им. М.С. Осими, [www.ttu.tj](http://www.ttu.tj)

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент



Бабаева А.Х.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования:** В связи с тем, что алюминий — легкий металл, обладает хорошей проводимостью, высокой устойчивостью к коррозии и легко поддается обработке, алюминий и ряд сплавов на его основе широко используются в электротехнике в качестве заменителя дорогих медных проводников.

Алюминий известен в электротехнике очень давно. Однако до сих пор область применения алюминия ограничивалась линиями электропередачи и, в некоторых случаях, силовыми кабелями. В электромонтажной промышленности преобладали медь и свинец. Конструкции элементов токопроводящих кабельных сетей изготавливались из меди, а их металлические оболочки - из свинца или сплавов на его основе.

На протяжении десятилетий (впервые свинцовые покрытия были предложены для защиты кабельных проводов в 1851 году) свинец был единственным материалом, используемым для покрытия кабелей. В этой роли не смотря на следующие недостатки: высокая плотность, низкая прочность и редкость очень широко использовались, поэтому исследователи были вынуждены провести научно-исследовательскую работу, чтобы найти другой металл, способный достойно заменить свинец. Он оказался алюминиевым. Начало использования алюминия в этой роли произошло в 1939 году, но начало работ датируется 1928 годом. Однако существенные изменения в использовании алюминия в технологии электромонтажа произошли в 1948 году при разработке и освоении технологии производства алюминиевых крышек.

Медь также была единственным металлом для производства проволочных сеток в течение многих десятилетий. Исследования материалов, которые могут заменить медь, показали, что таким металлом может быть алюминий. Таким образом, заменив два разных по назначению металла, алюминий вошел в кабельную технологию. Эта замена имеет ряд преимуществ. Во - первых, возможность использования алюминиевого покрытия в качестве нулевого проводника — это экономия металла и снижение веса. Во-вторых, более высокая прочность. В-третьих, простота установки, снижение транспортных расходов и стоимости кабеля и т. д.

Для воздушных линий электропередачи используются алюминиевые проводники. Но это требует много усилий и много времени, чтобы заменить. Есть много видов обработки, которые они используют в зависимости от конкретной ситуации. Алюминиевые проводники, обладающие высокой прочностью и высокой устойчивостью к изгибу, получают прокаливанием магнием, кремнием и железом.

Также кабели, изготовленные из алюминия и стали, используются для прокладки длинных линий, которые проходят через множество препятствий. В некоторых случаях расстояние между этими



удерживающими тросами и реками может достигать 1500 метров. В то же время от проводников требуется, чтобы они обладали высокой электропроводностью, а также повышенной прочностью, не теряя работоспособности даже при нагревании до температур 150-350 °С.

Еще одним недостатком кабелей, изготовленных из алюминия, является их низкая прочность, прочность под воздействием температуры. Как правило, повышение термической стабильности проводника достигается путем введения в алюминий переходного металла, такого как цирконий, который после специальной термической обработки в дисперсионной матрице  $Al_3Zr$  образует стабильную микроструктуру, благодаря чему механические свойства стабилизируются повышением рабочей температуры до 230 °С.

По этой же причине получение новых сплавов на основе алюминия, которые демонстрируют хорошие электропроводящие свойства, высокую прочность и термостойкость, является весьма актуальной задачей современного материаловедения. В настоящее время ведутся работы по повышению прочности и устойчивости проводников к нагреву путем изменения химического состава с переходными и редкоземельными металлами, одновременно с использованием 7 методов термической деформационной обработки (ТДО).

При чтении литературы оказалось, что влияние добавления щелочноземельных металлов на свойства сплава  $AlTi0.1$  не изучалось, поэтому мы выбрали эту тему для исследования и добавили в сплав  $AlTi0.1$  металлы Ca, Ba, Sr. Полученные данные могут быть добавлены в литературу по данной специальности, могут быть полезны экспертам и специалистам, а также могут быть выбраны в качестве основного материала при планировании и изготовлении деталей и корпусов.

**Степень научной разработанности изучаемой проблемы:** вопросы изучения и улучшения физико-химических и механических свойств сплавов на основе алюминия находятся под особым вниманием ученых и исследователей. В том числе отечественные специалисты, такие как академик д.х.н., профессор, Ганиев И.Н., к.т.н. Джайлоев Дж.Х., к.т.н. Худойбердизода С.У. и к.т.н. Зокиров Ф.Ш. и другие проводят исследования в этой области.

**Связь исследования с программы (проекты), научной тематикой:** тема диссертационной работы является частью научного проекта «Разработка состава новых токопроводящих алюминиевых сплавов и рекомендаций по их применению для предприятий Республики Таджикистан», который реализуется лабораторией «Коррозионно-стойкие материалы» Национального исследовательского университета имени В.И. Никитин НАН Таджикистан» разработан на 2021-2025 годы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

**Цель исследования:** заключается в выявлении основных физико-химических, механических, термодинамических, кинетических и анодных свойств сплава AlTi0.1 который получен на основе алюминия и легирован металлами Ca, Ba и Sr.

### **Задачи исследования.**

- Изучить структуру и ее модификацию при добавлении Ca Ba и Sr. Определить изменение механических свойств исходного сплава AlTi0.1 в результате модификации;
- Выявить закономерность изменения теплофизических и термодинамических величин в зависимости от температуры рабочей среды;
- Методом непрерывного взвешивания исследовать кинетику окисления образцов в твердом состоянии, изучить механизм окислительного процесса синтезированных образцов;
- Провести рентгенофазовый анализ и определить образовавшиеся после окисления вещества;
- Провести работу над определением концентрационной зависимости электрохимического поведения и коррозионную стойкость сплава AlTi0.1 от добавления металлов Ca, Ba и Sr. Также определить изменение параметров коррозии образцов с увеличением или уменьшением содержания ионов Cl<sup>-</sup>;
- Определить содержание добавок в трехкомпонентном сплаве на основе проведенных физико-химических исследований которое бы придало лучшие эксплуатационные и коррозионностойкие свойства, а также предложить вероятные сферы, где эти сплавы могут быть использованы.

**Объекты исследования:** сплавы алюминия различного назначения, в частности используемые в машиностроении, авиации, в электротехнике и т.д. а именно алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1.

**Предмет исследования:** являлся синтез новых алюминиевых проводниковых сплавов AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием.

**Методы исследования:** определение теплоёмкости сплавов в режиме «охлаждения» с использованием автоматической регистрации температуры образца от времени охлаждения; термогравиметрический метод исследования кинетики окисления металлов и сплавов в твёрдом состоянии; электрохимический метод исследования анодных свойств сплавов потенциостатическим методом.

### **Научная новизна исследования заключается в следующем:**

- Показаны изменения в микроструктуре исходного AlTi0.1 в результате добавления металлов Ca, Ba и Sr. Выявлено что добавки положительно влияют на микроструктуру и делают ее более мелкой. Чем больше величина добавки, тем мельче микроструктура;

- Исследование механических свойств, а именно твердости и прочности показали, что в результате легирования значения твердости и соответственно прочность сплавов увеличивается;

- Было замечен сдвиг в сторону увеличения значения теплоемкости, энтальпии и энтропии образцов при увеличении температуры в рабочей среде. Данная зависимость наблюдалась при изучении всех образцов не зависимо от состава и содержания;

- Определено что увеличение концентрации добавок Ca, Ba и Sr основные теплофизические показатели сплавов энтальпия и энтропия уменьшаются, но энергия Гиббса увеличивается;

- Исследования процесса окисления при высоких температурах показал, что с увеличением температуры в рабочей среде, а также содержания добавок (Ca, Ba и Sr) интенсивность окисления образцов возрастает.

- Определили образовавшиеся в результате твердофазного окисления вещества после рентгенофазового исследования. В данной рентгенограмме были выявлены такие вещества как: AlO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO, Ti<sub>6</sub>O, Ti<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>, Ti<sub>0.912</sub>O<sub>2</sub>, Ti<sub>3</sub>O, TiO<sub>0.892</sub>, CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, CaO<sub>2</sub>, (SrO)<sub>2</sub>TiO<sub>2</sub>, BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Ba<sub>4</sub>Al<sub>5</sub>. Также установили уровень и роль добавок в образовании и формообразовании новых веществ в результате окислительного процесса;

- Выявлена концентрационная зависимость добавок легирующих элементов на электрохимические свойства проводниковых сплавов AlTi0.1. Было определено, что данные добавки улучшают сопротивляемость сплавов к коррозии до 15%. Чем больше содержание добавок, тем выше коррозионная стойкость сплавов. Увеличение содержания Cl<sup>-</sup> становится причиной более интенсивного корродирования исследованных образцов всех изученных составов.

**Практическая ценность исследования.** На основе выполненных экспериментальных исследований установлены оптимальные концентрации кальция, стронция и бария в алюминиевом проводниковом сплаве AlTi0.1, повышающих его коррозионную стойкость. Результаты работы могут быть использованы в радиоэлектронике, вычислительной технике, электротехнике, в бытовой технике при разработке методов и технологий получения, окрашенных анодных оксидных пленок с заданными функциональными свойствами на алюминии и его сплавах. Выполненные научные исследования послужили основой для разработки состава новых материалов, которые защищены малым патентом Республики Таджикистан ТД №1340 от 17.03.2022 г.

**Теоретическая ценность исследования.** В диссертации изложены теоретические аспекты исследований: доказательства влияния структуры, изменений параметров твердости и прочности, температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций, закономерности изменения коррозионно-электрохимических,

кинетических и энергетических характеристик процесса окисления сплава алюминия AlTi0.1 с щелочноземельными металлами; влиянии коррозионной среды и концентрации легирующих добавок на коррозионную стойкость и окисляемость алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- Полученные значения измерения твердости и расчетной прочности синтезированных сплавов. Определение зависимости теплоёмкости от температуры и изменение термодинамических функций сплава AlTi0.1 в результате добавления Ca, Ba, Sr.
- Результаты окисления всех исследуемых образцов при высоких температурах и определение этапов механизма взаимодействия сплава с кислородом воздуха.
- Измерение интенсивности корродирования полученных сплавов на основе сплава AlTi0.1 и установление общих электрохимических показателей полученных новых сплавов.
- Полученные в результате исследования новые сплавы с добавками, у которых более высокая характеристика устойчивости к электрохимической коррозии, окисления при высокой температуре, которые могут быть применены в электрокабельной индустрии.

**Достоверность научных положений, полученных результатов и выводов** исследований обеспечивается применением современных методов исследований на тарированных модернизированных и усовершенствованных приборах и установках, их воспроизводимостью и сравнением результатов с данными других авторов.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Результаты диссертационной работы, особенно научная новизна соответствуют следующим пунктам паспорта перечня специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по направлению специальности 05.02.01-Материаловедение (05.02.01.02 - машиностроение):

**пункт – 1.** Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальной взаимосвязи состава и структуры материалов с сочетанием физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий;

**пункт – 2.** В физико-химических и физико-механических процессах;

**пункт – 3.** Разработка научных основ выбора материалов для заданных свойств в конкретных условиях производства и применения изделий и конструкций;

**пункт – 4.** Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функционными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной стоимостью и экологической чистотой;

**пункт – 10.** Разработка способов повышения коррозионной стойкости материалов в различных условиях эксплуатации.

**Личный вклад автора** 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 и реализация результатов диссертации:** Основные положения диссертации обсуждались на: Республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы естественных наук», Российско-Таджикский (Славянский) университет. (Душанбе, 2021); Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов», «Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана», (Душанбе, 2022); Международной научно-практической конференции «XIII Ломоносовские чтения», посвященная 115-летию академика Бободжона Гафурова, часть III. Естественные науки, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, (Душанбе, 2023); Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана», Институт общей и неорганической химии Министерство высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан, (Ташкент, 2023); Республиканской научно-практической конференции «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана, (Душанбе, 2023); Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения - 2023». «Технологическая независимость и конкурентоспособность союзного государства, СТРАН СНГ, ЕАЭС И ШОС». Белорусский государственный технологический университет, (Минск, 2023).

**Публикации по теме диссертации.** По результатам исследований опубликовано 15 научных работ, из них 7 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ и ВАК при Президенте Республики Таджикистан и входящих в базу данных Scopus, получен 1 малый патент Республики Таджикистан и на основе этого патента автором получен акт опытно-промышленного испытания сплавов в ООО «Нокили ТАЛКо».

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и приложения, изложена на 183 страницах компьютерного набора, включает 65 рисунка, 54 таблиц, 149 библиографических наименований.

## ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ РАБОТЫ

**Введение** содержит теоретические и практические обоснования к изучению данной тематики, приведена структура и описание научной работы.

**Первая глава** содержит рассмотренные литературные источники и проведенные исследования учеными данного направления. Описана микроструктура и ее изменения вследствие добавления щелочноземельных металлов; механические свойства, а именно твердость и прочности исследованных образцов; стойкость образцов из синтезированных сплавов при погружении и исследовании различных потенциалов в жидкой среде; изучение интенсивности и взаимодействия образцов с кислородом воздуха при проведении окисления при высоких температурах;

Рассмотрев доступную литературу, пришли к выводу что данный сплав широко распространен и достаточно изучен, но есть возможность провести легирование металлами типа Ca, Ba, Sr и анализировать полученные результаты и изменения в свойствах. Это стало причиной, и мы избрали данный сплав и тему для проведения научно-исследовательской работы и на практике узнать результаты и закономерности.

### ГЛАВА 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА $AlTi_{0.1}$ С МЕТАЛЛАМИ ИЗ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНОЙ ПОДГРУППЫ

Одним из важных параметров, влияющих на механические свойства сплавов является микроструктура материалов. Изменяя микроструктуру, расположение элементов в пространстве, их размеры, а также фазовый состав можно добиться значительных изменений в свойствах материалов. Из-за этого изучение микроструктуры и способов влияния на них находится в фокусе исследователей материаловедения.

В ходе этой работе определяли уровень влияния металлов Ca Ba и Sr на структурное строение сплава и вследствие этого изменения в механических свойствах. Для этого брали лабораторный микроскоп, предназначенный для исследования различных материалов марки Биомед 1, который также позволяет исследовать структуру металлов и сплавов. Полученные изображения микроструктуры синтезированных сплавов приведены на рисунке 1. Данные изображения получены при увеличении  $10\times(x=40)$ . По полученным итогам стало видно, что в случае добавления 0.5% Ca в сплав  $AlTi_{0.1}$ , его микроструктура претерпевает значительные изменения и зерна становятся мельче. Также было замечено, что в случаях, когда в сплав добавляли Ca Ba и Sr наблюдали образование эвтектик, которые определенно вносят изменения во все свойства, включая механические.

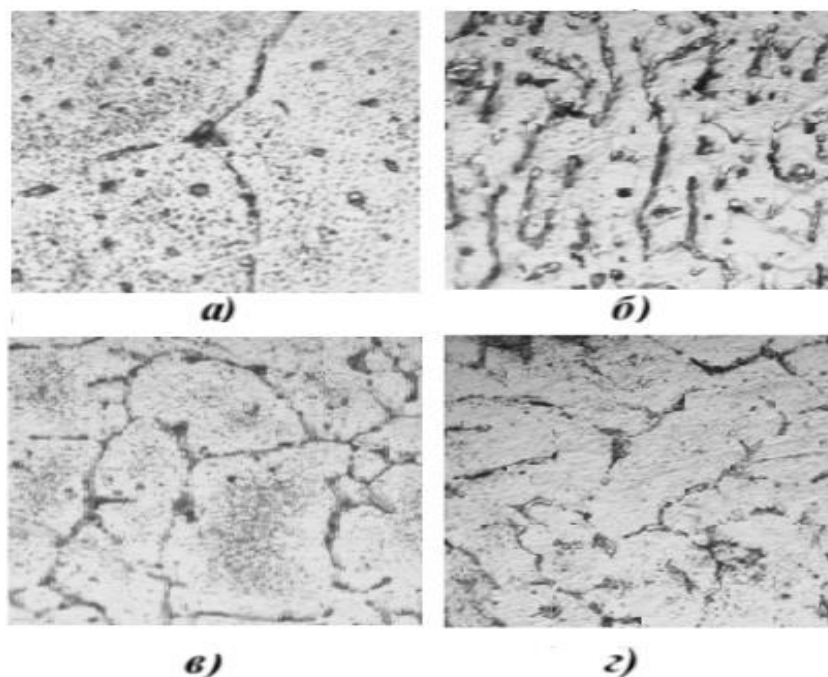


Рисунок 1 – Графическое представление микроструктуры сплава AlTi0.1 (а) и сплавов на его основе с добавлением в него 0.5% (б) Ca, (в) Sr и (г) Ва

Повышение твердости и механических характеристик разрабатываемых сплавов является актуальной задачей всех исследователей, т.к. от этого зависит пригодность его использования и целесообразность проведенных работ. Так как каждая добавка изменяет свойства сплавов в том или ином направлении и это имеет прямое отношение к тому насколько изделие из данного материала или сплава будет пригодно к использованию и срок его службы.

Для определения этих свойств нами была выбрана технология и методы, которые уже показали свою надежность, точность и воспроизводимость. Исследовав возможные способы, остановились на методе тестирования твердости твердомером марки ТШ-2, этот прибор прост в использовании и не требует особых условий для проведения, исследованные образцы могут иметь различный размер и форму. Методом, по которым были определены эти значения был метод Бринелля, который выдает точные значения в результате несложных расчетов.

С целью проведения тестов на твердость и прочность, используя синтезированные сплавы используя метод литья в графитовых тиглях, были получены образцы, которые имели определенные габариты (10 x16 мм). Далее эти образцы были подвергнуты испытаниям по приведенному выше методу. Полученные значения твердости приведены в таблице 1. При анализе результатов можно заметить, что при добавлении Ca Sr Ba, с ростом концентрации этих добавок соответственно растет и значения твердости и прочности. Барий имеет наибольшее положительное влияние среди трех добавленных металлов на твердость.

Таблица 1 – Результаты испытаний параметров: твёрдость и прочность (расчетная) сплава AlTi0.1 с Ca, Sr, Ba

| Добавка и её содержание, (масс. %) | *Твёрдость НВ, МПа | Расчетная прочность, МПа |
|------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 0,0                                | 181,1              | 44,42                    |
| 0,01Ca                             | 230,8              | 56,60                    |
| 0,05Ca                             | 244,5              | 59,96                    |
| 0,1Ca                              | 244,5              | 59,96                    |
| 0,5Ca                              | 251,8              | 61,74                    |
| 0,01Sr                             | 224,4              | 55,03                    |
| 0,05Sr                             | 230,8              | 56,60                    |
| 0,1Sr                              | 251,8              | 61,74                    |
| 0,5Sr                              | 259,4              | 63,61                    |
| 0,01Ba                             | 244,5              | 59,96                    |
| 0,05Ba                             | 251,8              | 61,74                    |
| 0,1Ba                              | 267,3              | 65,55                    |
| 0,5Ba                              | 267,3              | 65,55                    |

*\*приведены результаты среднего значения трех измерений твердости.*

Еще одним из важных параметров которых мы рассматривали в ходе исследования – это теплофизические параметры. Теплофизические свойства измеряли используя оборудования прошедшие широкое апробирование. Подробнее об установке приведено в полном тексте диссертации. Данное оборудование показывает низкие значения ошибок или неточностей и при проведении измерения при температурах от 40 и до 400 градусов составляет 99 %, что является хорошим показателем. При исследовании параметров теплоемкости были получены результаты с точностью до 96 %. При наших исследованиях значения отклонений равнялось 1,5%. Необходимо отметить, что температура в рабочей среде может влиять и на точность измерений.

Использование компьютерной техники, а именно программ предназначенных для анализа чисел, для проведения расчетов, а самое главное программ, которые позволяют выводить полученные результаты в виде графиков и кривых, позволили упростить все проводимые расчеты и получить более точные данные.

Корреляционный коэффициент, который является важным показателем в нашем случае показал величину большую чем 0.998 что является подтверждением того, что аппроксимирующая функция была выбрана корректно.

Уравнением (1) можно показать изменение температуры образцов во времени которые были получены в результате расчетов и представлены на рис 2а.

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



На этой формуле коэффициенты -  $a, b, p, k$  являются постоянными, и соответственно  $\tau$  продолжительность охлаждения образцов. Для получения скорости охлаждения необходимо эту формулу продифференцировать по  $\tau$ .

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

Проводив расчёты с помощью (2)-й формулы мы получили значения скорости охлаждения всех образцов на основе сплава AlTi0.1 в который был добавлен металлический Ca в различном объеме, для определения уровня влияния концентрации. По полученным данным был построен график на рис. 2б который дает возможность оценить зависимость концентрации Ca на скорость охлаждения.

В табл.2 подробно приведены все коэффициенты из уравнения (2) и их изменения с ростом содержания добавок Ca в образце.

Таблица 2 – Величины коэффициентов для расчета скорости охлаждения по уравнению (2) для исследованных сплавов и эталона

| Содержание Ca, (масс. %) | $a, K$ | $b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$ | $p, K$ | $k \cdot 10^{-4}, c^{-1}$ | $a \cdot b, Kc^{-1}$ | $pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$ |
|--------------------------|--------|---------------------------|--------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 0.0                      | 495,45 | 4,94                      | 321,62 | 2,24                      | 2,45                 | 7,20                               |
| 0.01                     | 491,78 | 4,91                      | 323,29 | 2,15                      | 2,42                 | 6,94                               |
| 0.05                     | 491,78 | 4,91                      | 323,19 | 2,15                      | 2,42                 | 6,94                               |
| 0.1                      | 490,02 | 4,90                      | 326,37 | 2,08                      | 2,40                 | 6,79                               |
| 0.5                      | 490,02 | 4,90                      | 326,18 | 2,08                      | 2,40                 | 6,79                               |
| Эталон                   | 495,26 | 4,94                      | 319,82 | 2,26                      | 2,45                 | 7,24                               |

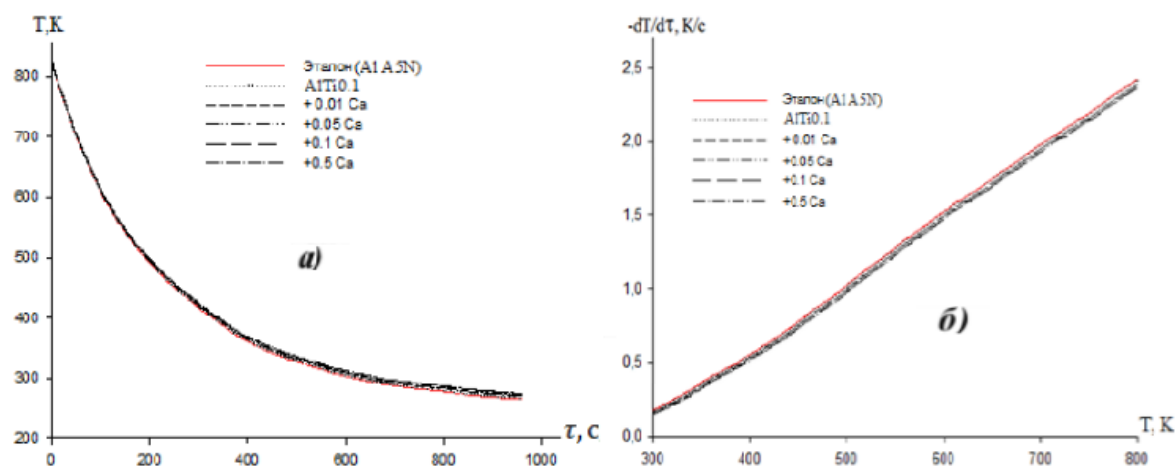


Рисунок 2 – Кривые изменения зависимости: а - температуры от продолжительности охлаждения; б - скорости охлаждения от температуры;

После этого, используя уравнение (3) на основе данных скорости охлаждения расчётным методом определена теплоемкость исходного проводникового сплава с дополнительно введенным в него кальцием:

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (3)$$

Выполнение полиномиальной регрессии позволило получить уравнение (4) которая показывает температурную связь удельной теплоемкости проводникового сплава AlTi0.1 с добавками металлического кальция. Для данной формулы были использованы коэффициенты величины, которых приведены в табл.3.

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

Таблица 3 – Величины использованных в уравнении (4) коэффициентов ( $a, b, c, d$ )

| Содержание Са, (масс. %) | $a$ , Дж/(кг·К) | $b$ , Дж/(кг·К <sup>2</sup> ) | $c \cdot 10^{-4}$ , Дж/(кг·К <sup>3</sup> ) | $d \cdot 10^{-7}$ , Дж/(кг·К <sup>4</sup> ) | Коэффициент корреляции R |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------|---|---|--------------------------|
| 0.0                      | 690.11          | 1.01                          | -12,7                                       | 9,08  | 0.9999                   |
| 0.01                     | 698,48          | 0,98                          | -12,6                                       | 9,08  | 0.9998                   |
| 0.05                     | 698,38          | 0,98                          | -12,6                                       | 9,08  | 0.9998                   |
| 0.1                      | 698,25          | 0,98                          | -12,6                                       | 9,08  | 0.9998                   |
| 0.5                      | 697,88          | 0,978                         | -12,6                                       | 9,06  | 0.9998                   |
| Эталон                   | 690.35          | 1.01                          | -12,7                                       | 9,13  | 1,0                      |

В табл. 4. приведены полученные в результате расчетов значения теплоемкости образцов. Также на основе этих данных построены кривые на рис. 3а. Согласно данным из этой таблицы, кальций отрицательно влияет на способность исходного сплава к поглощению теплоты, и можно констатировать предположение о том, что с ростом объема металлического кальция теплоемкость сокращается. К противоположности к этому, рост температуры при проведении измерений приводит к тому, что теплоемкостные параметры сплавов двигаются в сторону увеличения.

Основываясь на результатах теплоемкости, а также определенных ранее скоростей охлаждения, был выявлен расчетным методом коэффициент теплоотдачи с использованием (5) в зависимости от фактической температуры исследования:

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

График построенный согласно полученным значениям (рис. 3 б) показывает влияние величины температуры при проведении исследования на коэффициент теплоотдачи.

Таблица 4 – Изменение величины удельной теплоёмкости исследованных кальцийсодержащих образцов и сравнительного эталона

| Содержание Са,<br>(масс. %) | Т.К.    |        |        |         |         |         |
|-----------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
|                             | 300     | 400    | 500    | 600     | 700     | 800     |
| 0.0                         | 903,33  | 949,02 | 991,11 | 1035,04 | 1086,25 | 1150,21 |
| 0.01                        | 903,30  | 946,59 | 986,48 | 1028,41 | 1077,83 | 1140,18 |
| 0.05                        | 903,199 | 946,49 | 986,38 | 1028,31 | 1077,73 | 1140,08 |
| 0.1                         | 903,07  | 946,37 | 986,25 | 1028,18 | 1077,59 | 1139,95 |
| 0.5                         | 902,04  | 945,07 | 984,63 | 1026,18 | 1075,14 | 1136,96 |
| Эталон                      | 903,70  | 949,58 | 991,97 | 1036,35 | 1088,21 | 1153,00 |

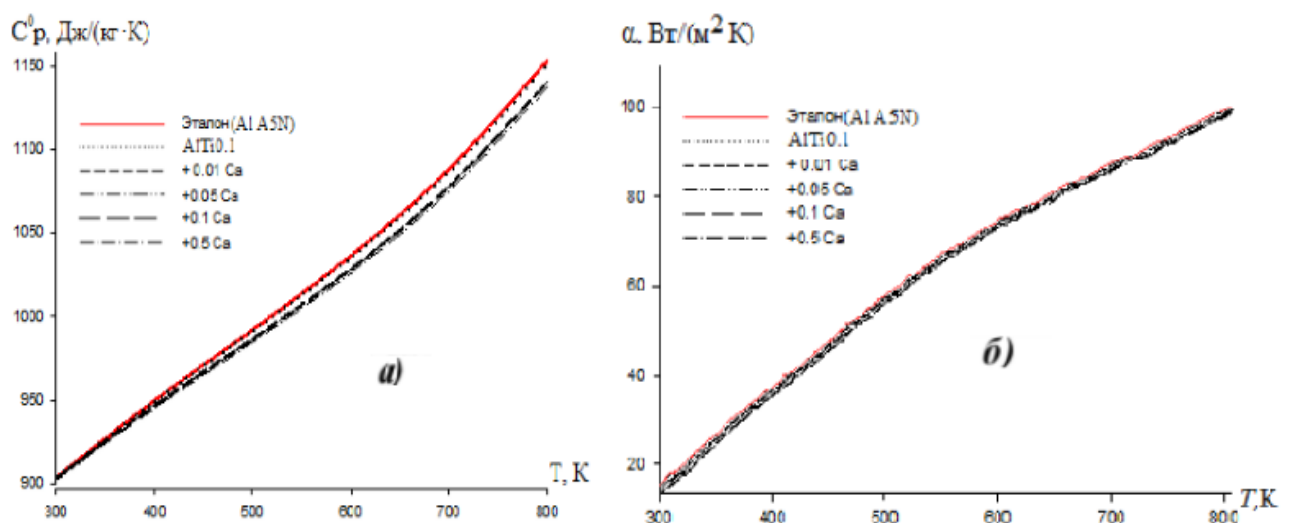


Рисунок 3 – График связанности значений: а - удельной теплоемкости; и б - коэффициентов теплоотдачи проводникового сплава AlTi0.1 + Са и образца из эталона

Основные теплофизические показатели изученных сплавов (H, S, G) рассчитывались с помощью интегралов от (4) с использованием формул ниже:

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

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

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

где  $T_0 = 298,15\text{K}$ .

Полная картина изменения теплофизических свойств исходного сплава и эффекта элементов Са, Ва, Sr были получены в результате проведенных расчетов.

Например, при добавлении 0,5% этих металлов было выявлено увеличение энтропии и энтальпии, а также теплоемкости. Подробно о полученных значениях каждого из сплавов при разных температурах приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Основные теплофизические параметры и их изменения с ростом температуры и содержанием лигатуры в сплаве

| Добавка и её содержание (масс. %) | Т.К.   |         |          |          |          |          |
|-----------------------------------|--|---------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | 300  | 400     | 500      | 600      | 700      | 800      |
|                                   | $C_{p,0}^0$ (Дж/(кг·К)) для сплавов              |         |          |          |          |          |
| 0.0                               | 903,33   | 949,02  | 991,11   | 1035,04  | 1086,25  | 1150,21  |
| 0.5Ca                             | 902,04   | 945,07  | 984,63   | 1026,18  | 1075,14  | 1136,96  |
| 0.5 Sr                            | 900,34   | 943,22  | 982,63   | 1023,98  | 1072,72  | 1134,26  |
| 0.5Ba                             | 899,84   | 943,06  | 982,83   | 1024,57  | 1073,74  | 1135,75  |
| Эталон                            | 903,70   | 949,58  | 991,97   | 1036,35  | 1088,21  | 1153,00  |
|                                   | $[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кДж/кг для сплавов     |         |          |          |          |          |
| 0.0                               | 1,6703   | 94,3405 | 191,3547 | 292,6241 | 398,6054 | 510,2997 |
| 0.5Ca                             | 1,6679   | 94,0751 | 190,5663 | 291,0678 | 396,0494 | 506,5245 |
| 0.5Sr                             | 1,6648   | 93,8944 | 190,1932 | 290,4848 | 395,2357 | 505,4553 |
| 0.5Ba                             | 1,6639   | 93,8604 | 190,1609 | 290,4918 | 395,3227 | 505,6672 |
| Эталон                            | 1,6709   | 94,3869 | 191,4710 | 291,5236 | 396,6963 | 510,9213 |
|                                   | $[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кДж/(кг·К) для сплавов |         |          |          |          |          |
| 0.0                               | 0,0056   | 0,2719  | 0,4881   | 0,6726   | 0,8359   | 0,9850   |
| 0.5Ca                             | 0,0056   | 0,2711  | 0,4862   | 0,6694   | 0,8311   | 0,9785   |
| 0.5 Sr                            | 0,0055   | 0,2706  | 0,4853   | 0,6681   | 0,8294   | 0,9765   |
| 0.5 Ba                            | 0,0055   | 0,2705  | 0,4852   | 0,6680   | 0,8295   | 0,9767   |
| Эталон                            | 0,0056   | 0,2719  | 0,4884   | 0,6731   | 0,8367   | 0,9860   |
|                                   | $[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кДж/кг для сплавов     |         |          |          |          |          |
| 0.0                               | -0,0052  | -14,406 | -52,732  | -110,988 | -186,565 | -277,708 |
| 0.5Ca                             | -0,0052  | -14,373 | -52,568  | -110,567 | -185,738 | -276,317 |
| 0.5 Sr                            | -0,0051  | -14,345 | -52,467  | -110,351 | -185,371 | -275,764 |
| 0.5 Ba                            | -0,0051  | -14,339 | -52,450  | -110,328 | -185,350 | -275,761 |
| Эталон                            | -0,0052  | -14,412 | -52,759  | -111,054 | -186,350 | -277,922 |

Согласно полученным результатам, добавление металлов Ca, Sr и Ba приводят к тому что теплоемкость, и другие параметры сплавов сокращается, причем у сплавов с Ca относительно меньше чем при других добавках.

### ГЛАВА 3. КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1 С ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ, В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Существует много способов для изучения проходящих окислительных процессов в металлах и сплавах. Каждая из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Выбранный нами метод характеризуется своей относительной простотой проведения экспериментальных исследований, не требует создания специальных условий, высокая точность измерения и самое главное результаты исследования сразу же можно анализировать. Проводниковый сплав AlTi0.1 на основе которого нами были синтезированы сплавы с добавками Ca различной концентрации были изучены для определения основных значений хода окисления.

Таблицы 6, 7, 8 и рисунки 4, 5, 6 и 7 содержат полную информацию про энергетические изменения в ходе окисления, а также его кинетику. Как видно из рисунка 4, кривые показывающие течение окисления в первые минуты показывают интенсивный рост, но далее, чем дольше идет процесс, тем толще становится оксидный слой вокруг образца что препятствует взаимодействию сплава с кислородом. Это приводит к тому что через 17-20 минут интенсивность снижается и возникает стабилизация процесса, то есть оксидный слой полностью сформировался и контакт с кислородом становится затруднительным.

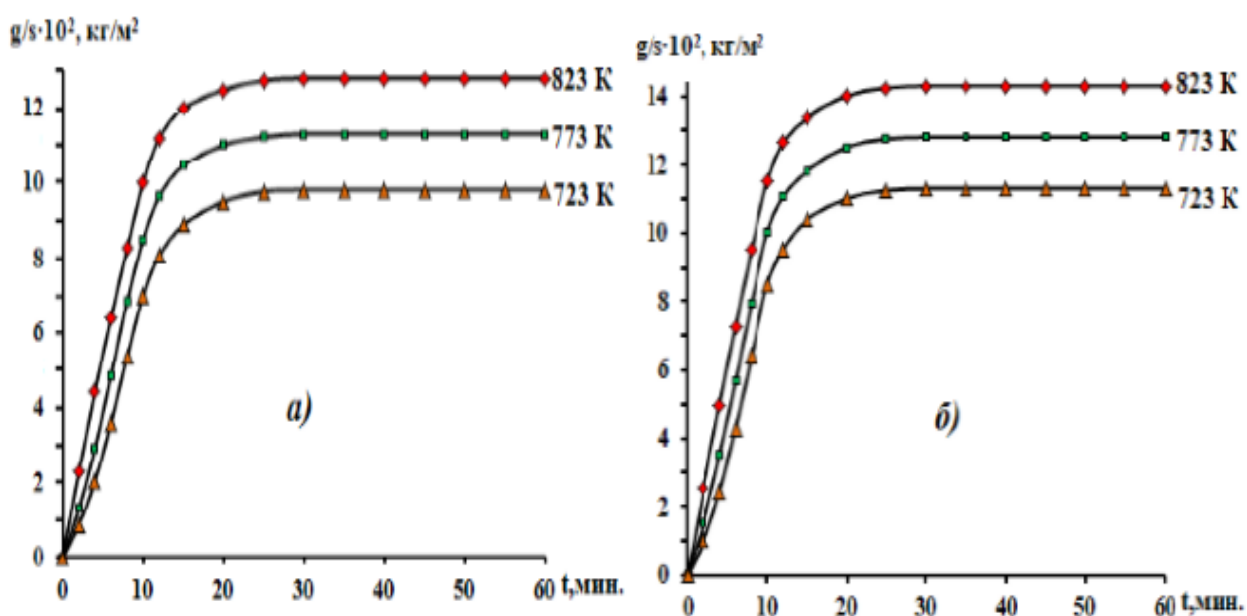


Рисунок 4 – Кривые линии хода окисления: а - исходный сплав AlTi0.1; б - исходный сплав AlTi0.1 + 0.01% Ca;

Выносливость к разрушению в следствии взаимодействия образца с окружающей его кислородом является ключевым параметром и оценивается прежде всего от полученных значений скорости с которой

происходит это разрушение и от величины энергии активации, которая является явным признаком уровня сложности прохождения этих процессов. Чем больше значение этого параметра, тем больше энергии и, следовательно, усилий необходимо для начала процесса необходимо потратить.

В процессе проведения расчетов и определения значения энергии необходимой для активации процесса, нами были использованы значения угла прямой линии и тангенс из величины этого угла от прямой которая имеет характер и вид  $-\lg K - 1/T$ , который показал значение равной 140 кДж/моль. Согласно расчетам, скорость окисления исходного сплава AlTi0.1 имеет свойство меняться с изменением рабочей температуры и по нашим расчетам равен  $1.99 \cdot 10^{-4}$  при температуре 723К и  $2.45 \cdot 10^{-4}$  при более высокой температуре равной 823К. Все значения проведенных опытов при разных температурах и разной концентрации сплавов приведены в таблице 6.

Измерение параметров окисления проводили при значениях температуры 723, 773, 823 градусов кельвин. Стоит отметить что при данных температурах, исследуемые образцы находились в твердом состоянии так как температура находится ниже отметки температуры плавления сплавов.

На рис. 4(б) приведены кривые окислительного процесса исходного сплава с добавками Са в количестве 0,01%. Как видно из графиков увеличение температуры приводит к росту привеса, то есть количества оксидной части сплава.

Если внимательно анализировать график, то можно прийти к мысли что окислительный процесс с началом реакции носит интенсивный характер, первые 10 до 15 минут график стремительно растет. Но с течением времени, примерно к 20 минутам достигается определенный пик роста привеса после которого наблюдается равновесное движение линии без увеличения или уменьшения. Это свидетельствует о том, что со временем, начинается процесс образования оксидов поверх образца которая сформировывается полностью примерно через 20 мин. и этот оксидный слой затормаживает процесс дальнейшего корродирования образцов. Данная зависимость прослеживается во всех исследуемых образцах не зависимо от содержания компонентов и температуры среды.

В таблице 6 приведены значения, полученные при исследовании всех синтезированных образцов при трех температурах. По этим значениям видно, что с ростом скорости окисления снижается энергия активации, что согласуется с основными физико-химическими данными и с результатами коллег по данному направлению.

Таблица 6 – Показатели кинетики окислительного процесса сплава AlTi0.1 с добавками Ca

| Содержание Ca, (масс. %) | T, К | Скорость окисления $K \cdot 10^4, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ | Энергия активации, кДж/моль |
|--------------------------|------|--|-----------------------------|
| 0                        | 723К | 1.99   | 140.0                       |
|                          | 773К | 2.15   |                             |
|                          | 823К | 2.45   |                             |
| 0,01                     | 723К | 2.05   | 136.3                       |
|                          | 773К | 2.26   |                             |
|                          | 823К | 2.55   |                             |
| 0,05                     | 723К | 2.14   | 131.9                       |
|                          | 773К | 2.36   |                             |
|                          | 823К | 2.59   |                             |
| 0,1                      | 723К | 2.24   | 126.5                       |
|                          | 773К | 2.57   |                             |
|                          | 823К | 2.70   |                             |
| 0,5                      | 723К | 2.69   | 120.1                       |
|                          | 773К | 2.83   |                             |
|                          | 823К | 2.97   |                             |

Согласно полученным данным, построили график изменения хода окисления образцов (рис. 5). Для наглядности эксперимента, нами были выбраны образцы из исходного сплава и сплавов в который были добавлены металлический Ca в разном количестве. Как можно сделать вывод из приведенных графиков, значение окисляемости у исходного сплава ниже, чем у образцов с добавлением Ca. Данная зависимость прослеживалась не зависимо от продолжительности выдержки образцов в окислительных условиях (кривые 1-2) при температуре в печи 823 К.

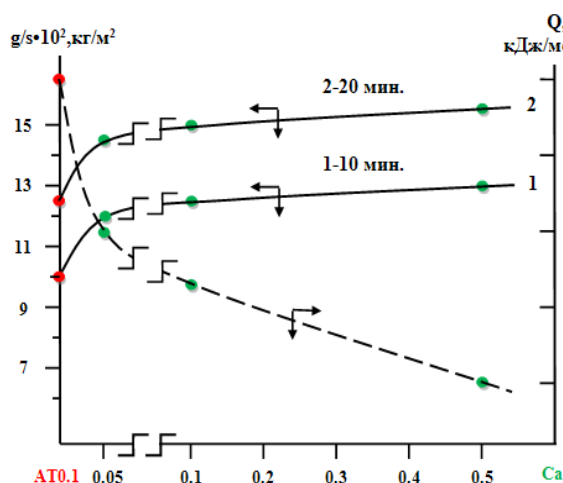


Рисунок 5 – Линия изохронного окисления образцов из AlTi0.1 и образцов с добавлением Ca

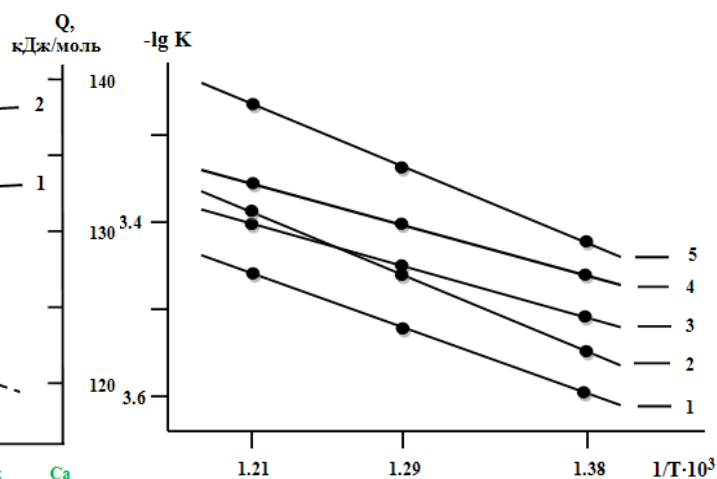


Рисунок 6 – Сдвиг величины  $-\lg K$  от  $1/T$  у исходного AlTi0.1 (1) и сплавов с содержанием Ca в массовом количестве: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5)

Далее, рисунок 6 содержит  $-\lg K-1/T$  для всех исследованных в данной работе составе сплавов, содержащих Са. Исходя из кривых приведенных на этом рисунке, можно прийти к выводу что чем выше температура, то скорость окисления становится тем выше.

Ниже таблица 7 и рисунок 7 содержат значения кинетических кривых после возведения в квадрат в виде зависимости  $(g/s)^2 - \tau$  исключительно для тех изученных стержней в которые мы добавили Са в определенных концентрациях. Полученные цифры символизируют о том что кривые квадратируемые характеризуются таким видом  $y=K \cdot t^n$ , и следовательно степени могут иметь значения от 1 до 4 ( $n=1 \div 4$ ).

Таблица 7 – Полиномы кривых окисления проводникового сплава AlTi0.1 в который добавлен Са

| Содержание Са, (масс. %) | Температура исследования, К | Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления сплавов                                   | Коэффициент регрессии R <sup>2</sup> |
|--------------------------|-----------------------------|---|--------------------------------------|
| 0.0                      | 723                         | $m/s^* = -0,7 \cdot 10^{-9}t^4 + 0,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 2,59 \cdot 10^{-2}t^2 + 0,8798t^{**}$ | 0,979                                |
|                          | 773                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,1424t$           | 0,985                                |
|                          | 823                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,8 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,4507t$         | 0,995                                |
| 0.01                     | 723                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,35 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,0636t$        | 0,977                                |
|                          | 773                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-4}t^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,89 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,3408t$        | 0,985                                |
|                          | 823                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-7}t^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}t^3 - 6,77 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,6587t$        | 0,994                                |
| 0.05                     | 723                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-2}t^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}t^3 - 3,73 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,1414t$        | 0,976                                |
|                          | 773                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,25 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,4175t$        | 0,984                                |
|                          | 823                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,27 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,7535t$        | 0,993                                |
| 0.1                      | 723                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,12 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,2196t$        | 0,976                                |
|                          | 773                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}t^3 - 5,71 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,5043t$        | 0,985                                |
|                          | 823                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-8}t^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}t^3 - 7,62 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,8247t$        | 0,993                                |
| 0.5                      | 723                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-3}t^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}t^3 - 4,4 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,2854t$         | 0,975                                |
|                          | 773                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,1 \cdot 10^{-3}t^3 - 6,01 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,5684t$        | 0,986                                |
|                          | 823                         | $m/s = -0,6 \cdot 10^{-9}t^4 + 1,4 \cdot 10^{-3}t^3 - 8,02 \cdot 10^{-2}t^2 + 1,9024t$        | 0,994                                |

$m/s^*$  - увеличение веса в результате окисления (кг/м<sup>2</sup>);

$t^{**}$  - длительность процесса окисления образцов (мин).



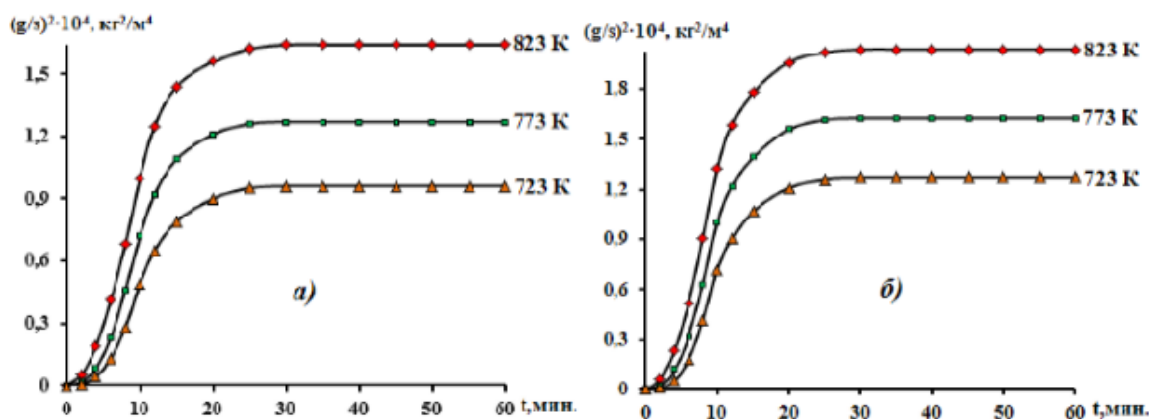


Рисунок 7 – Квадратические кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 (а) с 0.01(б) мас.% кальцием

Основной ролью оксида кальция в процессе окисления образцов состоит в том, что он образовавшись способствует разрушению целостности защитной пленки, которая препятствует окислению металла. Таким образом, оксидная алюминиевая пленка разрушается и окисление идет далее вглубь с еще большей скоростью.

По результатам рентгенофазового анализа (ДРОН-3М) продуктов окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с Ca 0.5 масс. % были обнаружены образовавшиеся окислы компонентов сплава:  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ ;  $\text{CaO}_2$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{Ti}_3\text{O}_5$ ;  $\text{TiO}$ ;  $\text{TiO}_{0.892}$ ;  $\text{Ti}_6\text{O}$ ;  $\text{Al}_2\text{O}$  (рис. 8).

В нижеприведенной таблице 8, приведены полученные значения энергии активации для всех вариаций синтезированных и исследованных сплавов. При анализе этих значений было зафиксировано что среди всех исследованных образцов образцы которые показали самые меньшие величины активационной энергии были образцы, содержащие металлический Ва.

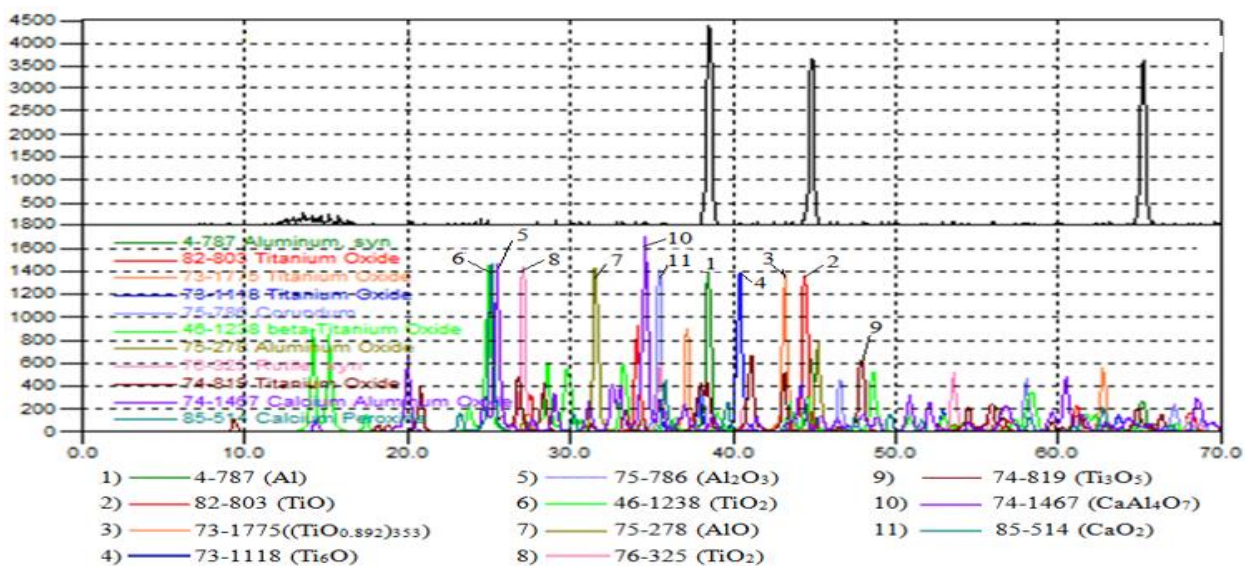


Рисунок 8 – Результат рентгенофазового анализа образовавшихся веществ после окисления: исходный AlTi0.1+Ca 0.5 масс. %

Таблица 8 – Энергия активации и ее перемена с ростом содержания добавленных металлов

| Содержание легирующих компонентов в сплаве, мас% | 0.0   | 0.01  | 0.05  | 0.1   | 0.5   |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Кальций  | 140.0 | 136.3 | 131.9 | 126.5 | 120.1 |
| Стронций   |       | 132.5 | 127.2 | 122.0 | 116.9 |
| Барий  |       | 126.1 | 123.5 | 117.9 | 112.0 |

Проводив необходимые опыты по определению основных закономерностей процесса окисления проводников сплава AlTi0.1 дополнительно содержащий Ca, Ba, Sr, были замечены:

1. Ход окисления образцов из синтезированных сплавов имеет гиперболический тип. Скорость окисления у всех изученных сплавов колеблется в определенном диапазоне и имеет порядок  $\sim 10^{-4}$  (кг\*м<sup>-2</sup>\*сек<sup>-1</sup>)

2. Исходный сплав, содержащий в своем составе дополнительно Ba показал более интенсивную скорость взаимодействия с кислородом воздуха, а при добавлении Ca исходный AlTi0.1 наоборот, показывает устойчивость к окислению и скорость окислительного процесса сокращается.

#### **ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА AlTi0.1, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl**

В данной части работы для определения электрохимических характеристик синтезированных сплавов была выбрана методика измерения потенциалов. Данный метод позволяет проводить опыты в электрохимической ячейке, где жидкая среда может иметь как кислотный, так и щелочной характер.

Для данного вида исследования нами были изготовлены образцы определенных размеров, методом литья из синтезированных сплавов с добавками различной концентрации. Полученные образцы были помещены в электролитическую ячейку внутри которого содержится жидкий раствор хлорида натрия. С того момента как образец вносится в исследуемую среду начинается процесс измерения и фиксации результатов. В ходе исследования определяли величину потенциала свободной коррозии ( $E_{св.кор.}$ ), полученные значения приведены на рисунке 9 (линия I). Далее образцы подвергли поляризации в противоположном направлении (II и III линии), в результате которого потенциал принял величину -1,2В а оксидная оболочка вокруг образца растворилась. Далее провели поляризацию в положительном направлении и находили потенциал образования питтингов ( $E_{п.о.}$ ) (рисунок 9, кривая III IV).

Построенные кривые позволяют определить основные потенциалы электрохимического взаимодействия внутри ячейки, которые можно заметить на рисунке 9.

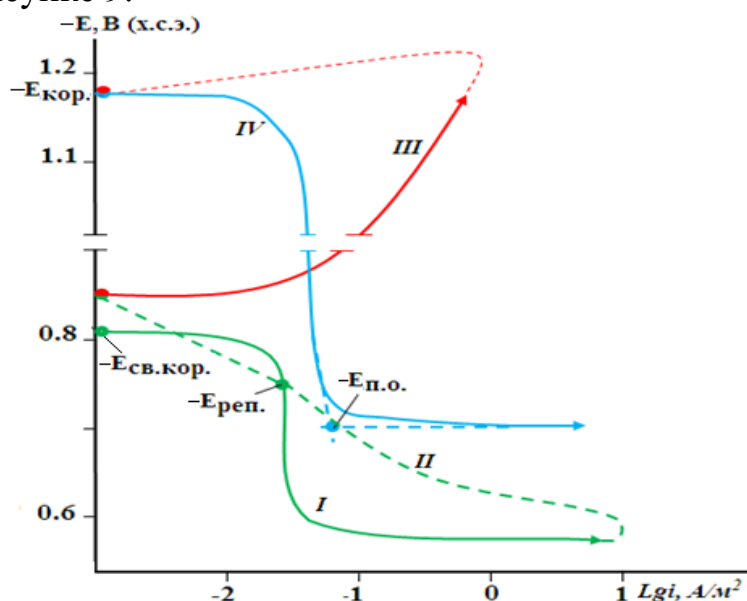


Рисунок 9 – График кривых поляризации при исследовании в жидкой среде раствора 3% NaCl, образцов из сплава AlTi0.1

Было определено, что большое влияние на количество и объем образования точечной коррозии имеет фактор ионизации кислорода в результате катодной реакции внутри ячейки. При данных условиях коррозионную скорость можно определить, используя формулу:

$$K = i_{кор.} \cdot k,$$

Значение «к» согласно литературным источникам равняется 0,335 г/А·час.

Было определено, что добавки кальция к исходному проводниковому сплаву AlTi0.1 положительно влияет на его стойкость к коррозии. Данная закономерность была наблюдаена во всех средах (NaCl) при которых были проведены исследования. Также было определено что чем больше содержание Cl- в жидком растворе среды, тем активнее происходит коррозия образцов. При содержании 0,5% массового процента добавки кальция в исходном сплаве были получены наименьшие значения скорости коррозии и плотности тока. Из этого можно придти к умозаключению о том, что наиболее удачным и подходящим для использования в качестве коррозионностойкого материала является состав с вышеуказанным составом. Таблица 9 содержит результаты исследований сплавов с различным содержанием добавок.

На рисунке 10 приведены анодные кривые для сплава AlTi0.1+Ca. Как видно из этих графиков увеличение содержания Ca приводит к тому что потенциалы данного сплава равномерно в зависимости от количества Ca увеличивается. Это свидетельствует о том, что скорость

коррозионного разрушения образцов снижается. Данная закономерность наблюдается при всех концентрациях ионов хлорида в жидкой среде.

Таблица 9 – Значения потенциалов свободной коррозии и образования питтингов алюминиевого сплава AlTi0.1, с добавками Ca, Ba и Sr

| Среда<br>NaCl | Содержание<br>добавки<br>мас. % | Ca                     |                    | Ba                     |                    | Sr                     |                    |
|---------------|---------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
|               |                                 | -E <sub>св.корр.</sub> | -E <sub>п.о.</sub> | -E <sub>св.корр.</sub> | -E <sub>п.о.</sub> | -E <sub>св.корр.</sub> | -E <sub>п.о.</sub> |
| 0.03          | -                               | 0.685                  | 0.610              | 0.685                  | 0.610              | 0.685                  | 0.610              |
|               | 0.01                            | 0.670                  | 0.600              | 0.658                  | 0.585              | 0.630                  | 0.569              |
|               | 0.05                            | 0.659                  | 0.590              | 0.642                  | 0.575              | 0.620                  | 0.558              |
|               | 0.1                             | 0.650                  | 0.579              | 0.633                  | 0.564              | 0.611                  | 0.549              |
|               | 0.5                             | 0.640                  | 0.568              | 0.625                  | 0.555              | 0.603                  | 0.538              |
| 0.3           | -                               | 0.740                  | 0.650              | 0.740                  | 0.650              | 0.740                  | 0.650              |
|               | 0.01                            | 0.728                  | 0.641              | 0.714                  | 0.620              | 0.690                  | 0.614              |
|               | 0.05                            | 0.720                  | 0.630              | 0.703                  | 0.611              | 0.680                  | 0.605              |
|               | 0.1                             | 0.708                  | 0.619              | 0.689                  | 0.602              | 0.671                  | 0.594              |
|               | 0.5                             | 0.700                  | 0.610              | 0.680                  | 0.593              | 0.660                  | 0.586              |
| 3.0           | -                               | 0.809                  | 0.700              | 0.809                  | 0.700              | 0.809                  | 0.700              |
|               | 0.01                            | 0.795                  | 0.690              | 0.780                  | 0.674              | 0.760                  | 0.660              |
|               | 0.05                            | 0.782                  | 0.678              | 0.769                  | 0.665              | 0.752                  | 0.652              |
|               | 0.1                             | 0.770                  | 0.670              | 0.758                  | 0.654              | 0.741                  | 0.641              |
|               | 0.5                             | 0.759                  | 0.660              | 0.749                  | 0.645              | 0.730                  | 0.632              |

Полные значения полученных значений исследования электрохимического поведения сплава E-AlTi0.1, с добавками металлического Ca, Sr и Ba приведены в таблице 9-10. Согласно этим значениям, с увеличением количества добавок потенциал коррозии сплава AlTi0.1 смещается в сторону увеличения. Также с увеличением содержания добавок Ca, Sr и Ba такие потенциалы как питтингообразования и репассивации увеличивается, такие значения были замечены во всех средах проведенных исследований. Стоит отметить что среди всех трех добавок потенциалы у сплавов с Ba показывают наилучшие значения (табл.9). А при проведении исследований были выяснены закономерности, а именно, цифры показали, что содержание ионов хлоридов в жидкой среде имеет прямое влияние и с его ростом также происходит интенсификация свободной коррозии. Такая закономерность выслеживалась в ходе исследований всех образцов вне зависимости от состава.

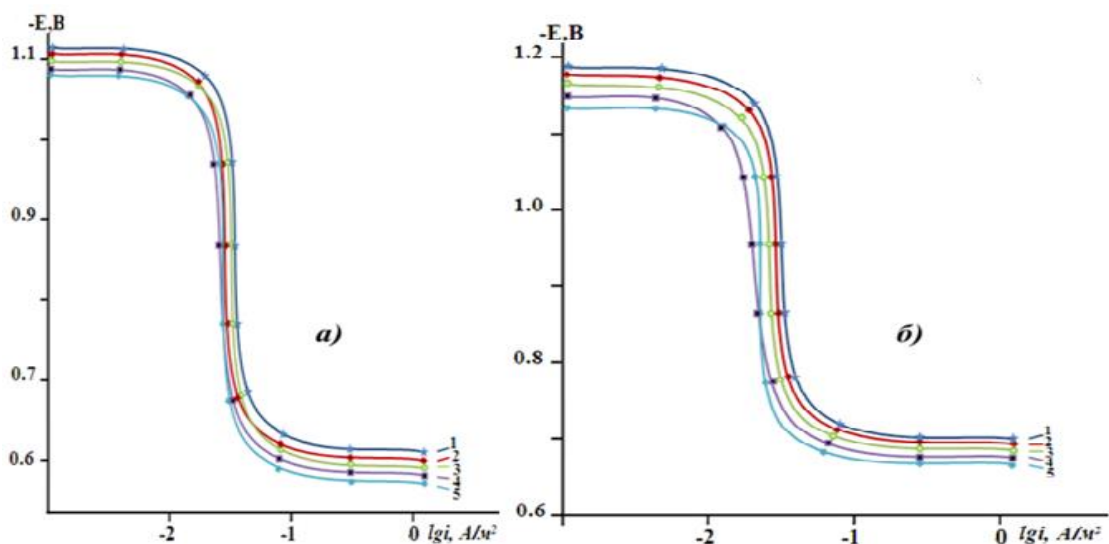


Рисунок 10 - Анодные кривые поляризаций: 1 - исходный сплав AlTi0.1, 2 - с Ca 0.01%; 3 - с Ca 0.05%; 4 - с Ca - 0.1%; 5 - с Ca 0.5, в среде жидкого электролита с содержанием NaCl: а - 0.03% и б - 3%

Таблица 10 – Значения плотности тока и скорости коррозии для исходного сплава AlTi0.1 и их сдвиги в результате добавления Ca, Ba, Sr

| Сред<br>а<br>NaCl | Содержани<br>е добавки<br>масс. % | Скорость коррозии                          |  |  |  |  |  |
|-------------------|-----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                   |                                   | Ca   |  | Ba   |  | Sr   |  |
|                   |                                   | $i_{корр} \cdot 10^2,$<br>А/м <sup>2</sup> | $K \cdot 10^3,$<br>г/м <sup>2</sup> ·ч | $i_{корр} \cdot 10^2,$<br>А/м <sup>2</sup> | $K \cdot 10^3,$<br>г/м <sup>2</sup> ·ч | $i_{корр} \cdot 10^2,$<br>А/м <sup>2</sup> | $K \cdot 10^3,$<br>г/м <sup>2</sup> ·ч |
| 0.03              | -                                 | 0.048                                      | 16.0                                   | 0.048                                      | 16.0                                   | 0.048                                      | 16.0                                   |
|                   | 0.01                              | 0.046                                      | 15.4                                   | 0.044                                      | 14.7                                   | 0.042                                      | 14.0                                   |
|                   | 0.05                              | 0.044                                      | 14.7                                   | 0.042                                      | 14.0                                   | 0.039                                      | 13.0                                   |
|                   | 0.1                               | 0.042                                      | 14.0                                   | 0.040                                      | 13.4                                   | 0.037                                      | 12.3                                   |
|                   | 0.5                               | 0.040                                      | 13.4                                   | 0.038                                      | 12.7                                   | 0.035                                      | 11.2                                   |
| 0.3               | -                                 | 0.068                                      | 22.7                                   | 0.068                                      | 22.7                                   | 0.068                                      | 22.7                                   |
|                   | 0.01                              | 0.066                                      | 22.1                                   | 0.064                                      | 21.4                                   | 0.062                                      | 20.7                                   |
|                   | 0.05                              | 0.064                                      | 21.4                                   | 0.062                                      | 20.7                                   | 0.059                                      | 19.7                                   |
|                   | 0.1                               | 0.062                                      | 20.7                                   | 0.060                                      | 20.1                                   | 0.057                                      | 19.0                                   |
|                   | 0.5                               | 0.060                                      | 20.1                                   | 0.058                                      | 19.4                                   | 0.055                                      | 18.4                                   |
| 3.0               | -                                 | 0.086                                      | 28.8                                   | 0.086                                      | 28.8                                   | 0.086                                      | 28.8                                   |
|                   | 0.01                              | 0.084                                      | 28.1                                   | 0.082                                      | 27.4                                   | 0.080                                      | 26.8                                   |
|                   | 0.05                              | 0.082                                      | 27.4                                   | 0.080                                      | 26.8                                   | 0.077                                      | 25.7                                   |
|                   | 0.1                               | 0.080                                      | 26.8                                   | 0.078                                      | 26.1                                   | 0.075                                      | 25.1                                   |
|                   | 0.5                               | 0.078                                      | 26.1                                   | 0.076                                      | 25.4                                   | 0.073                                      | 24.4                                   |

Проводив вышеуказанные исследования пришли к научному выводу что, если концентрация частиц Cl<sup>-</sup> в жидкой рабочей среде становится больше, интенсивность процесса коррозии и плотность тока растет. Такая закономерность была наблюдаена при проведении работ вне зависимости от вида сплава и его состава. Полученные значения по

результатам исследования приведены более подробно в табл.10, которые также показали такую закономерность.

По итогу было определено, что устойчивость сплавов в результате добавок стало примерно на 10 – 15 процентов выше. Такие результаты получены при исследовании в среде жидкого раствора, содержащего NaCl.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Проведенные изучения литературных источников и исследования специалистов данного направления дали научные основы о проведении работ по возможности синтеза сплавов на основе AlTi0.1 с Ca, Ba, Sr, а также подробное изучение механизма изменения в свойствах в результате добавок каждого из этих элементов на физико-химические, механические и эксплуатационные свойства, а также влияние различных факторов на эти свойства новых сплавов.

2. Были проведены испытания по выявлению механических параметров полученных сплавов в результате добавления металлов Ca, Ba, Sr. Эти эксперименты показали, что с ростом содержания названных металлов, одна из самых важных свойств сплавов – твердость также показывает положительное изменение. В ходе этих работ также было исследовано микроструктурное изменение исходного сплава AlTi0.1 и влияние каждого из добавленных металлов на микроструктуру. По итогу анализа полученных изображений микроструктуры, пришли к итогу что все добавленные металлы положительно влияют на микроструктуру и приводят к тому, что зерна становятся намного меньше, что становится причиной изменений в характеристиках сплавов.

3. Исследования теплофизических параметров в результате легирования показали, что добавки отрицательно влияют на значения теплоемкости. Был замечен рост теплоемкости с увеличением рабочей температуры. Согласно полученным данным, значения теплоёмкости у образцов с Ba меньше чем у Sr, а образцы с Ca показывают наибольшее значение [1-2, 12-А].

4. Проведенные исследования для определения термодинамических функций сплавов показали, что в случае повышения температуры в среде, наблюдается увеличение таких параметров как величина энтальпии (H) и энтропии (S), а энергия Гиббса ( $\Delta G$ ) снижается. Результаты показали, что добавки Ba больше сокращают энтальпию (H) и энтропию (S) чем эти же сплавы с Ca. Но эти добавки поднимают значение энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) [7, 9, 13-14-А].

5. Исследование окисления исходного и полученного на его основе сплавов с добавками Ca, Ba и Sr провели, выбрав метод термогравиметрии. Были определены основные закономерности протекания процесса окисления в твердом виде. Результаты показали, что окисление идет по гиперболическому закону, а скорость окисления имеет порядок  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>: анализ данных показал, что наибольшее количество энергии потребуется для запуска процесса окисления

исходного сплава AlTi0.1, а меньше всего потребуется для сплавов, которые дополнительно содержат металлический Ba [3-4-A].

6. Результаты фазового анализа методом рентгеновского исследования показали, что в составе присутствуют следующие оксидные компоненты: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; AlO; TiO; TiO<sub>2</sub>; Ti<sub>6</sub>O; Ti<sub>2</sub>O; Ti<sub>0.912</sub>O<sub>2</sub>; Ti<sub>3</sub>O<sub>5</sub>; Ti<sub>3</sub>O; TiO<sub>0.892</sub>; (SrO)<sub>2</sub>TiO<sub>2</sub>; CaAl<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; CaO<sub>2</sub>; BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; Ba<sub>4</sub>Al<sub>5</sub>.

7. Электрохимические показатели параметров исходного сплава AlTi0.1 и синтезированных на его основе сплавов, содержащих Ca, Ba, Sr было исследовано в жидкой среде раствора NaCl. Было определено что добавление в количестве 0.5% каждого из металлов приводит к тому что образцы становятся на 15 процентов устойчивее к электрохимическому разрушению. Закономерность изменения в сопротивляемости сплавов к разрушению также было замечено от количества ионов хлорида в исследуемой среде. То есть чем больше хлоридов, тем интенсивнее корродирование образцов [5-6, 10-11, 15-16-A].

8. После проведения всех опытов и анализов, нами были систематизированы и анализированы данные про все сплавы, которые были синтезированы. Эти данные дали нам возможность зарегистрировать авторское право и получить «Малый патент». Также, синтезированные сплавы прошли испытания в крупном промышленном предприятии «ТАЛКО Кабель» и подтвердили свою эффективность для использования в роли исходного материала для изготовления проводов различного вида [8-A].

### **Рекомендация автора для возможного использования результатов научной работы.**

1. Полученные закономерности и значения дают представления о взаимодействии таких металлов как Ca, Ba и Sr при добавлении их в алюминиевый сплав AlTi0.1. Эти данные являются результатом научных исследований и дополняют литературную базу и могут стать полезной информацией для специалистов металлургии и материаловедения.

2. Разработанные составы и методы получения рекомендуем для использования в промышленных предприятиях, работающих в проводниковой сфере, электротехнике, металлургии и других сферах работающих с алюминиевыми сплавами.

## 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]. Ганиев, И.Н. Влияние кальция на удельную теплоемкость и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш Зокиров, А.Г. Сафаров // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2023. Т. 26. № 1. С. 76-84 (**Scopus – Q3**).

Ganiev I.N. Influence of calcium on specific heat capacity and changes in thermodynamic functions of aluminum conductor alloy AlTi0.1 / I.N. Ganiev, R.J. Faizuloev, F.Sh. Zokirov, A.G. Safarov // Modern Electronic Materials. 2023; 26(1): P.76–84 (**Scopus - Q3**).

[2-А]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 со стронцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш Зокиров, Н.И. Ганиева // Теплофизика высоких температур. 2023. Т.61. №3. С. 376-381 (**Scopus – Q2**).

Ganiev I.N. Temperature dependences of the heat capacity and thermodynamic functions of aluminum conducting alloy AlTi0.1 with strontium / I.N. Ganiev, **R.J. Faizuloev**, F.Sh. Zokirov, N.I. Ganieva // High Temperature. 2023. Vol.61. No.3. P. 344-349 (**Scopus – Q2**).

[3-А]. Ганиев, И.Н. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Журнал физической химии. 2024. Т. 98. № 1. С. 81-89 (**Scopus – Q4**).

Ganiev I.N. Kinetics of oxidation of aluminum conduct alloy AlTi0.1 with calcium in the solid state / I.N. Ganiev, **R.J. Faizuloev**, F.Sh. Zokirov, M.M. Makhmadizoda // Russian Journal of Physical Chemistry. 2024. Vol. 98. No 1. P. 78-86 (**Scopus – Q4**).

[4-А]. Ганиев, И.Н. Влияние стронция на кинетику окисления алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Перспективные Материалы. 2024. № 5. С. 37-47 (**Scopus – Q2**).

[5-А]. Ганиев, И.Н. Влияние кальция на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Известия Санкт-Петербургский государственный технологический института (технический университет). 2021. № 58(84). С. 33-37.

[6-А]. Ганиев, И.Н. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // «Вестник Саратовский государственный техническим университет». 2023. №3 (98). С. 76-88.



[7-А]. Ганиев, И.Н. Вобастагии хароратии иктидори гармӣ ва функцияҳои термодинамикии хӯлаи ноқилии алюминийи  $AlTi_{0.1}$  бо барий / И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, **Р.Ч. Файзулов** // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2024. №1 (65). С. 78-86.

#### **Изобретения по теме диссертации**

[8-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1340. Алюминиевый электротехнический сплав / И.Н. Ганиев, А.Г. Ф.Ш. Шокиров, Ф. Холмуродов, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, К. Ботуров, А.Г. Сафаров, А.Р. Рашидов, / №2201653; заяв. 17.03.2022г., опубл. 30.01.2023г. (Акт опытно-промышленного испытания «Алюминиевый проводниковый сплав» от 17.03.2023г.).

#### **Статьи, опубликованные в материалах международных и Республиканских конференций:**

[9-А]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава  $AlTi_{0.1}$  с кальцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Вестник Института энергетики Таджикистана (Научный журнал). Серия инженерных, инновационных и инвестиционных исследований. 2022. № 3(3). С. 28-33.

[10-А]. Ганиев, И.Н. Потенциодинамическое исследование алюминиевого проводникового сплава  $AlTi_{0.1}$  с барием, в среде электролита 0,03%-ного  $NaCl$  / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Межд. научно-техн. конф. «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана». Ташкент. 2023. С. 287-288.

[11-А]. Ганиев, И.Н. Потенциодинамическое исследование алюминиевого проводникового сплава  $AlTi_{0.1}$  с кальцием, в среде электролита 0,03%-ного  $NaCl$  / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, Холикова Л. // Мат. Межд. научно-техн. конф. «Минские научные чтения 2023», «Технологическая независимость и конкурентоспособность союзного государства, СТРАН СНГ, ЕАЭС И ШОС». Белорусский государственный технологический университет. Минск. 2023. Т.2. С. 66-70.

[12-А]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава  $AlTi_{0.1}$  со стронцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Межд. научно-практ. конф. «XIII Ломоносовские чтения», часть III. Естественные науки, Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе. 2023. С. 159-164.

[13-А]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава  $AlTi_{0.1}$  с кальцием / И.Н. Ганиев, **Р.Дж. Файзулов**, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию

Государственной независимости РТ, ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана. – Душанбе. 2023. С. 50-53.

[14-А]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с барием / И.Н. Ганиев, Р.Дж. Файзулов, Ф.Ш. Зокиров, М.М. Махмадизода // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие и достижения физической науки в годы независимости», посвященной 32-летию Государственной независимости РТ, ФТИ им. С.У. Умарова НАН Таджикистана. – Душанбе. 2023. С. 206-209.

[15-А]. Ганиев, И.Н. Потенциал свободной коррозии алюминиевого сплава AlTi0,1% с кальцием, в среде 0.3%-ного электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Ф.Ш. Зокиров, Р.Дж. Файзулов // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук», посвященной 30-летию независимости РТ и 25-летию РТСУ. – Душанбе. 2021. С. 88-92.

[16-А]. Ганиев, И.Н. Потенциал свободной коррозии алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 со стронцием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Р.Дж. Файзулов, Ф.Ш. Зокиров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов», Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана. Душанбе. 2021. С. 25-28.

## ШАРҲИ МУХТАСАР

**ба рисолаи Файзулов Рустам Чалилович дар мавзӯи «Таъсири металлҳои ишқорзаминӣ ба ҳосиятҳои физикавӣ-химиявӣ ва механикии ҳӯлаи ноқили алюминийи AlTi0.1», барои дарёфти унвони илмии номзоди илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02-саноати мошинсозӣ)**

*Мақсади кори диссертационӣ омӯзиши вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминийи AlTi0.1 бо иловаҳои металлҳои ишқорзаминӣ (Ca, Sr, Ba), кинетика ва механизми раванди оксидшавӣ, рафтори электрохимиявӣ.*

Алюминий дар электротехника кайҳо боз маълум аст. Аммо, то ба наздикӣ, истифодаи алюминий танҳо барои хатҳои интиқоли барқ ва баъзан вақт барои ҳосил кардани симҳои барқ истифода мешуд. Дар саноати ноқилбарорӣ метали мис ва сурб асосан истифода карда мешуданд. Қисмҳои барқгузаронандаи симҳо аз мис ва қабати металлӣ онҳо аз сурб ё ҳӯла дар асоси сурб сохта шуда буданд. Дар тӯли даҳсолаҳо сурб ягона маводи металлӣ барои қабати рӯйпӯшкунандаи ноқилҳо буд. Вай дар ин нақш хеле хуб аст, аммо камбудихоро ба мисли, зичии баланд, мустаҳкамии паст ва камёфти дорад; инҳо камбудихоӣ асосӣ мебошанд, ки маҷбур карданд, ки металлҳои дигарро ҷустуҷӯ кунем, ки қобилияти иваз кардани сурбро доранд.

Дар асоси таҳқиқотҳои таҷрибавӣ моделҳои математикии вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармигузаронӣ, функсияҳои

термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) хӯлаи ноқилҳои алюминийи  $AlTi0.1$  бо калсий, стронсий ва барий муқаррар карда шуданд. Қонуниятҳои раванди дар ҳарорати баланд оксидшавии хӯлаҳои саҳти дучандаи  $AlTi0.1+$  (Ca, Sr ва Ba) дар атмосфераи ҳаво омӯхта шудаанд.

Таъсири калсий, стронсий ва барий ба саҳтӣ ва устувории хӯлаи  $AlTi0.1$  муайян карда, инчунин таҳлили микроструктураи таркиби хӯлаҳо гузаронида шуд. Тартиби тағйирёбии характеристикаҳои анодии хӯлаи ноқилии алюминийи  $AlTi0.1$  вобаста ба миқдори калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролитии NaCl муқаррар карда шудааст.

Рисола аз муқаддима, 4 боб, хулоса, рӯйхати адабиёти истифодашуда, аз 149 ном ва замима иборат аст. Рисола дар 183 саҳифаи компютерӣ пешниҳод шудааст, ки аз 54 ҷадвал ва 65 расм иборат аст.

Нашрияхо: Аз рӯйи натиҷаҳои тадқиқот 15 мақолаи илмӣ, аз ҷумла 7-тоаш дар маҷаллаҳои тавсиякардаи КОА ФР ва КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки ба базаи маълумотии Scopus дохиланд, 8 мақола дар маҷмӯаҳои конференсияҳои байналмиллалӣ ва Ҷумҳуриявӣ ва инчунин 1 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст ва дар асоси он муаллиф санади озмоиши таҷрибавӣ-саноатии хӯлаҳоро дар корхонаи ҶДММ «Ноқили ТАЛКО» ба даст овардааст..

**Калидвожаҳо:** хӯлаи ноқилҳои алюминийи  $AlTi0.1$ , калсий, стронсий, барий, коэффисиенти гармигузаронӣ, гармиғунҷоиш, функсияҳои термодинамикӣ, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, суръати воқеии оксидшавӣ, энергияи фаъолсозӣ, саҳтӣ, мустаҳкамӣ, усули потенциостатикӣ, потенциали озоди занганӣ, потенциали питтингҳосилкуни, потенциали репасиватсия, суръати занганӣ.

## АННОТАЦИЯ

**к диссертации Файзулоева Рустама Джалиловича на тему «Влияние щелочноземельных металлов на физико - химические и механические свойства алюминиевого проводникового сплава  $AlTi0.1$ », на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 - Материаловедение (05.02.01.02- машиностроительная промышленность)**

*Целью диссертационной работы* является установление термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава  $AlTi0.1$  с кальцием, стронцием и барием, предназначенного для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Алюминий в электротехнике известен уже очень давно. Однако до недавнего времени область применения алюминия была ограничена линиями электропередачи и в редких случаях силовыми кабелями. В кабельной промышленности господствовали медь и свинец. Токопроводящие элементы

конструкции кабелей были выполнены из меди, а металлическая оболочка из свинца или сплавов на основе свинца. Многие десятилетия свинец был единственным металлическим материалом для кабельных оболочек. Он прекрасен в этой роли, но не без недостатков, высокая плотность, невысокая прочность и дефицитность; это только основные из них, которые заставили человека искать другие металлы, способные достойно заменить свинец.

В работе на основе экспериментальных исследований были установлены математические модели тепловых зависимостей теплопроводности, коэффициента теплопроводности, термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 с кальцием, стронцием и барием. Исследованы закономерности процесса высокотемпературного окисления двойных твердых сплавов AlTi0.1 + (Ca, Sr и Ba) в атмосфере воздуха. Определено влияние кальция, стронция и бария на твердость и прочность сплава AlTi0.1, также проведен микроструктурный анализ состава сплавов. Установлены закономерности изменения анодных характеристик алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 от содержания кальция, стронция и бария в электролитной среде NaCl.

Диссертация включает введение, 4 главы, выводов, списка использованной литературы, состоящий из 149 наименований и приложений. Диссертация представлена на 183 компьютерных страницах, включает 54 таблиц и 65 рисунков.

Публикации: По результатам исследования опубликовано 15 научных работ, из них 7 в журналах, рекомендуемых ВАК РФ и ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а также входящих в базу данных Scopus. 8 статей в сборниках международных и Республиканских конференций, а также получен 1 малый патент Республики Таджикистан и на основе этого патента автором получен акт опытно-промышленного испытания сплавов в ООО «Нокили ТалКо».

**Ключевые слова:** алюминиевый проводниковый сплав AlTi0.1, кальций, стронций, барий, 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.

## SUMMARY

**to the dissertation of Fayzuloev Rustam Jalilovich on the topic «Influence of alkaline earth metals on the physico-chemical and mechanical properties of aluminum conductor alloy AlTi0.1», for the degree of candidate of technical sciences in specialties 05.02.01 - Materials Science (05.02.01.02-engineering industry)**

*The purpose of the dissertation work is the study of the temperature dependence of thermal conductivity and changes in the thermodynamic functions*

of aluminum alloy AlTi0.1 with additives of alkali metals (Ca, Sr, Ba), kinetics and mechanism of the oxidation process, electrochemical behavior.

Aluminum known in electrical engineering for a very long time. However, until recently, the scope of aluminum was limited to power lines and, in rare cases, power cables. Copper and lead dominated the cable industry. The conductive elements of the cable structure were made of copper, and the metal shell was made of lead or lead-based alloys. For many decades (lead sheaths for the protection of cable cores were first proposed in 1851), lead was the only metal material for cable sheaths. It is excellent in this role, but not without disadvantages, high density, low strength and scarcity; these are only the main ones that forced a person to look for other metals that can adequately replace lead.

The regularities of the process of high-temperature oxidation of ternary hard alloys AlTi0.1 + (Ca, Sr and Ba) in an air atmosphere have been studied. The influence of calcium, strontium and barium on the hardness and strength of the AlTi0.1 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 AlTi0.1 depending on the content of calcium, strontium and barium in the NaCl electrolyte medium have been established.

The dissertation includes an introduction, four chapters, conclusions, a list of used literature, consisting of 149 titles and appendices. The dissertation presented on 183 computer pages, includes 54 tables and 65 figures.

Publications: Based on the results of the study, 15 scientific papers were published, 7 of them in journals recommended by the HAC of RF and HAC under the President of the Republic of Tajikistan, included in the database Scopus. 8 articles in collections of international and Republican conferences, and 1 small patent of the Republic of Tajikistan and on the basis of this patent the author received a certificate of pilot testing of alloys at Nokili TALKo LLC

**Key words:** aluminum conductor alloy AlTi0.1, calcium, strontium and barium, heat transfer coefficient, heat capacity, thermodynamic functions, thermogravimetric method, oxidation kinetics, true oxidation rate, activation energy, hardness, strength, potentiostatic method, potentials free corrosion, pitting, repassivation, corrosion rate.

