

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҶИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ АКАДЕМИК М.С.ОСИМӢ
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҶОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИӢИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»**

ВБД 615.011.4-034.89:546.62

Бо ҳуқуқи дастнавис



**ШЕРАЛИЗОДА Ориф Шералӣ
(ДАВЛАТОВ Ориф Шералиевич)**

**ХОСИЯТҶОИ ФИЗИКАВӢ-КИМИӢВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИИ
АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 БО ҚАЛЪАГӢ, СУРБ ВА ВИСМУТ
ҶАВҶАРОНИДАШУДА**

АВТОРЕФЕРАТИ

дисертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҶои
техникӣ аз рӯи ихтисоси 2.4.15. Маводшиносӣ дар саноати мошинсозӣ

Душанбе – 2026

Рисолаи номзадӣ дар кафедраи механикаи назариявӣ ва муқовимати маводи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ ва озмоишгоҳи маводи ба коррозия устувори МДИ “Институти кимиёи ба номи В.И. Никитин”-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро гардидааст.

Роҳбари илмӣ:

Ғаниев Изатулло Наврузович -

доктори илмҳои химия, академики АМИТ, профессор, мудир озмоишгоҳи маводи ба коррозия устувори Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ:

Қурбонов Амиршо Соҳибназарович -

доктори илмҳои химия, дотсенти кафедраи химияи органикӣ ва биологии Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав.

Садриддинзода Сабур Садриддин -

номзоди илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи сохтмон ва меъморӣи Донишгоҳи давлатии Данғара.

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон
ба номи Шириншоҳ Шохтемур

Ҷимояи диссертатсия «14» майи 2026с. соати «9.00» дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6Д.КОА-028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғаи 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад. E-mail: adliya69@mail.ru

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

Автореферат санаи «___» _____ 2026 фиростода шуд.

Котиби илмӣ
Шурои диссертатсионӣ,
номзоди илмҳои техникӣ, дотсент



Саид А.Ҳ.

МУҚАДДИМА

Мубрамӣ ва зарурияти гузаронидани тдҳқиқот дар мавзуи диссертатсия. Дар солҳои охир таваҷҷуҳ ба таҳия ва татбиқи маводди нави конструксионии дорои хосиятҳои беҳтари механикӣ ва муқовимати баланд ба коррозия нисбат ба маводди анъанавӣ афзуда истодааст. Бо дарназардошти ин, тадқиқ ва коркарди хӯлаҳои нави алюминий бо иловаи элементҳои гуногуни ҷавҳаркунанда, ки ба муҳити фаъол устувор буда, қобилияти баландтари пароканда кардани энергия доранд, аҳаммияти махсус касб мекунад.

Пӯлод яке аз масолеҳи маъмултарин барои истеҳсоли дастгоҳҳо, таҷҳизот, қисмҳои гуногун ва конструксияҳо ба ҳисоб меравад. Аммо дар солҳои охир алюминий ва хӯлаҳои он бо сабаби хосиятҳои муфиди физикию химиявии худ бештар актуалӣ мегарданд, ки онҳо ҳангоми илова кардани металлҳои дигар метавонанд сифати баланди техникаро таъмин кунанд. Ҳамчунин, омили муҳимми паҳншавӣ ва истифодаи васеи он – арзон будани алюминий дар тамоми қишри замин, аз ҷумла дар Ҷумҳурии Тоҷикистон мебошад. Ҷустуҷӯ ва коркарди омехтаҳои нави таркиби алюминий ва навҳои масолеҳ метавонад барои ҷумҳурӣ аҳаммияти бузург дошта бошад ва ҳамчун фишанги иловагӣ дар роҳи саноатикунории босуръат, механизатсия ва инчунин ивазкунии қисмҳо ва мошинҳои, ки аз хориҷа ворид мешаванд, хизмат кунад.

Хулаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 дар асоси ашёи хоми дуюмдараҷа ҳамчун замимаҳои тамоси хатҳои троллейбус истифода мешавад. Камбудии ин хӯлаи алюминий коэффитсиенти соиши баланди он мебошад, ки муҳлати истифодаи маҳсулоти аз он сохташударо коҳиш медиҳад. Барои кам кардани коэффитсиенти соиши лағжиш ва беҳтар кардани дигар хусусиятҳои механикии ин хӯла дар рисола ҷавҳаронидани хӯла бо металлҳои зудгудохташаванда аз қабилҳои қалъагӣ, сурб ва висмут баррасӣ карда мешавад.

Набудани маълумот дар адабиёт дар бораи хосиятҳои физикию химиявӣ, механикӣ ва зангзании хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут таваҷҷуҳи моро ба омӯзиши хосиятҳои гармӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва коррозионӣ-электрохимиявии ин хӯла ва таҳияи хӯлаҳои нав барои истеҳсоли замимаҳои тамоси хатҳои троллейбус ва дигар соҳаҳои саноат водор кард.

Дарачаи коркарди илмӣ масъалаҳои мавриди тадқиқ. Ба тадқиқ ва коркарди таркибҳои хӯлаҳои нави алюминий корҳои олимони шӯравӣ ва хориҷӣ бахшида шудаанд. Ҷанбаҳои гуногуни сохтор, таркиби фазавӣ, хосиятҳои механикӣ ва зангзанандаи ин хӯлаҳо аз ҷониби Ф.И. Квасов [1], И.Н. Фридляндер [2], Е.И. Кутайцева [3], Д.А. Петров [4], Ю.Г. Каблов [5], О. А. Кайбышев [6], К.Н. Михайлов [7], А.Е. Семёнов [8], В.Н. Барангиков [9], инчунин муҳаққиқони хориҷӣ, аз ҷумла G.W. Edington [10], J.W. Cahn [11], L.F. Mondolfo [12], J.E. Hatch [13], I.J. Polmear [14; 16], J.R. Davis [15], D.J. Lloyd [17], R. Kampmann [18], R.G. Kelly [19], А. А. Ильин [20] мавриди омӯзиш қарор гирифтаанд.

Бо шарофати саҳми онҳо то имрӯз сатҳи баланди дарки назариявии равандҳое, ки ҳангоми ташаккули сохтор ва таркиби фазагии хӯлаҳои алюминий ба амал меоянд, инчунин қонуниятҳои тағйирёбии хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва зангзанандаи онҳо ба даст оварда шудааст.

Дар адабиёти муосири илмӣ то ҳол таъсири қалъагӣ, сурб ва висмут ба сохтор, хосиятҳои механикӣ, гармофизикӣ ва электрохимиявии хӯлаҳои алюминий ба таври кофӣ омӯхта нашудааст.

Робитаи тадқиқот бо барномаҳо (лоихаҳо), мавзӯҳои илмӣ. Мавзӯи кори диссертатсионӣ қисми таркибии лоихаи илмии «Таҳияи таркиби хӯлаҳои нави алюминийи ноқилӣ ва додани тавсияҳо оид ба истифодаи онҳо ба корхонаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» мебошад, ки аз ҷониби озмоишгоҳи маводди ба коррозия устувори Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АМИТ барои солҳои 2021-2025 таҳия карда шудааст. Кор дар доираи Барномаи саноатикунони босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2020-2025, Барномаҳои миёнамуҳлати рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2021-2025 ва ғайра ба нақша гирифта шудааст. Татбиқи ин барномаҳо иҷроиши ҳуҷҷати асоси кишвар - Стратегияи рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030-ро таъмин менамоянд, ки мувофиқи он Тоҷикистон аз модели аграрӣ-индустриалӣ ба модели индустриалӣ - аграрии рушд мегузарад.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАДҚИҚОТ

Мақсади тадқиқот муайян кардани хосиятҳои термофизикӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 бо қалъагӣ, сурб, висмут ва истифодаи натиҷаҳои бадастомада ҳангоми таҳияи таркиби композитсияҳои нави хӯлаҳо барои эҳтиёҷоти техника мебошад.

Вазифаҳои тадқиқот.

1. Омӯзиши вобастагии ҳароратии хосиятҳои термофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут.

2. Омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут дар ҳолати саҳт инчунин муайян кардани хусусият ва механизми раванди оксидшавии онҳо.

3. Тадқиқ намудани таъсири иловаҳо аз қабали қалъагӣ, сурб ва висмут ба рафтори анодии хӯлаи алюминий навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 бо роҳи таҷрибавӣ, дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияҳои мухталиф.

4. Беҳтар намудани хосиятҳои таркибии хӯлаҳо ба воситаи муайян намудани соҳти онҳо, хосиятҳои термофизикӣ, физикавӣ ва химиявӣ ва механикии онҳо, инчунин ҳифзи натиҷаҳо бо патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон.

5. Иҷро кардани таҳлили металографии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронидашуда бо ёрии микроскопи монокулярӣ тамғаи БИОМЕД - 1 (Украина).

б. Муайян намудани таъсири иловаҳои қалъагӣ, сурб ва висмут ба нишондиҳандаҳои саҳтӣ ва мустаҳкамии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо истифодаи асбоби сахтисанҷӣ тамғаи ТШ-2.

Объекти тадқиқот. Ба сифати объекти тадқиқот хӯлаи алюминий, аз ҷумла хӯлаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронидашуда интиҳоб гардид.

Мавзуи тадқиқот: ҳамчун мавзуи тадқиқот синтез, тадқиқи гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут, омӯзиши хосиятҳои механикии ин хӯлаҳо, кинетикаи оксидшавӣ ва хосиятҳои электрохимиявии хӯлаҳо ба ҳисоб меравад.

Усулҳои тадқиқот:

– усули тадқиқи гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар режими “хунукшавӣ” бо истифода аз сабтқунандаи худкори ҳарорат вобаста ба вақти хунукшавии хӯлаҳо;

– усули металлографии таҳлили хӯлаҳои синтезшуда дар микроскопи монокулярӣ тамғаи БИОМЕД-1;

– усули Бринелл барои муайян намудани сахтии металҳо (ТШ-2);

– омӯзиши усули термогравиметрии кинетикаи раванди оксидшавии хӯлаҳои мазкур бо оксигени ҳаво, дар ҳолати саҳтӣ;

– усулҳои ИК-спектроскопия (спектрометри SPECORD-75) ва РФА (дифрактометри ДРОН-3) барои тадқиқи маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо;

– усули потенциостатикӣ тадқиқи хусусиятҳои анодии хӯлаҳо дар речаи потенциодинамикӣ (дар потенциостати ПИ 50-1.1).

Коркарди математикии натиҷаҳои ҷенкунӣ бо истифода аз бастаи стандартии барномаҳо ва барномаи Microsoft Excel гузаронида шуд.

Соҳаҳои тадқиқот маводшиносӣ, техникаи нақлиётӣ ва мошинсозӣ мебошанд.

Марҳилаҳои тадқиқот. Тадқиқоти кори рисола марҳилаҳои синтез ва сертификатсияи хӯлаҳои нави алюминий, муайян кардани таъсири қалъагӣ, сурб ва висмут ба хосиятҳои механикӣ, муайян кардани гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар речаи "хунукшавӣ", ҳисоб кардани функцияҳои динамикаи гармои хӯлаҳо, муқаррар кардани параметрҳои кинетикӣ ва маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо, хосиятҳои электрохимиявӣ ва рафтори анодии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмутро дар бар мегирад.

Маълумоти ибтидоӣ ва базаи таҷрибавӣ: Тадқиқоти таҷрибавӣ бо истифода аз таҷҳизоти маъмули илмӣ, аз ҷумла спектрометри SPECORD-75, дифрактометри ДРОН-3, потенциостати ПИ-50.1.1, дастгоҳ барои тадқиқи хосиятҳои гармофизикии хӯлаҳо дар речаи "хунуккунӣ" ва тарозуҳои термогравиметрӣ анҷом дода шудаанд. Коркарди математикии натиҷаҳои ҷенкунӣ бо истифода аз бастаи стандартии замима ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot ба анҷом расонида шуд.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо. Саҳеҳияти натиҷаҳои тадқиқот бо истифода аз усулҳои муосири таҳлил, таҷҳизоти замонавӣ ва такмилёфта таъмин гардида, бо натиҷаҳои мавҷудаи адабиётӣ муқоиса ва тасдиқ карда шудааст.

Навгониҳои илмӣ тадқиқот.

1. Қонуниятҳои асосии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) ҳӯлаҳои алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронидашуда вобаста аз таркиби компонентҳои лигарӣ дар ҳӯлаҳо ва ҳарорат муқаррар карда шуд.

2. Муайян карда шуд, ки бо афзоиши ҳарорат бузургии гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 афзоиш меёбанд, ва миқдори энергияи Гиббс коҳиш меёбад. Инчунин, ҳангоми тағйир ёфтани миқдори компонентҳои лигарӣ (қалъагӣ, сурб ва висмут) дар таркиби ҳӯлаи мазкур, коҳишёбии бузургиҳои энталпия ва энтропия мушоҳида гардида, бузургии энергияи Гиббс зиёд мегардад. Муайян карда шудааст, ки ҳӯлаҳои алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо сурб ҷавҳаронидашуда дар муқоиса бо ҳӯлаҳои бо қалъагӣ бо висмут ҷавҳаронидашуда гармиғунҷоиши нисбатан зиёд дорад.

3. Қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои кинетикӣ ва энгергетикии раванди оксидшавӣ, ҳӯлаҳои алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ муайян карда шудааст. Дар ташаккулёбии таркиби фазавии маҳсулоти оксидии ҳӯлаҳои ибтидоӣ, мавқеи элементҳои лигари дар механизми оксидшавӣ муайян карда шуд.

4. Қонуниятҳои тағйирёбии рафтори анодии ҳӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 вобаста ба миқдори қалъагӣ, сурб ва висмут дар муҳити электролити NaCl муайян карда шудааст. Тадқиқот нишон дод, ки компонентҳои лигарӣ дар доираи консентратсияи 0,01 - 0,5 %-масса ба коҳиши назарраси суръати зангзании ҳӯлаи асосӣ мусоидат менамояд. Инчунин, муайян гардид, ки иловаи ин элементҳо муқовимати ҳӯларо ба зангзанӣ то 15-20% афзоиш медиҳад.

Аҳамияти назариявӣ тадқиқот. Дар рисола ҷанбаҳои назариявӣ тадқиқот оид ба таъсири таркиб ва ҳарорат ба тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикӣ, инчунин хусусиятҳои кинетикӣ ва энгергетикӣ, рафтори зангзании электрохимиявӣ ҳӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаи қалъагӣ, сурб ва висмут инъикос ёфтааст. Ҳамчунин, таъсири муҳити зангзанӣ ва консентратсияи иловаҳои лигарӣ ба устувории коррозсионӣ ва раванди оксидшавии ҳӯлаи аслии мавриди баррасӣ қарор гирифтааст.

Аҳамияти амалии тадқиқот. Аҳамияти амалии тадқиқот дар таҳияи ҳӯлаҳои таркибашон нав зоҳир мегардад, ки бо оксидшавии кам дар ҳарораҳои баланд фарқ дошта, интиҳоби консентратсияи мувофиқи элементҳои лигарӣ (қалъагӣ, сурб ва висмут) барои баланд бардоштани муқовимат ба коррозияи ҳӯлаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 мусоидат менамояд. Таркиби нави ҳӯла, ки бо

иловаи қалъагӣ, сурб ва висмут таҳия шудааст, бо патенги хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз гардидааст.

Натиҷаҳои асосие, ки ба ҳимоя пешниҳод мегарданд:

1. Натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии ҳарорат ба хосиятҳои гармофизикӣ, коэффитсенти гармигузаронӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаҳои қалъагӣ, сурб ва висмутро нишон медиҳад.

2. Натиҷаҳои тадқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ ва механизми оксидшавии онҳо.

3. Натиҷаҳои тадқиқоти рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ки бо қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронида шудааст, дар муҳити электролитии NaCl бо концентратсияҳои гуногун таҳлил шудаанд.

4. Таркибҳои оптималии хӯлаҳо, ки бо оксидшавии нисбатан кам ва устувории баланди зидди коррозия фарқ мекунанд, ҳамчун маводди конструксионӣ барои ҳифзи маснуот ва конструксияҳои пӯлодӣ аз зангзанӣ, инчунин ҳамчун замимаҳои расиши хатҳои троллейбусҳо аҳаммияти махсус доранд.

5. Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ, бахусус навғониҳои илмӣ ба бандҳои зерини шиносномаи феҳристи ихтисосҳои КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯи самти ихтисоси 2.4.15 – Маводшиносӣ дар саноати мошинсозӣ мутобиқат мекунад:

банди – 1. Тадқиқоти назариявӣ ва таҷрибавии алоқаи фундаменталии таркиб ва сохтори мавод бо маҷмуи хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва корфармой бо мақсади таъмини эътимоднокӣ ва дарозумрии мавод ва маснуот;

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

банди – 3. Таҳияи асосҳои илмии интихоби мавод барои хосиятҳои додашуда дар шароити конкретии истехсол ва истифодаи маснуот ва конструксияҳо;

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

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

Саҳми шахсии довталаби дараҷаи илмӣ дар тадқиқот иборат аз таҳлили маълумоти адабиёт, пешниҳод ва ҳалли масъалаҳои тадқиқотӣ, омодаасозӣ ва анҷом додани таҷрибаҳо дар шароити озмоишгоҳӣ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, шарҳ ва пешниҳод намудани муқаррарот ва хулосаҳои рисола, инчунин нашри натиҷаҳои тадқиқот.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Муқаррароти асосии диссертатсия дар конференсияҳои зерин муҳокима шудаанд: Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ таҳти унвони "Рушди саноат ва инноватсионии иқтисодиёти Ҷумҳурии Тоҷикистон: вазъият, мушкилот ва дурнамо", Душанбе, 2020; Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ "Рушди энергетика ва имкониятҳо", ноҳияи Кушонӣён, вилояти Хатлон, Ҷумҳурии Тоҷикистон, 2020; Конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалӣ "Полиграфия: ҳолат ва рушди дурнамои он", Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, Душанбе, 2020; Конференсияи илмию амалӣ ҷумҳуриявӣ бахшида ба 30-солагии Истиклолияти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 25-солагии Донишгоҳи русӣ-тоҷикӣ (славянӣ), Душанбе, 2021; Конференсияи илмию амалӣ ҷумҳуриявӣ "Рушди инноватсионии илм" бо иштироки созмонҳои байналмилалӣ, Душанбе, 2020.

Интишороти аз рӯи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои тадқиқот дар 18 нашрияи илмӣ ба ҷоп расидаанд, аз ҷумла 8 мақола дар маҷалаҳои илмӣ аз ҷониби ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда ва 9 мақола дар маводди конференсияҳои байналмилӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр гардидаанд. Илова бар ин, 1 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ба даст оварда шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисола аз муқаддима, чор боб, шарҳи адабиёт, маводи таҷрибавӣ, хулоса, рӯйхати манбаъҳо ва натиҷагирии умумӣ иборат аст. Рисола дар 189 саҳифа бо ҳуруфчини компютерӣ таҳия шуда, 57 расм, 58 ҷадвал ва 133 номгӯи адабиётро дар бар мегирад.

МАЗМУНИ АСОСИИ ҚОР

Дар муқаддима зарурати интиҳоб ва аҳаммияти мавзӯи тадқиқот асоснок гардида, ҳадаф ва вазифаҳои тадқиқ муайян шуда, навоариҳои илмӣ, аҳаммияти назариявӣ ва амалӣ ифода ёфта, муқаррароти пешниҳодшаванда барои ҳимояи пешниҳод мегарданд.

Боби аввал ба шарҳи мухтасари адабиёти илмӣ, ки ба мавзӯи тадқиқот марбут аст, бахшида шудааст. Соҳаҳои истифода ва хосиятҳои ҳӯлаҳои алюминий ва хосиятҳои теплофизикии онҳо тавсиф карда шудаанд; хусусиятҳои оксидшавӣ ва рафтори коррозсионӣ-электрохимии ҳӯлаҳои алюминий дар муҳити гуногун. Дар асоси таҳлил кайд карда мешавад, ки хосиятҳои теплофизикии ҳӯлаҳо хуб омӯхта шудаанд. Дар бораи таъсири ҳарорат ва тозагии металлҳо ба хосиятҳои термикӣ ва теплофизикии ҳӯла маълумот мавҷуд аст. Аммо дар адабиёт оид ба хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии ҳӯлаҳои алюминийи Аж2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо калбағӣ, сурб ва висмут маълумот мавҷуд нест.

БОБИ 2. ГАРМИҶУНҶОИШ ВА ТАҶЙИРЁБИИ ФУНКСИЯҶОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ2.4М5.3МГ1.1Ц4Кр3 БО ҚАЛЪАҶИ, СУРЪ ВА ВИСМУТ ҶАВҶАРОНИДАШУДА ВОБАСТА АЗ ҶАРОРАТ

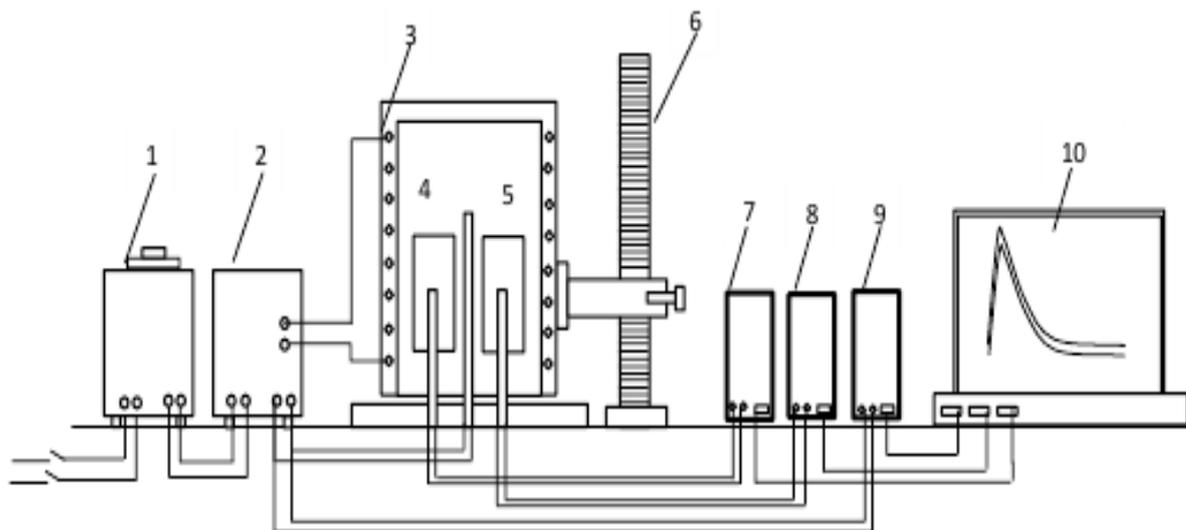
Азбаски хосиятҳои термодинамикии маводди тадқиқшаванда аз нуқтаи назари илмӣ ва амалӣ муҳиманд, мо методологияро истифода бурдем, ки имкон медиҳад арзишҳои $C_p^0 = f(T)$ барои ҳулаҳои металлӣ муайян намоем. Хусусияти ин усул омӯзиши суръати хунукшавӣ ва муқоисаи қиматҳои ҳосилшуда бо қиматҳои эталон, ки қиматҳои эталон пешакӣ муайян карда шудаанд.

Барои гузаронидани тадқиқот намунаҳои андозаи стандартии 30x16 мм бо усули рехтагарӣ дар қолаби графитӣ истеҳсол карда шуданд. Пас аз ҳар як намуна, аз як тараф ба таври механикӣ парма намуда сурохи ҳосил карда шуд, ки дар дохили сурохи термопара гузошта шуд, ки дақиқии ченкуниро таъмин кунад.

Дар рафтигузаронидани тадқиқот намунаҳо то ҳарорати муайян гарм карда мешаванд, баъд раванди баръакс, яъне хунукшавӣ ба таври табиӣ сурат мегирад. Маълумоти гирифташуда дар як фосилаи вақт сабт намуда дар асоси ин хати қачхатаҳои хунукшави сохта мешаванд. Дар ҳолатҳои, ки намунаҳо дар ҳаҷми сатҳ ($S_1 = S_2$) ва инчунин дар коэффитсиенти гармидиҳӣ ($\alpha_1 = \alpha_2$) баробарӣ доранд, гармиғунҷоиш бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳе гузаронида шудааст, ки нақшаи он дар расми 1 оварда шудааст.



Расми 1 – Нақшаи дастгоҳ барои муайян намудани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт дар речаи «хунуккунӣ»: 1 - автотрансформатор; 2 – танзимкунандаи ҳарорат; 3 – хумдони электрикӣ; 4 – намунаи ченшаванда; 5 - эталон; 6 – сутуни хумдон; 7 – ҳароратсанҷи рақамии бисёрфунксиягӣ; 8 – асбоби қайдкунанда (компютер).

Ин дастгоҳ бо ба кор андохтани автотрансформатор (1) ба кор шуруъ намуда, ҳарорати заруриро термостат (2) муқаррар мекунад. Дар асоси арзишҳои экрани рақамии термометр, ҳарорате, ки дар он раванди ченкуни оғоз мешавад, муқаррар карда мешавад. Минбаъд қисми ҳаракаткунанда бо намунаҳое, ки дар он ҷойгиранд, бевосита дар дохили муҳити кори печи электрикӣ, ки дар он намуна гарм карда мешавад, насб кардан лозим аст. Ҳангоми фаъол кардани раванди гармидиҳӣ, инчунин бояд дар хотир дошт, ки омили муҳимми ба даст овардани натиҷаҳои дақиқ ин назорати ҳарорати муқарраршуда бо истифода аз (8) мебошад. Пас аз вақти муайян, қисми ҳаракаткунандаи дастгоҳ бо намунаҳо аз минтақаи гармидиҳӣ хориҷ карда мешавад ва раванди сабти тағйирёбии ҳарорат оғоз меёбад.

Минбаъд суръати хунукшавии намунаҳоро муайян намуда бо истифода аз маълумоти бадастомада қачхатҳои хунукшавӣ сохта шуданд. Ин хатҳо вобастагии ҳарорати намуна ва вақти хунукшавиро дар шароити табиӣ дар сурати набудани ҳаракати ҳаво нишон медиҳанд. Дар расми 2 қачхатаҳои ба даст омадаи бисёркомпонентии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр бо калъагӣ ҷавҳаронидашударо дидан мумкин аст.

Дар раванди гузаронидани таҷриба ҳар 10 сония ченкунии ҳарорат сабт карда мешуд. Тибқи ин усул, дар ҳароратҳои гуногун хатоҳои андозагирии ҳарорат қиматҳои гуногун доштанд, масалан, дар ҳарорати 313-673К, хатой тақрибан як фоизро ташкил меод ва дар ҳарорати баландтар то дувуним фоиз зиёд мешуд.

Муайян кардани хатоҳои ҳангоми ченкунии гармигунҷоиш дар ҳама ҳолатҳо метавонанд ҳадди ақал то чор фоиз бошанд. Дар давоми кори ҳозира мо ба хатоии на бештар аз 1 фоиз ноил гардидем. Коркарди минбаъда ва ҳисобҳо бо истифода аз компютери электронӣ ва коркарди ин маълумот бо истифода аз Sigma Plot анҷом дода шуданд.

Натиҷаҳои ин тадқиқот, қачхатҳои хунуккунии хӯлаи ибтидоӣ бо Sn ҷавҳаронидашуда дар шакли графикӣ дар расми 2а нишон дода инчунин бо муодила шарҳ дода шудаанд:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} [(T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2}] \quad (2)$$

Барои ҳисоб кардани суръати хунукшавии намунаҳо баробарии 2 -ро нисбат ба τ дифференсиронида ҳосил шуд:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[-\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right) e^{-\tau/\tau_1} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (3)$$

Бо истифода аз ин муодила мо қиматҳои суръати хунукшавии намунаҳоро, ки аз хӯлаи алюминийи бисёркомпонентаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 сохта шудаанд, муайян кардем, ки дар тасвири графикӣ дар расми 2б нишон дода шудааст. Коэффитсиентҳои зарурӣ барои муодилаи 3 дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.

Чадвали 1 – Коэффитсиентҳои зарурӣ барои ҳисоб намудани муодила

Миклори иловаи қалъагӣ бо % масса	ΔT_1 , К	τ_1 , с	ΔT_2 , К	τ_2 , с	$\Delta T_1/\tau_1$, К/с	$\Delta T_2/\tau_2$, К/с	ΔT_0 , К
-	309,37	280,71	283,21	280,68	1,10	1,01	315,40
0,01	307,822	280,71	281,79	280,67	1,10	1,00	315,19
0,05	310,60	280,71	284,32	280,68	1,11	1,01	315,56
0,1	307,16	280,71	281,18	280,68	1,09	1,00	315,10
0,5	304,42	280,71	278,67	280,68	1,08	0,99	314,72

Барои муайян кардани қимати гармиғунҷоиши хоси намунаи озмоишии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+Sn, татиҷаҳои қаблан муайяншудаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаи ибтидоӣ ва хулаҳои бо қалъагӣ чавҳаронидашуда тибқи ифодаи 1 ҳисоб карда шуданд. Натиҷаҳои ба даст овардашуда дар чадвали 1 ва инчунин дар расми 2б муфассал оварда шудаанд.

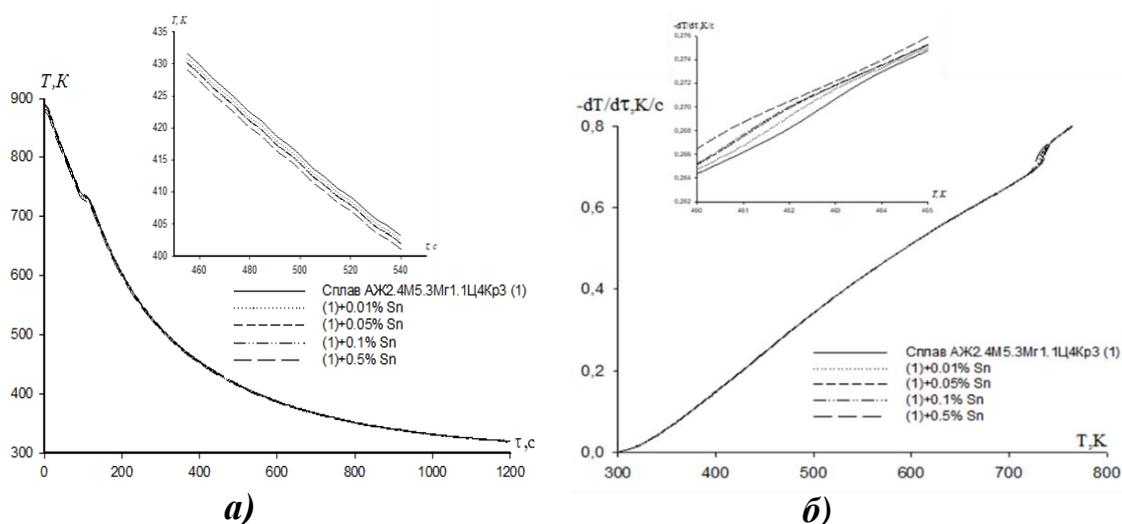
Барои муқаррар кардани тағйирёбии гармиғунҷоиш хос аз тағйирёбии ҳарорат дар муҳити кори муодилаи умумӣ бадаст оварда шуд, ки чунин шакл дорад:

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

Коэффитсиентҳои дар (4) истифодашударо дар чадвали 2 пайдо кардан мумкин аст. Минбаъд, бо истифода аз қиматҳои қаблан ҳисобшудаи гармиғунҷоиш ва суръати хунукшавӣ, мо коэффитсиентҳои гармиғунҷоишро барои хӯлаи бисёкомпонентии АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+Sn бо формулаи зерин ҳисоб кардем:

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

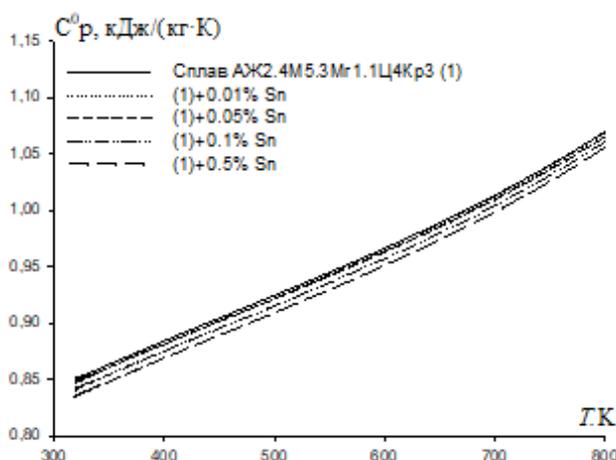
Натиҷаҳои ҳосилшуда дар расми 3б нишон дода шудаанд.



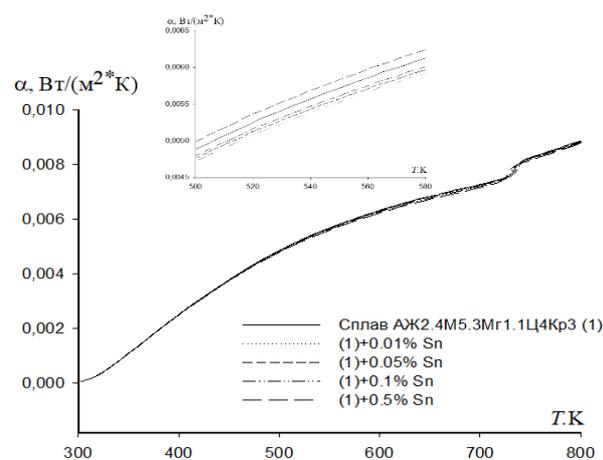
Расми 2 – Қачхатҳои термограммаҳо (а) ва суръати хунукшавӣ вобаста ба ҳарорат (б) барои намунаҳои хӯлаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо Sn

Ҷадвали 2 – Қиматҳои коэффитсиентҳо барои ҳисоб кардани иқтидори гармӣ бо истифода аз муодилаи (4)

Миқдори Sn, (масс. %)	a , $Ҷ/(кг\cdot K)$	b , $Ҷ/(кг\cdot K^2)$	$c \cdot 10^{-3}$, $Ҷ/(кг\cdot K^3)$	$d \cdot 10^{-5}$, $Ҷ/(кг\cdot K^4)$	Коэфф. коррелятсии R
-	0,660	8,101	-8,851	0,640	1
0.01	0,657	8,142	-8,942	0,648	1
0.05	0,659	8,031	-8,731	0,630	1
0.1	0,652	8,112	-8,925	0,647	1
0.5	0,645	8,162	-9,067	0,659	1



а)



б)

Расми 3 - Тағйирёбии гармиғунҷоиш (а) ва коэффитсиенти гармигузаронии намунаҳо (б) вобаста аз ҳарорат, барои хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаҳои калъагӣ

Чӣ тавре, ки дида мешавад, бо зиёдшавии миқдори калъагӣ дар таркиби хула қимати гармиғунҷоиш ва коэффитсиенти гармидиҳӣ кам шуда бо зиёдшавии ҳарорат ин бузургиро зиёд мешаванд.

Ҷадвали 3 – Гармиғунҷоиши хос ва тағйирёбии он бо зиёд шудани ҳарорат барои хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаҳои калъагӣ

Миқдори Sn дар хула бо % и масса	T, К					
	3 0 0	4 0 0	5 0 0	6 0 0	7 0 0	8 0 0
-	0,841	0,883	0,924	0,966	1,013	1,069
0.01	0,838	0,881	0,922	0,964	1,011	1,068
0.05	0,838	0,880	0,921	0,963	1,009	1,065
0.1	0,832	0,875	0,915	0,957	1,004	1,061
0.5	0,826	0,868	0,908	0,950	0,998	1,055
зиёдшавии C_p^0 , %	-1,83	-1,75	-1,69	-1,62	-1,51	-1,37

Муодилаи дар боло овардашуда (4) барои интегралҳои қимати гармиғунҷоиш барои муайян кардани тағйирёбии хосиятҳои гармофизикии

намунаҳои озмоишӣ дар натиҷаи баланд ё паст шудани ҳарорат дар муҳити тадқиқшаванда аз руи формулаҳои зерин асос гардид:

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

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

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

Қимати ин муодилаҳо ба 298,15 келвин баробар аст.

Дар асоси маълумоте, ки дар натиҷаи таҷрибаҳо ба даст оварда шудаанд, чунин тахмин кардан мумкин аст, ки бо элементҳои Sn, Pb ва Bi ба миқдори аз 0,01 то 0,5 фоизи масса омехта кардан, чунин нишондиҳандаҳои энергетикӣ система, монанди энталпия ва энтропия кам шуда (Чадвали 4). энергияи Гиббс зиёд мешавад.

Чадвали 4 – Параметрҳои термодинамикӣ ва таъсири ҳарорат ба онҳо барои ҳулаҳои алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаҳои калъагӣ

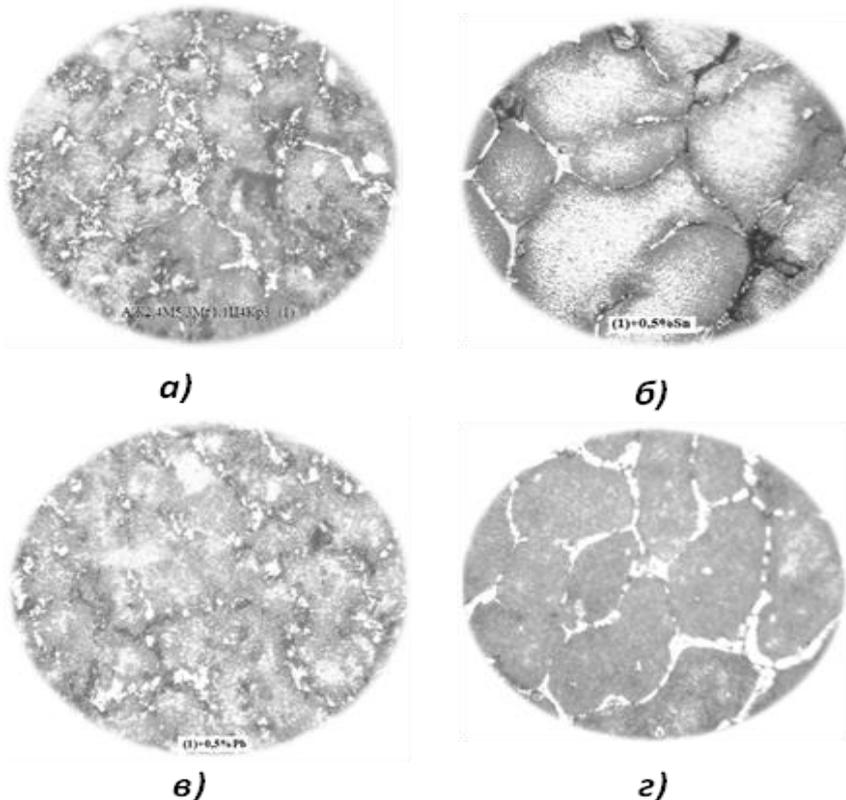
Т, К	Ҳулаи АЖ2.4М5.3 Мг1.1Ц4Кр3	Миқдори Sn, бо % масса			
		0,01	0,05	0,1	0,5
[$H^0(T) - H^0(T_0)$], кҶ/кг					
300	1,5553	1,5509	1,5511	1,5393	1,5274
400	87,840	87,599	87,595	86,953	86,296
500	178,24	177,77	177,74	176,47	175,17
600	272,74	272,05	271,94	270,08	268,12
700	371,65	370,76	370,53	368,10	365,51
800	475,72	474,66	474,22	471,30	468,10
[$S^0(T) - S^0(T_0^*)$], кҶ/кг · К					
300	0,0052	0,0052	0,0052	0,0051	0,0051
400	0,2531	0,2524	0,2524	0,2506	0,2487
500	0,4547	0,4535	0,4534	0,4502	0,4468
600	0,6269	0,6253	0,6250	0,6207	0,6162
700	0,7793	0,7773	0,7769	0,7717	0,7662
800	0,9181	0,9160	0,9153	0,9094	0,9031
[$G^0(T) - G^0(T_0^*)$], кҶ/кг					
300	-0,0048	-0,0048	-0,0048	-0,0048	-0,0047
400	-13,412	-13,375	-13,375	-13,276	-13,175
500	-49,104	-48,971	-48,966	-48,610	-48,244
600	-103,38	-103,10	-103,08	-102,35	-101,59
700	-173,82	-173,37	-173,32	-172,10	-170,84
800	-258,78	-258,12	-258,02	-256,25	-254,40

Барои фаҳмидани хосиятҳои мавод ва равандҳое, ки дар ҳулаҳо ба амал меоянд, сохтор ва таркиби дохилро доништан лозим аст. Фаҳмидани мавҷудияти пайвастагиҳо, фазаҳо ва шаклҳои онҳо дар як мавод метавонад

барои гузаронидани таҷрибаҳо ва ҷустуҷӯҳои муайян барои беҳтар кардани хосиятҳои эҳтимолии маводи омӯхташаванда асос гардад. Бо омӯзиши сохтори дохилӣ, мо метавонем таъсири ҳар як ҷузъи иловашударо ба сохтор ва мувофиқан хосиятҳое, ки ҳӯла нишон медиҳад, муайян кунем. Ва он гоҳ, дар асоси ин, таҷриба бо ҷузъҳо, намудҳои таъсир ба ҳӯла ва усулҳои коркард, ки дар ниҳоят метавонад сифатҳои дилхоҳро диҳад.

Ҳӯлаи омӯхташуда ки аз компонентҳои зиёд АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 иборат аст, намунаи хоси маҳлули сахтест, ки дар таркибаш эвтектика дорад, ки ҳаҷми он вобаста ба таркиби лигатура фарқ мекунад.

Дар рафти тадқиқот маълум гардид, ки дар намунаҳое, ки миқдори ками иловаҳои Sn, Pb, Bi доранд, сохтори ҳӯлаи дорои сохтори бузурги дончаҳо хос аст. Бо зиёд шудани таркиби иловаҳо микроструктураи ҳӯлаи асли ба дончаҳои хурд табдил ёфта, якхела мешавад, ки онро дар расми 4 дидан мумкин аст. Ҳамин тавр маълум гардид, ки намунаҳои тадқиқшуда микросохтори хос доранд, ки дар он маҳлули саҳти алюминий ҷузъи асосӣ мебошад, вале иловаҳои фазаҳои дигар низ вучуд доранд.



Расми 4 - Микросохтори намунаҳои омӯхташуда:

- а) ҳӯлаи аслии АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3; баъд намунаҳо бо иловаҳои 0,5 % масса. б) калъагӣ, в) сурб ва г) висмут.

Саҳтӣ хосиятест, ки ҳангоми интихоби мавод барои истеҳсоли қисмҳои дорои вазифаҳои гуногун яке аз муҳимтаринҳо ҳисобида мешавад. Қимати саҳтӣ муайян мекунад, ки оё маводи омӯхташуда ҳамчун маводди конструксионӣ барои истеҳсоли қисмҳое, ки ҳангоми кор сарбории баланд

доранд ё не. Бо ин мақсад, мо як қатор тадқиқотро барои муайян кардани сахтии намунаҳо аз ҳама хӯлаҳои синтезшуда гузаронидем. Барои муайян кардани сахтӣ усули асосии Бринелл, ки васеъ истифода мешавад, интиҳоб карда шуд; аз тамоми хӯлаҳои синтезшуда, ки шаклашон мувофиқи стандарт (10 x 16 мм) доштанд, намунаҳо гирифта шуданд, ки баъдан дар дастгоҳи Бринел тамғаи ТШ-2 санчида шуданд.

Бартарии дигари усули Бринелл дар он аст, ки бо дониستاني қиматҳои сахтӣ бо истифода аз ҳисобҳо хосияти дигари хӯлаҳоро муайян кардан мумкин аст, масалан устуворӣ. Бо истифода аз қиматҳои зарурӣ, метавон ҳудуди устувории маводро бо формулаи зерин ҳисоб кард:

$$\sigma_b = k \cdot HB, \text{ МПа}$$

Тибқи маълумоти адабиёт, «к» барои хӯлаҳои алюминӣ ба 0,25 баробар аст. Дар асоси натиҷаҳои ин озмоишҳо маълум гардид, ки иловаҳои мо ба андозаи 0,5 % масса ба сахтӣ ва устуворӣ таъсири манфӣ мерасонад.

Ҷадвали 6 – Натиҷаҳои сахтӣ ва ҳудуди устуворӣ

Иловаҳо ва миқдори онҳо, (% масса)	Сахтӣ* HB,		Мустаҳками (ҳисоби), МПа
	кгк/мм ²	МПа	
0,0	94,02	922,3362	230,5841
0,01Sn	89,09	873,9729	218,4932
0,05Sn	84,54	829,3374	207,3344
0,1Sn	80,33	788,0373	197,0093
0,5Sn	72,78	713,9718	178,493
0,01Pb	94,02	922,3362	230,5841
0,05Pb	87,23	855,7263	213,9316
0,1Pb	84,54	829,3374	207,3344
0,5Pb	81,97	804,1257	201,0314
0,01Bi	89,09	873,9729	218,4932
0,05Bi	83,67	820,8027	205,2007
0,1Bi	80,33	788,0373	197,0093
0,5Bi	76,42	749,68	187,42

* - қимати миёнаро аз рӯи натиҷаҳои 3 маротиба ченкуни муайян намудем.

Дар натиҷаи тадқиқоти гузарондашуда дар бораи хосиятҳои термофизиқии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 маълумотҳои нав ба даст оварда шуданд. Дар ҷадвали 5 қиматҳои, ки ҳангоми омӯзиши хӯлаи ибтидоӣ бо миқдори иловагии металли 0,5% ба даст омадаанд, оварда шудаанд. Инчунин, бузургӣ, ки барои зиёд намудани нишондодҳои гармиғунҷоиш, энтропия ва энталпия бо зиёд шудани ҳарорат хизмат мекунад оварда шудаанд. Баръакси иловаҳо, ки намунаи муқобил доранд. Ба ибораи дигар, ҷавҳаронидани металлҳои номбаршуда боиси коҳиши қиматҳои

гармиғунҷоиш, энтропия ва энталпия дар муқоиса бо қиматҳои хӯлаи аслии мегардад, ва энергияи Гиббс баръакс, меафзояд.

БОБИ Ш. КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, БО ҚАЛЪАГӢ, СУРЪ ВА ВИСМУТ ҶАВҲАРОНИДАШУДА

Дар ин боби қор натиҷаҳои умумишудаи ҷавҳаронидан ва дар натиҷа тағйирёбии қиматҳои параметрҳои оксидшавии фазаҳои саҳти ҳарорати баланд ҷамъбаст қарда мешаванд. Бо мақсади муайян намудани таъсири иловаҳо ба раванди оксидшавӣ ва ба даст овардани фаҳмиши пурраи қонунияти тағйирёбии ҳосиятҳо бо тағйирёбии консентратсияи иловагӣ аз хӯлаи аслии бо иловаҳои Sn, Pb ва Bi дар таркиби гуногун (0,01-0,5%) намунаҳо тайёр қарда шуданд. Тадқиқоти мазкур бо истифода аз таҷҳизоте гузаронида шуданд, ки барои ҷенкунии пайвасти массаи намунаҳои боршуда имкон медиҳад. Тадқиқот дар як танӯр бо дастрасии оксиген аз муҳити атроф ва ҳарорати муқарраршуда, ки қимати пасттар аз нуқтаи обшавӣ дорад, гузаронида шуд.

Қиматҳои рақамии натиҷаҳо, ки дар рафти тадқиқот ба даст оварда шудаанд, дар ҷадвали 6, 7, 8, инчунин дар расмҳои 5-8 муфассалтар оварда шудаанд. Дар ҷадвали 6 параметрҳои энергетикӣ ва кинетикӣ раванди оксидшавӣ вобаста ба таркиби компоненти иловашуда ва ҳарорати тадқиқот оварда шудаанд.

Ҷадвали 6 – Бузургиҳои кинетикӣ ва энергетикӣ равандҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо иловаи қалъагӣ

Миқдори қалъагӣ дар таркиби хӯла, мас.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати миёнаи оксидшавӣ $K \cdot 10^4, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи фаъоли самарабахш кҶ/мол
0,0	623	3.01	82.1
	673	3.60	
	723	4.02	
0.01	623	2.86	92.0
	673	3.45	
	723	3.87	
0.05	623	2.80	97.8
	673	3.39	
	723	3.81	
0.1	623	2.74	102.3
	673	3.33	
	723	3.75	
0.5	623	2.68	107.1
	673	3.27	
	723	3.69	

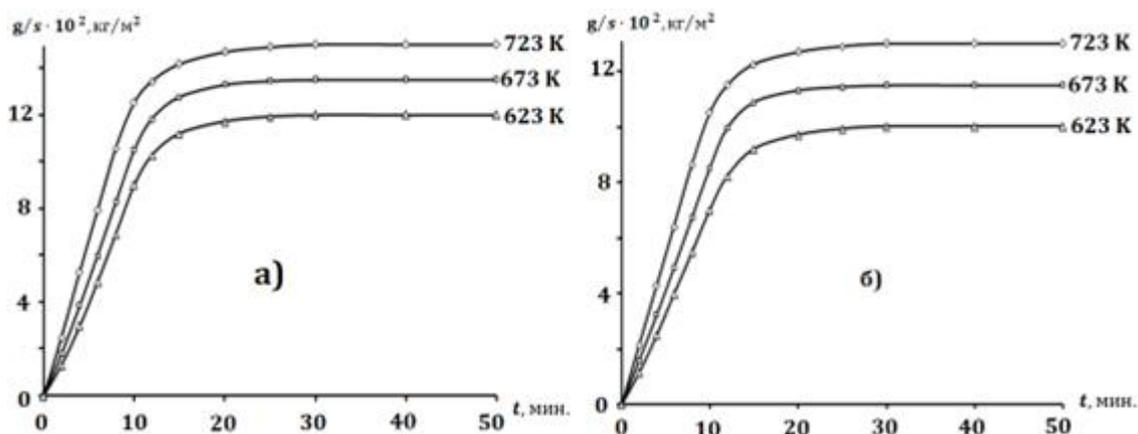


Рисунок 5 – Качхаттаҳои ҷараёни оксидшавӣ:

- а) Намунаи хӯлаи аслӣ бе иловаҳо;
 б) Намуна бо иловаи 0,5% Sn.

Ҳангоми таҳлил ва коркарди натиҷаҳо маълум гардид, ки оксидшавӣ ҳамзамон аз гузоштани тигель бо намуна дар танӯр оғоз мешавад, яъне афзоиши масса аз аввали ченкунӣ ба амал меояд. Мувофиқи маълумоте, ки дар расми 5 нишон дода шудааст, афзоиши пуршиддати вазн тақрибан 20 дақиқа давом мекунад ва баъд ба эътидол омадани хат мушоҳида мешавад, ки ин нишон медиҳад, ки намуна вазни худро минбаъд тағйир намедиҳад ва ба ҳолати устувор мегузарад. Ин нишон медиҳад, ки намуна бо қабати оксидҳои металлҳои дар намуна мавҷудбуда пурра пӯшида шудааст ва ин қабат имкон намедиҳад, ки оксигени атмосфера бо қисми металии боқимондаи намуна тамос гирад.

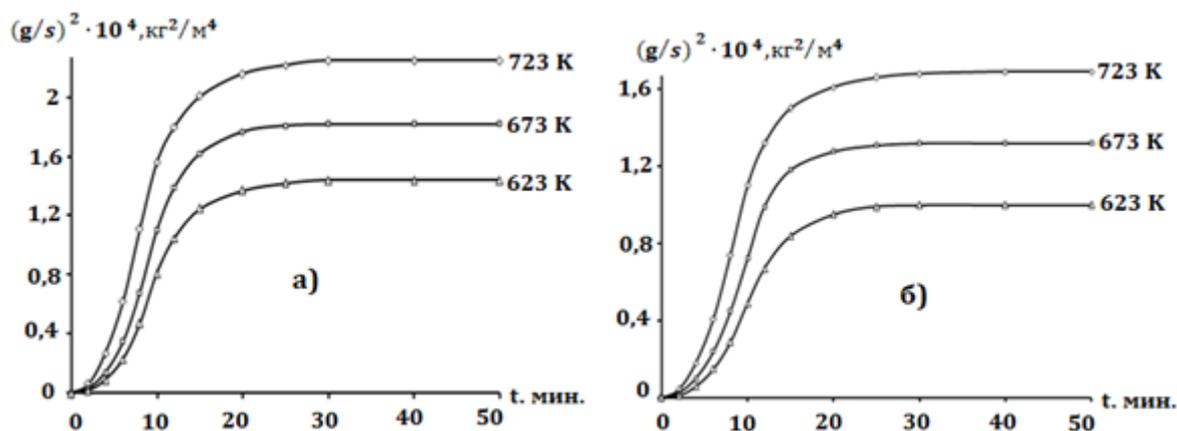


Рисунок 6 – Качхаттаҳои квадрати ҷараёни оксидшавӣ:

- а) Намунаи хӯлаи аслӣ бе иловаҳо;
 б) Намуна бо иловаи 1,0% Sn.

Дар расми 7 қачхаттаҳои раванди оксидшавии намунаҳо аз хӯлаи аслӣ (АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3) ва намунаҳо бо Sn нишон дода шудаанд. Мувофиқи ин хатҳо илова кардани қалъагӣ шиддати оксидшавиро зиёд мекунад; миқдори қалъаги чӣ қадар зиёд бошад, хӯла ҳамон қадар тезтар оксид мешавад; Инро маълумоти ҷадвали 7 низ нишон медиҳанд, ки дар он қиматҳои энергияи

фаълсозӣ дар баробари афзоиши миқдори калъагӣ афзоиш меёбанд. Ин вобастагӣ ҳам бо вақти 10 дақиқа ва ҳам бо вақти 20 дақиқа мушоҳида карда шуд.

Натиҷаҳо нишон доданд, ки ҳатти оксидшавии хӯлаи дорои калъагӣ бо хати рост хос нест, ки ин нишондиҳандаи он аст, ки раванди оксидшавӣ бо шакли ғайрипараболӣ хос аст (расми 6). Полиномҳои ин қачҳои кинетикӣ, мувофиқи маълумоти ҷадвали 8, шакли муодилаи $y = k \cdot x^n$ доранд, ки дар он қиматҳои n метавонанд аз 1 то 3 фарқ кунанд.

Дар қачхатҳои дар расми 8 овардашуда муносибатҳои $-\lg K = f(1/T)$ -ро барои хӯлаҳои омӯхташуда нишон медиҳанд, ки дар таркиби онҳо аз 0,01 то 0,5 фоиз иловаҳои калъагӣ мавҷуданд ва намуди ростиҳатӣ доранд. Ин қачхатҳо барои ҳисоб кардани энергияи фаълсозӣ барои оғози раванди оксидшавӣ истифода мешуданд. Ин бузургӣҳо дар асоси тангенсӣ кунҷи ростиҳатҳо муайян карда мешаванд. Ҷадвали 6 натиҷаҳои ин ҳисобҳоро нишон медиҳад.

Ҷадвали 7 – Қиматҳои қачхатҳои полиномии раванди оксидшавӣ дар ҳолати саҳт

Миқдори калъагӣ дар таркиби хӯла, мас.%	Ҳарораги оксидшавӣ, К	Полиномҳои қачхатҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиент и коррелятсия R
0.0	623	$y' = -5 * 10^{-5}x^3 - 0,033x^2 + 1,142x''$	0,980
	673	$y = -0.001x^3 - 0,042x^2 + 1,358x$	0,985
	723	$y = -0.001x^3 - 0,077x^2 + 1,821$	0,991
0.01	623	$y = -4 * 10^{-6}x^3 - 0,024x^2 + 1,029x$	0,980
	673	$y = -0.001x^3 - 0,04x^2 + 1,307x$	0,986
	723	$y = -0.001x^3 - 0,072x^2 + 1,732x$	0,990
0.05	623	$y = -2 * 10^{-5}x^3 - 0,021x^2 + 0,966x$	0,983
	673	$y = -0.001x^3 - 0,036x^2 + 1,226x$	0,986
	723	$y = -0.001x^3 - 0,063x^2 + 1,611x$	0,988
0.1	623	$y = -9 * 10^{-5}x^3 - 0,018x^2 + 0,887x$	0,984
	673	$y = -0.001x^3 - 0,033x^2 + 1,152x$	0,987
	723	$y = -0.002x^3 - 0,059x^2 + 1,532x$	0,989
0.5	623	$y = -6 * 10^{-5}x^3 - 0,017x^2 + 0,849x$	0,987
	673	$y = -0.001x^3 - 0,030x^2 + 1,097x$	0,987
	723	$y = -0.002x^3 - 0,057x^2 + 1,475x$	0,990

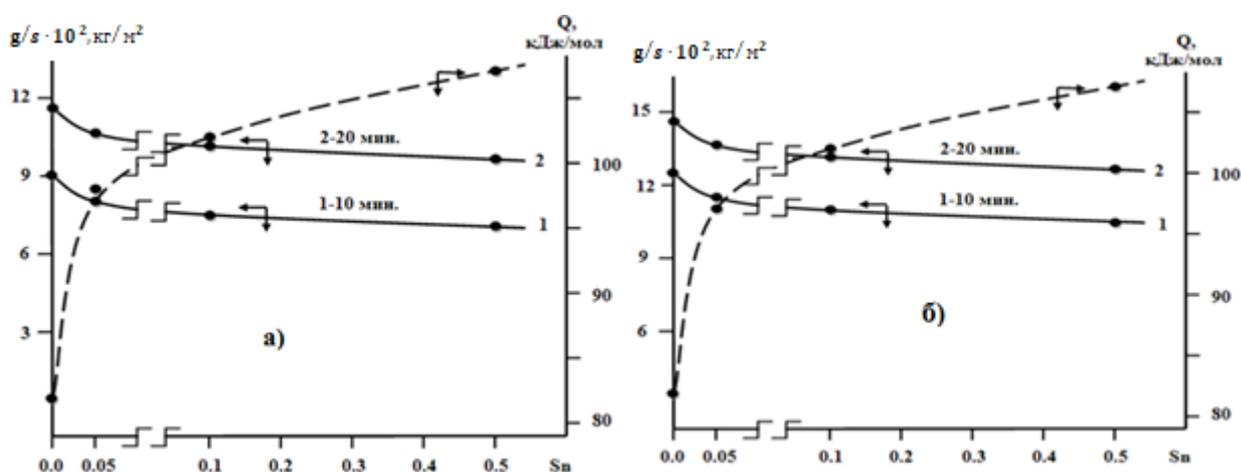
y' - афзоиши масса (g/s, кг/м²);

x'' - давомнокии раванди оксидшавӣ (бо дақиқа).

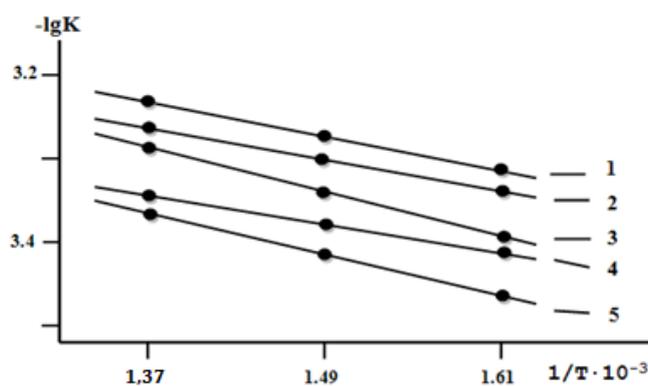
Бо мақсадӣ муайян кардани пайвастагиҳои дар натиҷаи оксидшавӣ ҳосилшуда қарор дода шуд, ки таҳлили марҳилаи рентгени намунаҳо гузаронида шавад. Барои ин таҳлил дифрактометри ДРОН-3 истифода шуд, ки барои муайян кардани таркиби моддаҳо васеъ истифода мешавад.

Пайвастани пайвастагиҳои зерин: Cu_2O ; $\text{Fe}_{0.974}\text{O}$; SiO_2 ; MgAl_2O_4 ; Al_2O_3 ; $\text{Si}_{196}\text{O}_{192}$; $\text{Si}_{1.75}\text{Al}_{4.25}\text{O}_{20}$; Mg_2SiO_4 ; SnO тавассути таҳлили марҳилаи рентгенӣ муайян карда шуд. Дар расми 9 намунаи дифраксияи ин тадқиқот мавҷуд аст, ки қуллаҳои пайвастагиҳои муайяншударо нишон медиҳад.

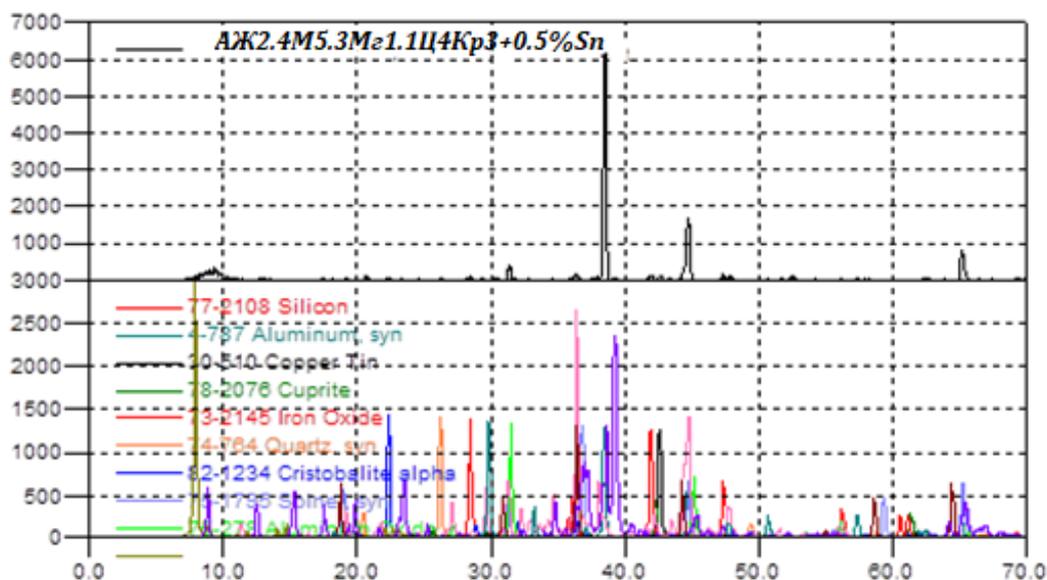
Умуман, илова кардани Sn дар диапазонҳои омӯхташуда (0,01-0,5%) боиси ба оксидшавӣ дар ҳарорати баланд тобовартар шудани хӯлаи синтезшуда мегардад (Ҷадвали 8). Тақмили ин параметр метавонад сабаби дар саноат истифода бурдани хӯлаҳои ба даст овардашуда, аз ҷумла ҳамчун мавод барои конструксияҳо, қисмҳои мошинҳо ва таҷҳизоте гардад, ки ба оксидшавӣ дар ҳарорати баланд тобоварии зиёдро талаб мекунанд.



Расми 7 – Қачхатҳои раванди оксидшавӣ, ки тағйироти параметрҳо бо афзоиши миқдори қалъагӣ нишон медиҳанд, (а) дар 623К; (б) 723К;



Расми 8 – Вобастагии $-\lg K$ аз $1/T$ барои хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 (1), бо қалъагӣ ҷавҳаронидашуда, % масса: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5).



Расми 9 – Намунаи дифраксияи рентгени хӯлаи бисёркомпонентаи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+0,5% Sn баъди оксидшавӣ.

Ҷадвали 8 – Параметрҳои кинетики ва энергетикӣ риванди оксидшавӣ хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ

Металҳои чавҳарӣ	Миқдори иловаҳо дар таркиби хула бо % -и масса				
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
Sn	82.1	92.02	97.81	102.31	107.14
Pb		88.21	93.90	98.56	104.32
Bi		85.93	90.32	96.53	100.27

Дар асоси натиҷаи тадқиқоти термогравиметрӣ ва қиматҳои бадастомадаи омузиши намунаҳои хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, бо металҳои Sn, Pb, Bi чавҳаронидашуда, ба хулосае омадан мумкин аст, ки хӯлаҳои алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо висмут чавҳаронидашуда нисбат ба хӯлаҳои алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ ва сурб чавҳаронидашуда фаъолонатар оксид мешавад. Аз ин бармеояд, ки қалъагӣ хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 – ро ба оксидшавӣ тобовартар мекунад.

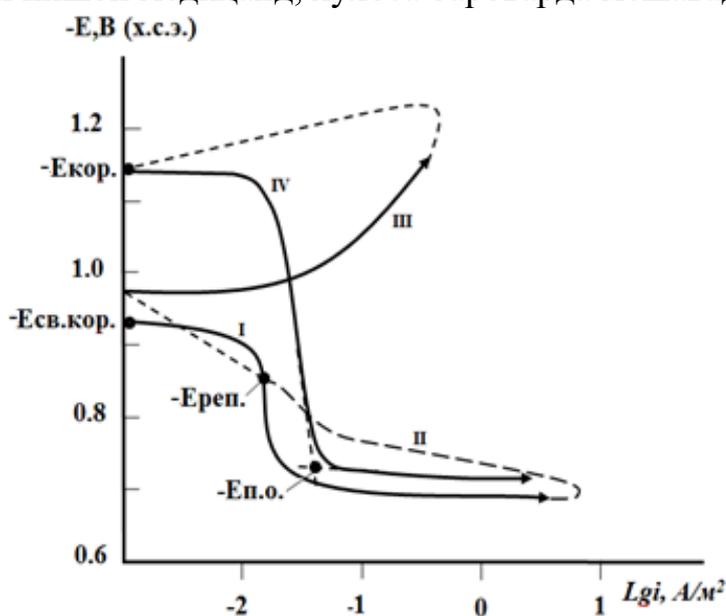
БОБИ IV. РАФТОРИ КОРРОЗИОНӢ-ЭЛЕКТРОКИМИӢВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИӢИ АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, БО ҚАЛӢАГИ, СУРБ ВА ВИСМУТ ЧАВӢАРОНИДАШУДА

Усули ҳосил намудани хӯлаҳо дар боби 2 оварда шудааст. Аз хӯлаҳои ҳосилшуда намунаҳои цилиндршакли дарозшакл 140мм ва қутрашон 8мм, ки қисми паҳлуии онҳо ҳамчун электроди корӣ хизмат мекунад, ҳосил карда шуд. Тадқиқоти электрохимиявӣ дар потенциостати ПИ-50-1.1 асбоби худсабткунандаи ЛКД-4 ва барномасозӣ ПР-8 дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати

тобиши потенциали 2 мВ/с ичро карда шуд. Ба сифати электроди тадқиқотӣ электроди хлорию нукрагӣ ва ҳамчун электроди ёрирасони платинагӣ истифода шуд.

Барои муайян кардани хосиятҳои электрохимиявии ҳӯлаҳои омӯхташуда маҳлули нейтралӣ NaCl истифода шуд, ки дар тадқиқоти гуногун консентратсияи он гуногун буд.

Дар рафти ин намуди тадқиқот потенциалҳои ин ҳӯлаҳо ошкор карда шуданд. Масалан, дар расми 10 нишони нуқтаҳои потенциалҳоро ба монанди потенциали зангзанӣ, репассиватсия, зангзании озод ва зангзании питингӣ дидан мумкин аст, ки онро зангзании нуқта низ меноманд. Ин характеристикаҳо нишондиҳандаҳои асосии сифати ҳӯлаҳо мебошанд, ки дар асоси онҳо дар бораи тобоварӣ ба зангзании ҳӯлаҳо ва параметрҳои, ки дар онҳо хосиятҳои муайян нишон медиҳанд, хулоса бароварда мешавад.



Расми 10 – Графикаи қачхатҳои поляризацияи намуна аз ҳӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 дар электролитҳои моеъ (3% NaCl)

Раванди асосие, ки пешрафти коррозияро назорат мекунад, реаксияи катодикӣ ионизатсияи оксиген ҳангоми омӯхтани муҳити нейтралӣ мебошад. Бузургии ҷараёни барқ бо истифода аз константаи плитка ($b_k = 0,12$ В) аз шохаҳои раванди катодӣ ҳисоб карда шуд.

Шиддати зангзанӣ бо истифода аз ҷараёни зангзанӣ аз рӯи формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

Қимати эквиваленти электрохимиявӣ $k=0,336$ г/А·соат дар вақти кофтукоби адабиёт гирифта шуд.

Дар ҷадвали 9 маълумотҳои мухтасаре, ки дар натиҷаи гузарондан ва ҳисоб кардани ҳамаи маълумотҳо ба даст оварда шудаанд, оварда шудаанд. Ҳангоми таҳлили ин ҷадвал ба хулосае омадан мумкин аст, ки иловаҳои мо Вi, Рb, Sn ба миқдоре, ки мо истифода мебарем (аз 0,01% то 0,5%) ба баланд бардоштани устувории зангзании ҳӯлаи аслии АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3

мусоидат мекунанд. Инчунин, потенциалҳо аз қабилӣ потенциали зангзанӣ, репассиватсия ва питингҳосилкунӣ низ афзоиш меёбанд. Аниқтар гӯем, дар натиҷаи бо металҳои Sn, Pb, Bi омехта кардани хӯлаи аслӣ муқовимати он ба вайроншавии зангзанӣ тақрибан 15-30 фоиз меафзояд, ки ин натиҷаи хуб аст.

Механизми таъсири элементҳои лигарӣ ба қобилияти хӯла оиди муқовимат кардан ба вайроншавии зангзанӣ аст, ки ин ҳолатро мусбат арзёби кардан мумкин аст, зеро бо зиёд шудани миқдори иловаҳо потенциали электрохимиявӣ хеле зиёд шуда, зичии чараён кам мешавад.

Ҷадвали 8 – Қимати потенциалҳои хӯлаи аслӣ бо иловаҳои гуногун

Муҳити NaCl	Иловаҳо ва миқдори он	Sn		Pb		Bi	
		-E _{св. корр.}	-E _{п. о.}	-E _{св. корр.}	-E _{п. о.}	-E _{св. корр.}	-E _{п. о.}
	% масса	B					
0,03	0.0	0,894	1,056	0,894	1,056	0,894	1,056
	0.01Sn	0,884	1,044	0,870	1,032	0,861	1,019
	0.05 Sn	0,876	1,031	0,858	1,020	0,848	1,008
	0.1 Sn	0,868	1,018	0,847	1,007	0,839	0,994
	0.5 Sn	0,862	1,004	0,835	0,993	0,829	0,982
0,3	0.0	0,917	1,100	0,917	1,100	0,917	1,100
	0.01Pb	0,906	1,087	0,892	1,076	0,880	1,064
	0.05Pb	0,897	1,072	0,880	1,060	0,870	1,049
	0.1 Pb	0,890	1,056	0,870	1,041	0,858	1,028
	0.5 Pb	0,882	1,040	0,860	1,028	0,847	1,014
3,0	0.0	0,936	1,140	0,936	1,140	0,936	1,140
	0.01Bi	0,923	1,128	0,910	1,120	0,899	1,109
	0.05Bi	0,914	1,116	0,900	1,105	0,888	1,093
	0.1Bi	0,906	1,104	0,888	1,091	0,876	1,078
	0.5 Bi	0,897	1,092	0,877	1,080	0,867	1,066

Ҷадвали 9 - Зангзанӣ ва тағйирёбии суръати он вобаста аз миқдори иловаҳо ва консентратсияи хлорид дар электролит

Иловаҳо ва миқдори онҳо, (% масса)	Электролит NaCl, (% масса)					
	0,03		0,3		3,0	
	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/М}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/М}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/М}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/М}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/М}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/М}^2 \cdot \text{ч}$
0.0	0,28	9,38	0,39	13,65	0,52	17,42
0.01Sn	0,24	8,04	0,37	12,39	0,50	16,75
0.05 Sn	0,22	7,37	0,35	11,72	0,48	16,08
0.1 Sn	0,20	6,70	0,33	11,05	0,46	15,41
0.5 Sn	0,18	6,30	0,31	10,38	0,44	14,74
0.01Pb	0,22	7,37	0,34	11,39	0,47	15,74
0.05Pb	0,19	6,36	0,32	10,72	0,45	15,07
0.1 Pb	0,17	5,69	0,30	10,05	0,43	14,40
0.5 Pb	0,14	4,69	0,28	9,38	0,41	13,73
0.01Bi	0,20	6,70	0,32	10,72	0,44	14,74
0.05Bi	0,17	5,69	0,29	9,71	0,41	13,73
0.1Bi	0,14	4,69	0,25	8,37	0,38	12,73
0.5 Bi	0,11	3,68	0,23	7,70	0,36	12,06

ХУЛОСАҶО

1. Дар речаи «хунукшавӣ» вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш, коэффитсиенти гармиғузaronи ва тағйироти функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ки бо қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронида шудаанд, тадқиқ карда шудаанд. Бо баробари баланд шудани ҳарорат зиёд шудани гармиғунҷоиш ва коэффитсиенти гармиғузaronии хӯлаҳо нишон дода шудааст. Вобаста ба миқдори компоненти лигарӣ бузургии гармиғунҷоиш коҳиш ёфта ва коэффитсиенти гармиғузaronи зиёд мешавад. Дар натиҷа полиномияҳое ба даст оварда шудаанд, ки вобастагии ҳароратро аз гармиғунҷоиши хӯлаҳо тавсиф мекунанд [6-М, 8-М, 14-М, 15-М, 17-М].

2. Тадқиқоти вобастагии ҳарорат аз тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, бо қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронидашуда нишон медиҳад, ки бо баланд шудани ҳарорат бузургии энталпия ва энтропияи хӯлаҳо зиёд шуда энергияи Гиббс коҳиш меёбад. Вобаста ба миқдори қалъагӣ, сурб ва висмут дар таркиби хӯла энталпия ва энтропияи хӯлаҳо коҳиш ёфта бузургии энергия Гипс зиёд мешавад, ки ин баландшавии дараҷаи гетерогении микроструктураи хӯлаҳоро шарҳ медиҳад [6-М, 8-М, 14-М, 15-М, 17-М].

3. Бо усули термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, бо қалъагӣ, сурб ва висмут чавҳаронидашуда дар муҳити оксигенӣ ва дар ҳарорати 623, 673, ва 723К дар ҳолати сахтӣ омӯхта

шуд. Нишон дода шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гиперболий итоат мекунад ва суръати миёнаи оксидшавӣ ба 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹ баробар аст. Дар асоси тадқиқоти гузаронидашуда қонунҳои зерини тағйирёбии хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 муқаррар карда шуданд [4-М, 7-М, 16-М, 11-М].

4. Омӯзиши таъсири қалъагӣ, сурб ва висмут ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 нишон дод, ки дар баробари зиёд шудани миқдорӣ компоненти лигарӣ дар таркиби хӯла ва ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаҳо зиёд мешавад. Бузургии афзоиши вазни плёнкаи оксидии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронидашуда амалан бетағйир боқӣ мемонанд ва энергияи фаъоли оксидшавии хӯлаҳо бо зиёд шудани миқдори элементи лигарӣ меафзояд. [4-М, 7-М, 16-М, 11-М].

5. Бо усули спектроскопияи ИК маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ки бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронида шудааст, омӯхта шуда, нишон дода шудааст, ки маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо асосан аз оксидҳои Al_2O_3 , $Al Fe O_3$; $Mg Al_{1.9}$, SnO_2 , PbO , PbO_2 , Bi_2O_3 иборатанд. Дар ин ҳолат марҳилаи бартаридошта дар маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо оксиди алюминий мебошад.

6. Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати кушоишӣ потенциалии 2 мВ/с, рафтори анодии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ки бо қалъагӣ, сурб ва висмут ҷавҳаронида шудааст, омӯхта шуда, нишон дода шудааст, ки илова кардани хӯлаи алюминий аз 0.01 до 0.5 % - масса, муқовимати хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3-ро ба зангзани дар муҳити электролитии NaCl то 30 % зиёд менамояд [1-М, 2-М, 3-М, 5-М, 10-М, 12-М, 13-М].

7. Дар асоси тадқиқоти анҷомёфтаи патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ1179 аз 29.03.2021 «Хӯла дар асоси алюминий» таҳия ва ҳифз карда шуд. [9-М].

Тавсияҳо дар асоси натиҷаҳои бадастомада.

1. Маълумоте, ки дар натиҷаи корхое, ки оид ба муайян кардани характеристикаҳои хӯлаи бисёркомпоненти АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 ба даст оварда шудаанд ва дар асоси он хӯлаҳои наве, ки дар таркибаш металҳои Sn, Bi, Pb доранд, аҳамияти амалӣ доранд.

2. Дар асоси натиҷаҳои таҷрибаҳо ва қиматҳои ба даст овардашуда метавон чунин фактро нишон дод, ки дар натиҷаи ҷавҳаронидани навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 дар бораи беҳтар шудани хосиятҳои хӯлаи асоси АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 гувоҳӣ медиҳад ва мо метавонем барои истеҳсоли маводи зиддифриксионӣ истифода бурдани хӯлаҳои синтезшударо тавсия диҳем. Дар натиҷа сарфи металли маҳсулотро хеле кам кардан ва инчунин муҳлати хизмати онҳоро зиёд кардан мумкин аст, ки ин боиси арзон шудани арзиши аслии ҳар як қисм мегардад.

Адабиёт

1. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. М.: Металлургия. 1984. 240 с.
2. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Металлургия. 1979. 208 с.
3. Е. И. Кутайцева. Алюминиевые сплавы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1983. — 256 с.
4. Петров, Д. А. Вопросы теории сплавов алюминия [Текст] / Проф. д-р Д. А. Петров. - Москва : Металлургиздат, 1951. - 256 с.,
5. Ю.Г. Каблов Литейные алюминиевые сплавы. — М.: ВИАМ, 2017. — 480 с.
6. О. А. Кайбышев. Современные алюминиевые сплавы и методы их обработки // Металлы. — 2016. — № 5. — С. 3–12.
7. И.Н. Михайлов, М.Ю. Васильков, А.Е. Исаев, Д.З. Сафошкин, И.Д. Кособудский, Н.М. Ушаков Влияние концентрации кислотного электролита на геометрические параметры наноструктурированного пористого анодного оксида алюминия / Вестник СГТУ. 2021. № 2 (89).
8. А. Е. Семёнов. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1985. — 220 с.
9. В. Н. Барангиков. Современные алюминиевые сплавы. — М.: Металлургия, 1988. — 248 с.
10. G. W. Edington Practical Electron Microscopy in Materials Science. — London: Macmillan, 1976. — 192 p.
11. J. W. Cahn, Hilliard J.E. Free energy of a nonuniform system // Journal of Chemical Physics. — 1958. — Vol. 28. — P. 258–267.
12. Лев Федорович Мондольфо Structure and Properties of Aluminum Alloys. — London: Butterworths, 1976. — 971 p.
13. J. E. Hatch (ed.) Aluminum: Properties and Physical Metallurgy. — Materials Park, OH: ASM International, 1984. — 424 p.
14. Ian J. Polmear Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals. — 4th ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. — 421 p.
15. J. R. Davis (ed.) Aluminum and Aluminum Alloys. — Materials Park, OH: ASM International, 1993. — 784 p.
16. Polmear, I.J. (2004) Aluminium Alloys—A Century of Age Hardening. Materials Forum, 28.
17. D. J. Lloyd, “Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites,” International Materials Reviews, Vol. 39, No. 1, 1994, pp.
18. R. Rainer Kampmann, **Wagner R.** Kinetics of precipitation in metastable binary alloys // Materials Science and Technology. — 1991. — Vol. 7. — P. 101–108.
19. G. Kelly, **Scully J.R., Shoesmith D.W., Buchheit R.G.** Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering. — New York: Marcel Dekker, 2003. — 1144 p.

20. А. А. Ильин. Термическая обработка алюминиевых сплавов нового поколения // Металлы. — 2019. — № 4. — С. 45–52.

НАТИҶАҶОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР МАҚОЛАҶОИ ЗЕРИН ДАРҶ ГАРДИДААНД:

**Руйхати мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои илмӣ бо тавсияи ҚОА - и назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва ҚОА – и Федератсияи Россия нашр
шудаанд**

[1-М]. Давлатов О.Ш. Электрохимическое поведение сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-ного NaCl / **Давлатов О. Ш.,** Ганиев И. Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019, №3 (47) . –С.63-66.

[2-М]. Давлатов О.Ш. Рафтори коррозияи электрохимиявии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ ҷавҳаронидашуда (Коррозионно-электрохимические поведение алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом)/ **О. Ш. Давлатов,** Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук 2020, №4, —С.190-198.

[3-М]. Давлатов О.Ш. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом / **О. Ш. Давлатов,** Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2021, №1 (53) – С. 33-37.

[4-М]. Давлатов О.Ш. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в твердом состоянии / **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, Х. О. Одиназода, С.С. Раджабалиев // Известия СПбГТИ (Технического университета) 2021, №56(82). С. 17-22.

[5-М]. Давлатов О.Ш. Сравнительное исследование анодного поведения алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом и висмутом, в среде электролита 0,03%-ного NaCl / **Давлатов О. Ш.** // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2022, №2 (58) – С. 56-61.

[6-М]. Давлатов О.Ш. Гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 вобаста аз ҳарорат/ **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев, Бадурдинов С.С. // Паёми политехники. Бахши таҳқиқотҳои муҳандисӣ.. 2024, №1 (65) – С. 64-68.

[7-М]. Давлатов О.Ш. Влияние свинца на кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, в твердом состоянии / **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, Х. О. Одиназода, С.С. Раҷабалиев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия Естественных наук. 2024, №2 (58) – С. 41-50.

[8-М]. Давлатов О.Ш. Таъсири висмут ба гармигунҷоиши хоси хӯлаи алюминий навъи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3/ **О. Ш. Давлатов, Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев** // Паёми политехники. Бахши таҳқиқоти муҳандисӣ. №2 (70) – 2025, - С. 84-89.

Ихтироот дар мавзӯи рисола

[9-М]. Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ 1179. Хӯла дар асоси алюминий / Ганиев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Абдулло М.А., Раҷабалиев С.С., **Давлатов О.Ш.**, Якубов У.Ш. // Аввалияти ихтироъ аз 29.03.2021с. (санаи бақайдгирии давлатӣ 11.08.2021с).

Мақолаҳои дар маводи конференсияҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашршуда:

[10-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Раҷабалиев С.С. / Влияние олова на коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в среде электролита 0.03%-ного NaCl // Мат. межд. научно-практ. конференции «Полиграфия: состояние и перспективы её развития» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе. - 2020. (г. Душанбе, 13 марта 2020 г.). С.151-155.

[11-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Раҷабалиев С.С. / Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 со свинцом в твердом состоянии / Мат. Респ. научно-практ. конф. «Инновационное развитие науки» с участием международных организаций (г. Душанбе, 10 декабря 2020 г.). С.56-58.

[12-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Раҷабалиев С.С. / Коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного висмутом, в среде электролита 0.03%-ного NaCl / Мат. Межд. научно-практ. конф. «Развитие энергетики и возможности», район Кушонийён, Хатлонская область, Республика Таджикистан. (22 декабря 2020 года). С. 329-334.

[13-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Раҷабалиев С.С. / Временная зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 0,3%-ного NaCl / Мат. Межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики Республики Таджикистан: состояние, проблемы и перспективы» (г. Душанбе, 26 декабря 2020 г.). С.341-343.

[14-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раҷабалиев С.С., Иброҳимов Н.Ф. / Температурная зависимости теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 / Мат. респ. научно-практ. конф., посвященной 30-летию независимости Республики Таджикистан и 25-летию Российско – Таджикского (Славянского) университета (Душанбе, 26 мая 2021 г.). С.65-68.

[15-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раҷабалиев С.С., Бадурдинов С.С./ Влияние олова на микроструктуру алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3/ Маводди конференсияи Ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ “Абӯрайҳони Берунӣ-алломаи машриқзамин” баҳшида ба эълон гардидани

солҳои 2020-2040 “бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва 1050 – солагии мутафаккири барҷастаи машриқзамин Абурайҳони Берунӣ (18-19 ноябри соли 2022).

[16-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., / Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 С висмутом, в твердом состоянии / Мат. Межд. научно-прак. конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.» 30 мая 2023 года

[17-М]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., Иброхимов Н.Ф. Влияние олова и температуры на теплоёмкость алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3МГ1.1Ц4КРЗ / Мат. респ. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук (20 июня 2023 года).

[18-М]. Давлатов О.Ш., И. Н. Ганиев, С.С. Раджабалиев / Временная зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-НОГО NaCl / Мат. Респ. научно-практ. конф. «Проблема совершенствования конструкции строительно-дорожных машин, посвященной объявлению 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» и основателю кафедры Саидову Х.С. 29-30 апреля 2024года.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С.ОСИМИ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ГНУ «ИНСТИТУТ ХИМИИ ИМЕНИ В.И. НИКИТИНА»**

УДК 615.011.4-034.89:546.62

На правах рукописи



**ШЕРАЛИЗОДА Ориф Шерали
(ДАВЛАТОВ Ориф Шералиевич)**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ, СВИНЦОМ И
ВИСМУТОМ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.4.15. Материаловедение в машиностроительной
промышленности

Душанбе – 2026

Работа выполнена на кафедре теоретическая механика и сопротивление материалов ТТУ имени академика М.С. Осими 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, заведующий лабораторией коррозионностойкие материалы Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана.

Официальные оппоненты: **Курбонов Амиршо Сохибназарович** - доктор химических наук, доцент кафедры органической химии и биологии Бохтарского государственного университета.

Садриддинзода Сабур Садриддин - кандидат технических наук, доцент кафедры строительство и архитектуры Дангаринского государственного университета.

Ведущая организация Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шохтемура

Защита состоится «14» мая 2026г. в «9.00» часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-028 при Таджикском техническом университете им. М.С. Осими по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10. E-mail: adliya69@mail.ru

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

Автореферат разослан: « ____ » _____ 2026 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент



Саид А.Х.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием техники и технологий. С ростом технологического развития растут и требования, предъявляемые к материалам, из которых изготавливаются машины и оборудования. По требованиям инженеров и проектировщиков материалы должны быть твердыми и прочными, иметь отличные демпфирующие способности, быть стойкими к различным факторам внешней среды и при этом иметь малую плотность. По этой причине возникает необходимость в разработке сплавов на основе алюминия с различными добавками, которые бы соответствовали данным требованиям.

Сталь является одним из самых широко распространенных материалов для производства станков, оборудования, различных деталей и конструкций. Но в последние годы алюминий и его сплавы становятся более актуальными в виду их выгодных физико-химических свойств, которые при добавлении других металлов могут дать качество, отвечающее высоким технико-эксплуатационным требованиям. Также немаловажный фактор распространённости и широкого применения – это дешевизна алюминия, и он распространен по всей земной коре, в том числе Таджикистан является крупным экспортером сырьевого алюминия. Поиск и разработка новых комбинаций содержания алюминия и типов материалов может иметь для республики огромное значение и стать дополнительным рычагом в пути усиленной индустриализации, механизации, а также замещения деталей и машин, которые завозятся из заграницы.

Объектом исследования, на основе которого были синтезированы новые составы сплавов, являлся сплав АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, который состоит из многих компонентов. Данный сплав получен из металлургического лома. Основным потребителем данного сплава является общественный транспорт, из этого сплава изготавливаются контактные вставки линий электропередач троллейбусов. Также сплав характеризуется высоким коэффициентом трения, что является причиной недолговечности деталей, произведенных из этого сплава. В настоящей работе основной задачей является повышение технико-эксплуатационных параметров сплава путем добавления легкоплавких металлов.

При изучении материалов по данной тематике стало понятно, что нет исследований о влиянии элементов Sn, Pb и Bi на основные технико-эксплуатационные свойства, механические параметры и другие важные показатели сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3. По этой причине нами было решено провести научно-практические работы и узнать, каково влияние каждого из добавок на перечисленные свойства.

Степень научной разработанности исследуемых вопросов. Исследованию и разработке составов новых алюминиевых сплавов посвящены работы советских, российских и зарубежных авторов. Различные аспекты структуры, фазового состава, механических и коррозионных свойств данных

сплавов изучались Ф.И. Квасовым [1], И.Н. Фридляндером [2], Е.И. Кутайцевой [3], Д.А. Петровым [4], Ю.Г. Кабловым [5], О. А. Кайбышевым [6], К.Н. Михайловым [7], А.Е. Семёновым [8], В.Н. Барангиковым [9], а также зарубежными исследователями, в частности G.W. Edington [10], J.W. Cahn [11], L.F. Mondolfo [12], J.E. Hatch [13], I.J. Polmear [14; 16], J.R. Davis [15], D.J. Lloyd [17], R. Kampmann [18], R.G. Kelly [19], А. А. Ильиным [20].

Благодаря их вкладу к настоящему времени достигнут высокий уровень теоретического понимания процессов, протекающих при формировании структуры и фазового состава алюминиевых сплавов, а также закономерностей изменения их физико-механических и коррозионных свойств.

В современной научной литературе в настоящее время остаётся недостаточно изученным влияние олова, свинца и висмута на структуру, механические, теплофизические и электрохимические свойства алюминиевых сплавов.

Связь исследований с программами, проектами и научными темами. Актуальность исследования подтверждается его включённостью в научный проект «Разработка состава новых токопроводящих алюминиевых сплавов и рекомендаций по их применению для предприятий Республики Таджикистан». Данный проект реализуется лабораторией «Коррозионностойкие материалы» Национального исследовательского института им. В.И. Никитина НАН Таджикистана» на период 2021-2025 годы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является определение теплофизических, термодинамических и анодных характеристик многокомпонентного алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, свинцом и висмутом.

Задачи исследования

1. Установить электрохимические потенциалы исходного алюминиевого сплава и его модификации с добавлением Sn, Pb и Bi, а также оценить влияние концентрации указанных легирующих элементов на эти параметры.

2. Исследовать изменения теплофизических свойств и термодинамических параметров сплава системы АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 при введении легирующих добавок Sn, Pb и Bi, а также проанализировать зависимость указанных характеристик от изменения температуры.

3. Выполнить термогравиметрические исследования с целью установления кинетики окисления в твёрдом состоянии.

4. Среди синтезированных сплавов выбрать на основе выявленных характеристик тот сплав, который имеет наиболее выгодные показатели для использования в промышленности.

Объектом исследования являлись алюминиевые сплавы, в том числе сплав АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с оловом, свинцом и висмутом.

Предметом исследования выступали процессы синтеза, изучение теплоёмкости и термодинамических характеристик алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова, свинца и висмута, а также исследование его механических свойств, кинетики окисления и электрохимических параметров.

Методы исследования:

- метод исследования теплоёмкости сплавов в режиме «охлаждения» с использованием автоматической регистрации температуры образца от времени охлаждения;
- метод металлографии анализа синтезированных сплавов на микроскопе (БИОМЕД-1);
- метод Бринелля для определения твёрдости металлов (ТШ-2);
- термогравиметрический метод изучения кинетики процесса окисления сплавов кислородом воздуха в твердом состоянии;
- методы ИК-спектроскопии (спектрометр SPECORD-75) и РФА (дифрактометр ДРОН-3) для исследования продуктов окисления сплавов;
- потенциостатический метод исследования анодных характеристик сплавов в потенциодинамическом режиме (на потенциостате ПИ 50-1.1).

Математическая обработка результатов измерений проводилась с использованием стандартного пакета приложений и программы Microsoft Excel.

Отраслями исследования являются материаловедение, транспортная техника и машиностроение.

Этапы исследования охватывают синтез и сертификацию новых алюминиевых сплавов, анализ влияния добавок олова, свинца и висмута на механические свойства, определение теплоёмкости в процессе «охлаждения», расчёт термодинамических параметров, выявление кинетических характеристик и продуктов окисления, а также изучение электрохимических свойств и анодного поведения сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с введёнными легирующими элементами.

Основная информация и экспериментальная база. Все экспериментальные работы были проведены с использованием известных научных приборов: спектрометра SPECORD-75, рентгеновского дифрактометра ДРОН-3, потенциостата ПИ 50-1.1, установок для измерения теплоёмкости сплавов в условиях охлаждения, а также термогравиметрических весов. Обработка полученных данных осуществлялась с применением стандартных программных пакетов, включая Microsoft Excel и Sigma Plot.

Достоверность диссертационных результатов. Надёжность выполненной работы подтверждается использованием современных методов исследования, а также совпадением полученных результатов с имеющимися в научной литературе экспериментальными данными и теоретическими моделями.

Новизна научного исследования

1. Установлены изменения основных теплофизических характеристик синтезированных сплавов от температуры. Установлено, что при повышении температуры значения энтальпии и энтропии возрастают, тогда как энергия Гиббса, наоборот, уменьшается. Добавление металлов Sn, Pb и Bi приводит к снижению теплоёмкости, энтропии и энтальпии, при этом наблюдается увеличение энергии Гиббса. Сравнение полученных данных свидетельствует о том, что синтезированные сплавы на основе АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками Pb имеют большую удельную теплоемкость по сравнению с добавками Bi и Sn.

2. В результате проведённых экспериментальных исследований и расчётов были установлены ключевые характеристики параметров окислительного процесса многокомпонентного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками Sn, Pb и Bi при повышенных температурах. Определено влияние каждой из добавок на особенности протекания процесса окисления, а также их воздействие на фазовый состав образующихся оксидных продуктов.

3. Проведены опыты для определения электрохимических свойств сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 и полученного на его основе сплава с добавками Sn, Pb и Bi в растворе хлорида натрия. Результаты исследования показали, что введение в сплав Sn, Pb и Bi в количестве от 0,01 до 0,5 мас.% способствует повышению коррозионной стойкости образцов. В частности, такие добавки увеличивают устойчивость материалов к электрохимическому разрушению на 15-20%.

4. Проведённые испытания на твердость и расчёт прочности многокомпонентного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками Sn, Pb и Bi показали, что введение этих элементов приводит к снижению механических характеристик сплава.

Теоретическая ценность исследования. В диссертационной работе рассмотрены теоретические основы влияния состава и температуры на изменение теплоёмкости и термодинамических параметров, а также на кинетические и энергетические характеристики окислительного процесса. Проанализировано коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова, свинца и висмута. Исследовано воздействие агрессивной среды и содержания легирующих элементов на коррозионную устойчивость и склонность к окислению базового сплава.

Практическая ценность проведённых исследований заключается в создании новых составов алюминиевых сплавов с пониженной склонностью к окислению при высоких температурах, а также в определении оптимальных концентраций легирующих элементов – олова, свинца и висмута – для повышения коррозионной устойчивости базового алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3. Разработанные составы сплавов с добавками Sn, Pb и Bi защищены малым патентом Республики Таджикистан.

Положения, предложенные для публичной защиты:

1. Проведенные исследовательские работы по выявлению теплофизических показателей сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 и изменения ключевых параметров при различной температуре, а также в зависимости от содержания дополнительно введенных компонентов.

2. Выявленная кинетика и механизм протекания окисления синтезированных образцов, которые были исследованы в твердом состоянии с доступом с кислородом. Проведенные опыты проходили при высоких температурах.

3. Электрохимические показатели и данные о свойствах синтезированных сплавов на основе АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, в которые были добавлены Sn, Pb и Bi в определенном количестве.

4. Определенный в результате проведенных исследований состав, который имеет улучшенные показатели по коррозионной стойкости и низкой интенсивности окисления при высоких температурах, может быть использован как анодный материал для защиты деталей и конструкций из стали, а также в токопроводящих вставках электрического общественного транспорта.

5. Соответствие диссертации Паспорту научной специальности. Результаты диссертационной работы, особенно научная новизна, соответствует следующим пунктам Паспорта перечня специальностей ВАК при Президенте Республики Таджикистан по направлению специальности 2.4.15 - Материаловедение в машиностроительной промышленности:

пункт – 1. Теоретическое и практическое изучение основополагающей связи между составом и структурой материалов и их физико-механическими и эксплуатационными характеристиками с целью повышения надёжности и продления срока службы материалов и готовых 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 функциональными, 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 соискателя заключается в анализе литературных данных, нахождении эффективных способов решения поставленных задач; подготовке и проведении исследований в лабораторных условиях; статистической обработке экспериментальных результатов, формулировке основных положений и выводов диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения диссертации обсуждались на:

Международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие экономики Республики Таджикистан: состояние, проблемы и перспективы», г. Душанбе, 2020 г.; Международной научно-практической конференции «Развитие энергетики и возможности», Кушониён, Хатлонская область, Республика Таджикистан, 2020 г.; Международной научно-практической конференции «Полиграфия: состояние и перспективы её развития», Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, 2020 г.; Республиканской научно-практической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Таджикистан и 25-летию Российско-Таджикского (Славянского) университета, г. Душанбе, 2021 г.; Республиканской научно-практической конференции «Инновационное развитие науки» с участием международных организаций, г. Душанбе, 2020 г.

Опубликование результатов диссертации. Результаты работы отражены в 10 научных публикациях, из которых 4 статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 5 статей в материалах международных и республиканских конференций, а также получен 1 малый патент Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, обзора литературы, экспериментального материала, выводов, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 189 страницах компьютерного набора, включая 58 таблиц, 57 рисунков и 133 наименования литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введение обоснована научная и прикладная актуальность изучения алюминиевых сплавов с добавками Sn, Bi и Pb, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты теоретическая и практическая значимость, научная новизна работы, а также изложены основные положения, выносимые на защиту.

Глава первая состоит из литературных данных и научной информации, найденных в литературных источниках и трудах специалистов данного направления. Приведена информация о сферах, где широко используются эти типы сплавов. Также в этой главе приведены основные теоретические знания про свойства сплава вида АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в обобщенном виде.

В целом, можно сказать, что данный сплав хорошо изучен, физико-химические свойства уже известны, но в литературных источниках отсутствуют данные про эффект добавок свинца, олова и висмута на различные физико-химические свойства исходного многокомпонентного сплава.

ГЛАВА 2. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЁМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 С ОЛОВОМ, СВИНЦОМ И ВИСМУТОМ

Так как теплофизические свойства исследуемых материалов являются важными с научно-практической точки зрения, мы использовали методологию, которая дает возможность определить значения $C_p^0 = f(T)$ для металлических сплавов. Особенность данного метода – исследование скорости охлаждения, а далее сравнение его значений со значениями эталонного образца, значения которого определены заранее.

Для проведения данного исследования методом литья в графитовой форме были изготовлены образцы стандартного для этого метода размера (30x16мм). Далее механическим методом каждый образец высверливался с одного конца, куда в процессе измерения помещается термопара для точности измерения.

В ходе данного исследования образцы подвергаются нагреванию до определённой температуры, далее идет обратный процесс, то есть охлаждение, естественным путем. Полученные данные фиксируются через одинаковый временной промежуток. Из которого далее можно основываться при рисовании кривых линий. В тех случаях, когда образцы имеют равенство в объеме поверхности ($S_1 = S_2$), а также в коэффициенте теплоотдачи ($\alpha_1 = \alpha_2$), теплоемкость рассчитывается с использованием формулы:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (1)$$

Оборудованием, позволившим нам определить удельную теплоемкость, являлась установка схематического изображения, которую можно увидеть на рисунке 1. Согласно технологическим требованиям данного оборудования, теплоемкость может быть измерена только у веществ, находящихся в твердом состоянии.

Данная установка имеет комплексную структуру и состоит из: электропечи (3), которая зафиксирована с помощью стойки (6), эта стойка дает возможность при необходимости менять позицию вверх и вниз. Образцы из исследуемых сплавов (4) и эталонный образец сравнения (5) имеют форму цилиндра, в которых для помещения в них термопар высверлены каналы небольшой глубины. Далее эти термопары подсоединены к цифровому термометру (7) модели DI9208L, который преобразует полученные сигналы в цифровые значения.

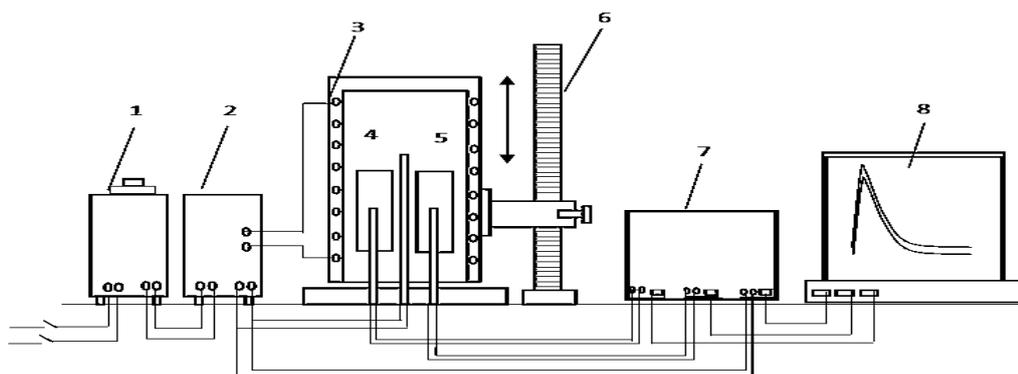


Рисунок 1 – Схематичное изображение установки для выявления теплофизических характеристик сплавов.

Работа данной установки начинается с включения автотрансформатора (1), далее нужная температура задается терморегулятором (2). Исходя из значений цифрового экрана термометра устанавливается температура начала процесса измерения. Далее необходимо установить выдвижную часть с расположенными на нем образцами непосредственно внутрь рабочей среды электропечи, где образец подвергается нагреванию. При активации процесса нагревания следует иметь в виду, что немаловажным фактором для получения точных значений является контроль заданной температуры с использованием (8). После определенного количества времени подложка с образцами выносится из зоны нагрева и начинается процесс записи температурных изменений.

Далее скорость охлаждения определяется при использовании полученных данных и построении кривых хода охлаждения. Эти кривые показывают зависимость величины температуры образца и времени охлаждения в естественных условиях при отсутствии движения воздуха. На рисунке 2 можно увидеть полученные кривые многокомпонентного АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+Sn.

В процессе проведения опытов измерение и запись температуры проводили каждые 10 секунд. Согласно данной методике при разных температурах ошибки измерения температуры имели разные значения, например, при температурах 313-673К ошибка равнялась примерно одному проценту, а при более высоких температурах уже имела значения до двух с половиной процента. Значения погрешности при определении значений теплоемкости во всех случаях максимально могут иметь значение до четырёх процентов. В ходе текущей работы мы достигли погрешности, составляющей не более 1 процента. Далее, обработка и расчеты проводились с использованием электронно-вычислительной машины, а визуализация этих данных происходила посредством Сигма Плот.

Результаты данного исследования, кривые охлаждения исходного сплава с Sn в графическом виде приведены на рисунке 2а, а также объясняются уравнением:

$$T = T_0 + \frac{1}{2}[(T_1 - T_0)e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0)e^{-\tau/\tau_2}] \quad (2)$$

С целью расчета скорости охлаждения образцов были продифференцированы уравнением (2) по τ :

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[- \left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1} \right) e^{-\frac{\tau}{\tau_1}} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2} \right) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (3)$$

Используя данное уравнение, определили значения скорости охлаждения образцов, изготовленных из многокомпонентного АЖ2.4М.5.3Мг1.1Ц4Кр3, приведенных в графическом образе на рисунке 2б. Коэффициенты для расчета по уравнению (3) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Величины коэффициентов для проведения расчета уравнения

Количество добавки олова, (масс. %)	ΔT_1 , К	τ_1 , с	ΔT_2 , К	τ_2 , с	$\Delta T_1/\tau_1$, К/с	$\Delta T_2/\tau_2$, К/с	ΔT_0 , К
-	309,37	280,71	283,21	280,68	1,10	1,01	315,40
0,01	307,822	280,71	281,79	280,67	1,10	1,00	315,19
0,05	310,60	280,71	284,32	280,68	1,11	1,01	315,56
0,1	307,16	280,71	281,18	280,68	1,09	1,00	315,10
0,5	304,42	280,71	278,67	280,68	1,08	0,99	314,72

Для определения значения удельной теплоемкости исследуемого образца из АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+Sn были рассчитаны на основе уже известных значений скорости охлаждения образцов из исходного сплава с добавками олова по (1). Полученные итоги расчетов подробно приведены в таблице 1, а также на рисунке 2б.

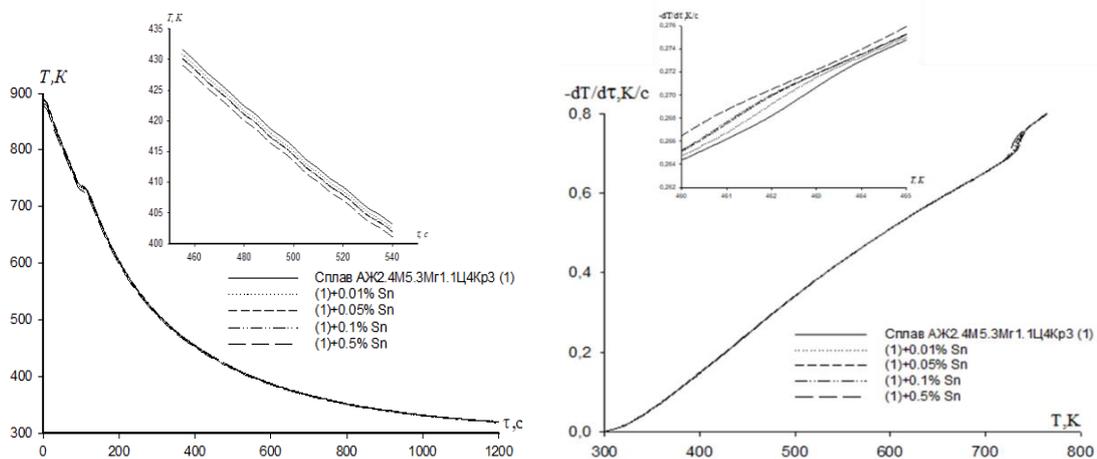


Рисунок 2 – Кривые термограмм (а) и скоростей охлаждения от температуры (б) для образцов из сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с Sn.

Для установления изменения удельной теплоёмкости от смены температуры в рабочей среде получено общее уравнение, которое имеет вид:

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

Использованные в (4) коэффициенты можно найти в таблице 2. Далее, с

помощью уже вычисленных величин теплоемкости и скоростей охлаждения рассчитали коэффициенты теплоотдачи для многокомпонентного АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+Sn с помощью формулы:

$$\alpha = \frac{c_p^0 m \frac{dT}{dt}}{(T-T_0)S}, \quad (5)$$

Итоги данных расчетов показаны на рисунке 3б.

Таблица 2 – Величины коэффициентов для расчета теплоемкости с помощью уравнения (4)

Содержание Sn, (масс. %)	a , Дж/(кг·К)	b , Дж/(кг·К ²)	$c \cdot 10^{-3}$, Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-5}$, Дж/(кг·К ⁴)	Коэфф. корреляции R
-	0,660	8,101	-8,851	0,640	1
0.01	0,657	8,142	-8,942	0,648	1
0.05	0,659	8,031	-8,731	0,630	1
0.1	0,652	8,112	-8,925	0,647	1
0.5	0,645	8,162	-9,067	0,659	1

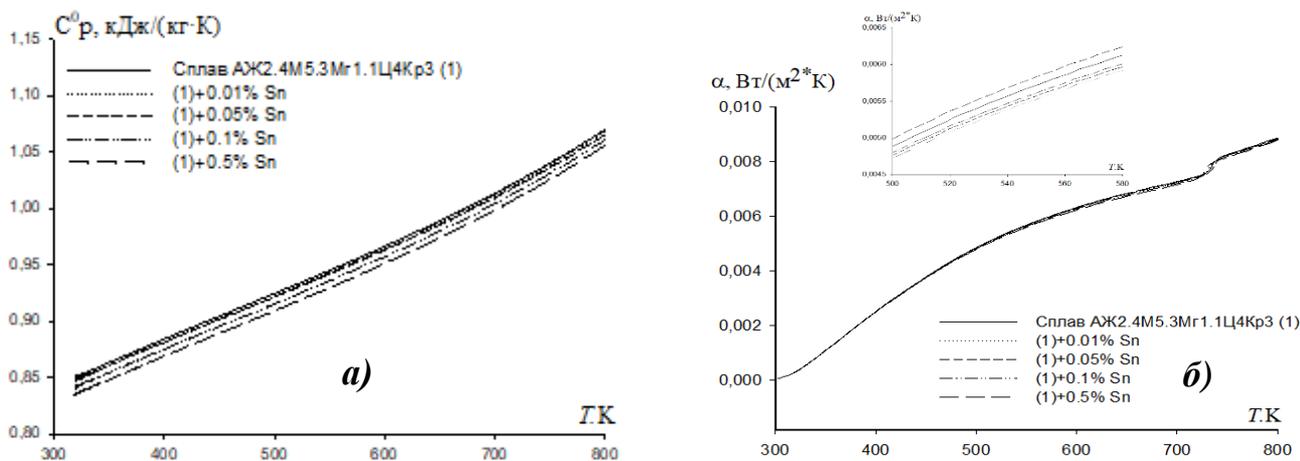


Рисунок 3 - Изменение теплоемкости (а) и коэффициента теплоотдачи образцов (б) от температуры, алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова.

Как видно, в тех образцах, в которых мы добавили больше Sn, значения теплоемкости и коэффициента теплоотдачи меньше. Но при увеличении температуры наблюдается и рост этих значений.

Уравнение, приведенное выше (4), стало основанием для интеграла от значения теплоемкости для определения уровня изменения свойств теплофизических исследуемых образцов в результате повышения или уменьшения температуры в исследуемой среде согласно следующим формулам:

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

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

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

Значение T_0 в этих уравнениях равняется 298,15 кельвинам.

Таблица 3 – Удельная теплоемкость и её изменения с повышением температуры для сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова

Добавка Sn в исх. сплав, (масс. %)	Т, К					
	3 0 0	4 0 0	5 0 0	6 0 0	7 0 0	8 0 0
-	0,841	0,883	0,924	0,966	1,013	1,069
0.01	0,838	0,881	0,922	0,964	1,011	1,068
0.05	0,838	0,880	0,921	0,963	1,009	1,065
0.1	0,832	0,875	0,915	0,957	1,004	1,061
0.5	0,826	0,868	0,908	0,950	0,998	1,055
Увеличение C_p^0 , %	-1,83	-1,75	-1,69	-1,62	-1,51	-1,37

На основе данных, полученных как результат опытов, можно предположить, что при легировании элементами Sn, Pb и Bi в количестве от 0,01 и до 0,5 массовых процентов, такие энергетические показатели системы как энтальпия, энтропия сокращаются (табл.4). В то же время энергия Гиббса показывает увеличение значений.

Для понимания свойств материалов и процессов, которые проходят в сплавах, необходимо знать внутреннюю структуру и строение. Понимание о наличии соединений, фаз и их форм внутри одного материала может стать основой для проведения тех или иных опытов и поисков для улучшения возможных свойств исследуемого материала. Изучая внутреннее строение, мы можем определять влияние каждого добавляемого компонента на структуру и соответственно свойства, которые проявляет сплав. И далее на основе этого экспериментировать с компонентами, видами воздействия на сплав и методами обработки, которые в итоге могут дать искомые качества.

Таблица 4 – Термодинамические параметры и влияние температуры на них для сплавов на основе алюминия АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова

Т, К	Сплав АЖ2.4М5 .3Мг1.1Ц 4Кр3	Содержание Sn, масс. %			
		0,01	0,05	0,1	0,5
$[H^0(T) - H^0(T_0)], \text{кДж/кг}$					
300	1,5553	1,5509	1,5511	1,5393	1,5274
400	87,840	87,599	87,595	86,953	86,296
500	178,24	177,77	177,74	176,47	175,17
600	272,74	272,05	271,94	270,08	268,12
700	371,65	370,76	370,53	368,10	365,51
800	475,72	474,66	474,22	471,30	468,10
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)], \text{кДж/кг} \cdot \text{К}$					
300	0,0052	0,0052	0,0052	0,0051	0,0051
400	0,2531	0,2524	0,2524	0,2506	0,2487
500	0,4547	0,4535	0,4534	0,4502	0,4468
600	0,6269	0,6253	0,6250	0,6207	0,6162
700	0,7793	0,7773	0,7769	0,7717	0,7662
800	0,9181	0,9160	0,9153	0,9094	0,9031
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$					
300	-0,0048	-0,0048	-0,0048	-0,0048	-0,0047
400	-13,412	-13,375	-13,375	-13,276	-13,175
500	-49,104	-48,971	-48,966	-48,610	-48,244
600	-103,38	-103,10	-103,08	-102,35	-101,59
700	-173,82	-173,37	-173,32	-172,10	-170,84
800	-258,78	-258,12	-258,02	-256,25	-254,40

Исследуемый в данной работе сплав, состоящий из многих компонентов АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, является типичным примером твердого раствора, который содержит в себе эвтектику, объем которой меняется от содержания лигатуры.

Таблица 5 – Изменение удельной теплоемкости и термодинамических параметров в результате изменения температуры.

Т, К	Добавка и её количество в исходном сплаве, (масс. %)			
	0,0	0,5Sn	0,5Pb	0,5Bi
300	0,8411	0,8261	0,8290	0,8229
400	0,8839	0,8686	0,8717	0,8656
500	0,9243	0,9089	0,9121	0,9060
600	0,9661	0,9508	0,9541	0,9481
700	1,0134	0,9983	1,0018	0,9959
800	1,0698	1,0554	1,0590	1,0535
$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)]$, кДж/кг				
300	1,5553	1,5274	1,5328	1,5216
400	87,8403	86,2965	86,6001	85,9838
500	178,2493	175,1738	175,7900	174,5647
600	272,7403	268,1266	269,0702	267,2365
700	371,6553	365,5174	366,8028	364,3730
800	475,7203	468,1046	469,7442	466,7492
$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)]$, кДж/(кг·К)				
300	0,0052	0,0051	0,0051	0,0050
400	0,2531	0,2486	0,2495	0,2477
500	0,4547	0,4468	0,4484	0,4452
600	0,6268	0,6161	0,6183	0,6141
700	0,7792	0,7662	0,7689	0,7637
800	0,9181	0,9031	0,9063	0,9003
$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0)]$, кДж/кг				
300	-0,00481	-0,00473	-0,00474	-0,00471
400	-13,41280	-13,17540	-13,22180	-13,12690
500	-49,10440	-48,24470	-48,41450	-48,07140
600	-103,38100	-101,59000	-101,94700	-101,23300
700	-173,82200	-170,84300	-171,44400	-170,25800
800	-258,78400	-254,40000	-255,29400	-253,55300

В ходе исследования стало заметно, что в образцах, содержащих небольшое количество добавок Sn, Pb, Bi, строение сплава характеризуется крупной зернистой структурой. С ростом содержания добавок микроструктура исходного сплава изменяется в мелкозернистую и становится более однородной, что можно увидеть на рис. 4. Таким образом, стало понятно, что исследованные образцы имеют типичную микроструктуру, где алюминиевый твердый раствор является главным компонентом, но также существуют и включения других фаз.

Твердость – свойство, которое считается одним из важнейших при выборе материала для изготовления деталей различной функциональности. От

значения твердости зависит, будут ли применять исследованный материал в качестве конструкционного материала и для изготовления деталей, претерпевающих высокие нагрузки при функционировании или нет. С этой целью нами была проведена серия исследований по определению значений твердости образцов из всех синтезированных сплавов. Метод Бринелля, который широко используется, был избран как основной метод для проведения этих расчетов, из всех синтезированных сплавов были взяты образцы, которые имели форму согласно стандарту (10 x 16 мм), которые далее подвергались испытанию на шариковом твердомере марки ТШ-2.

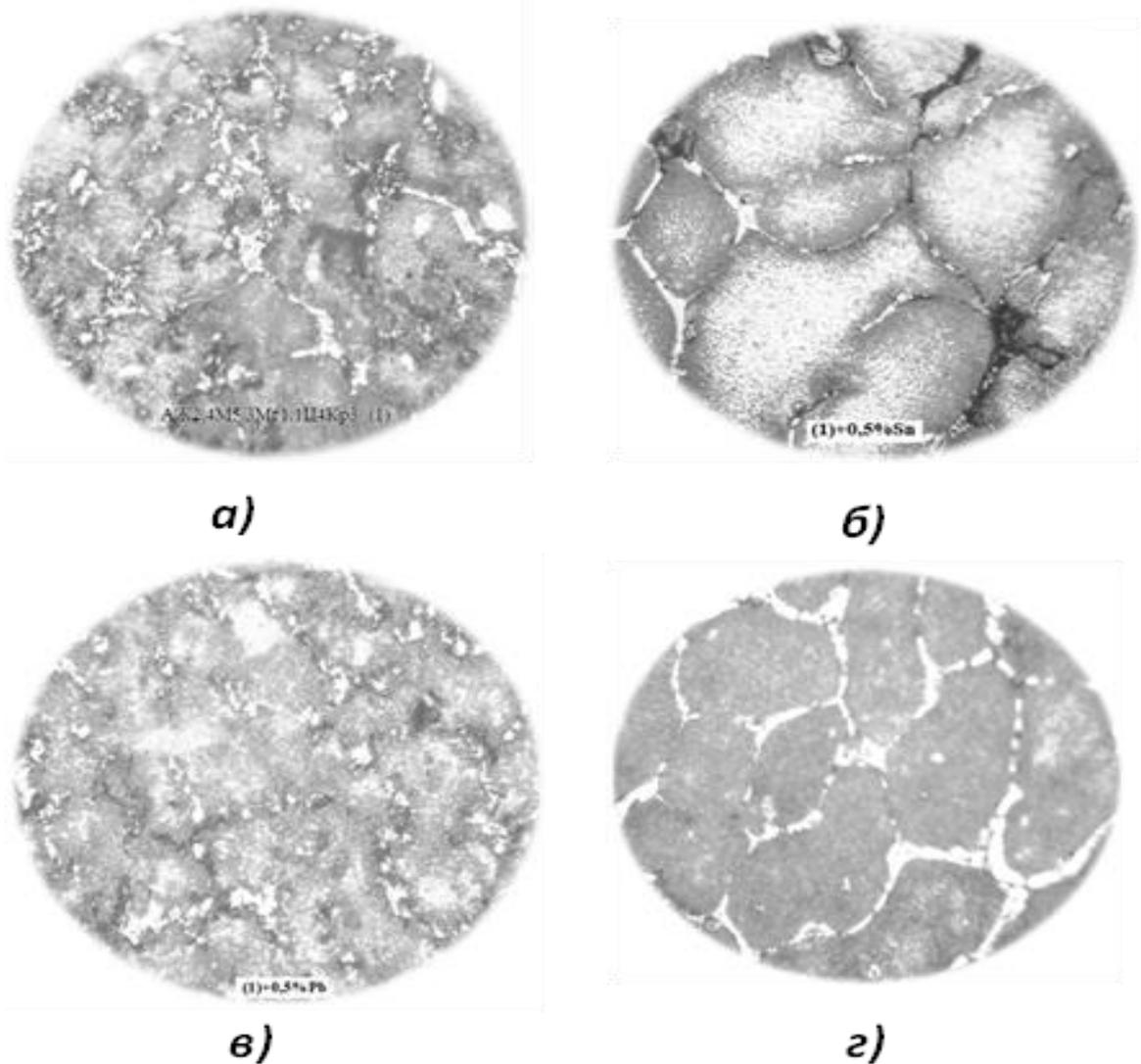


Рисунок 4. Микроструктура исследованных образцов:
 а) исходный АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3; далее образцы с добавками 0,5 масс. % б) олово, в) свинец и г) висмут.

Еще одним плюсом метода Бринелля является то, что, зная значения твердости, можно, проводив расчеты, определить другое свойство сплавов - прочность. Подставив необходимые значения, можно рассчитать прочность материалов с помощью следующей формулы:

$$\sigma_B = k \cdot HB, \text{ МПа}$$

Согласно данным из литературных источников «k» для сплавов на основе алюминия имеет величину равную 0,25. По результатам этих испытаний стало понятно, что вносимые нами добавки в размере 0.5 масс. % отрицательно влияют на твердость и прочность.

Таблица 6 – Результаты испытаний по определению механических свойств

Добавка и её содержание, (масс. %)	Твёрдость* HB,		Прочность (расчетная), МПа
	кгс/мм ²	МПа	
0,0	94,02	922,3362	230,5841
0,01Sn	89,09	873,9729	218,4932
0,05Sn	84,54	829,3374	207,3344
0,1Sn	80,33	788,0373	197,0093
0,5Sn	72,78	713,9718	178,493
0,01Pb	94,02	922,3362	230,5841
0,05Pb	87,23	855,7263	213,9316
0,1Pb	84,54	829,3374	207,3344
0,5Pb	81,97	804,1257	201,0314
0,01Bi	89,09	873,9729	218,4932
0,05Bi	83,67	820,8027	205,2007
0,1Bi	80,33	788,0373	197,0093
0,5Bi	76,42	749,68	187,42

*-среднее значение определяли по результатам 3 измерений.

Представленные данные также подтверждают, что теплоёмкость, энтропия и энтальпия увеличиваются с ростом температуры. В то же время добавление легирующих элементов демонстрирует обратную тенденцию. Иными словами, легирование металлами Sn, Pb и Bi приводит к снижению значений указанных термодинамических параметров по сравнению с исходным сплавом, тогда как энергия Гиббса, наоборот, возрастает.

ГЛАВА III. КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ, СВИНЦОМ И ВИСМУТОМ

В этом разделе работы обобщены результаты легирования и, как следствие этого, изменения значений параметров высокотемпературного твердофазного окисления. С целью определения влияния добавок на

окислительный процесс и получения полного представления о закономерности изменения свойств с изменением концентрации добавок были изготовлены образцы из исходного сплава с добавками Sn, Pb и Bi в различной компоновке (0.01-0.5%). Данные исследования проводились с использованием оборудования, которые позволяют непрерывно измерять массу загруженных образцов. Исследование проходило в печи с доступом кислорода из окружающей среды и заданной температурой, которая имеет значение ниже, чем точка плавления.

Подробнее в таблицах 6,7,8 приведены цифровые значения полученных в ходе исследования результатов, а также на рисунках 5-8. Таблица 6 содержит энергетические и кинетические параметры окислительного процесса в зависимости от содержания добавляемого компонента и температуры исследования.

Таблица 6 – Изменения показателей хода окисления сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками олова

Содержание Sn, (масс. %)	Температура исследования, К	Скорость окисления $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергия активации, кДж / моль
-	623	3.01	82.1
	673	3.60	
	723	4.02	
0.01	623	2.86	92.0
	673	3.45	
	723	3.87	
0.05	623	2.80	97.8
	673	3.39	
	723	3.81	
0.1	623	2.74	102.3
	673	3.33	
	723	3.75	
0.5	623	2.68	107.1
	673	3.27	
	723	3.69	

При анализе и обработке результатов стало понятно, что окисление начинается одновременно с помещением тигля с образцом в печь, то есть увеличение массы происходит с самого начала измерения. Согласно данным, приведенным на рисунке 5, интенсивный набор массы продолжается примерно 20 минут и далее можно заметить стабилизацию кривой, что говорит о том, что далее образец не меняет свой вес и переходит в стабильное состояние. Это говорит о том, что образец полностью покрылся слоем оксидов, содержащихся в образце металлов, и этот слой не позволяет кислороду воздуха контактировать с оставшейся металлической частью образца.

Результаты показали, что кривые окисления сплава, содержащего олово, характеризуется непрямолинейным видом, это является показателем того, что процесс окисления характеризуется непараболическим видом (рис. 6). Полиномы данных кинетических кривых согласно данным таблицы 8 имеют вид уравнения $y = k \cdot x^n$, где значения n могут варьироваться от 1 до 3.

Представленные на рисунке 8 кривые показывают отношения $-\lg K = f(1/T)$ для исследованных сплавов, которые содержат добавки олова в количестве от 0,01 до 0,5 процентов, имеющих прямолинейный вид. Данные кривые были использованы для расчета энергии активации, необходимой для начала процесса окисления. Эти значения определяются исходя из тангенса угла прямых. В 6-ой таблице приведены результаты этих расчетов.

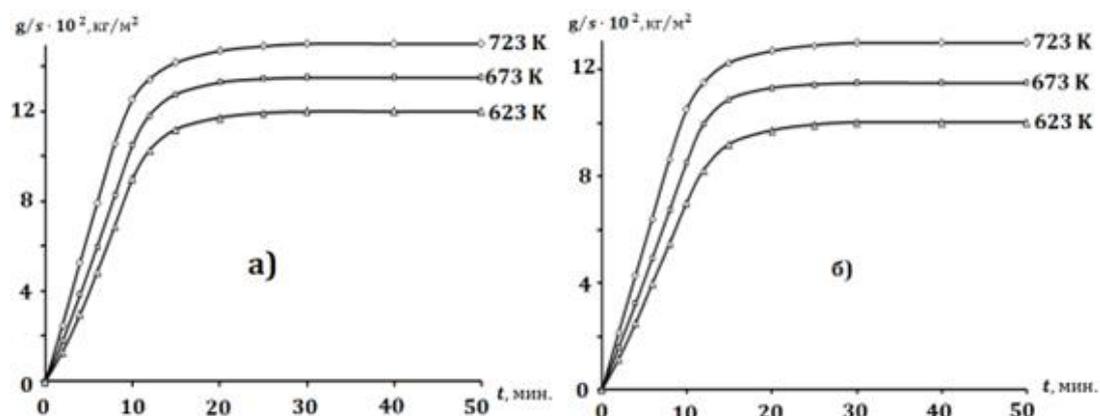


Рисунок 5 – Кривые линии хода окисления:

- а) Образец из исходного сплава без добавок;
- б) Образец с добавкой 0,5% Sn.

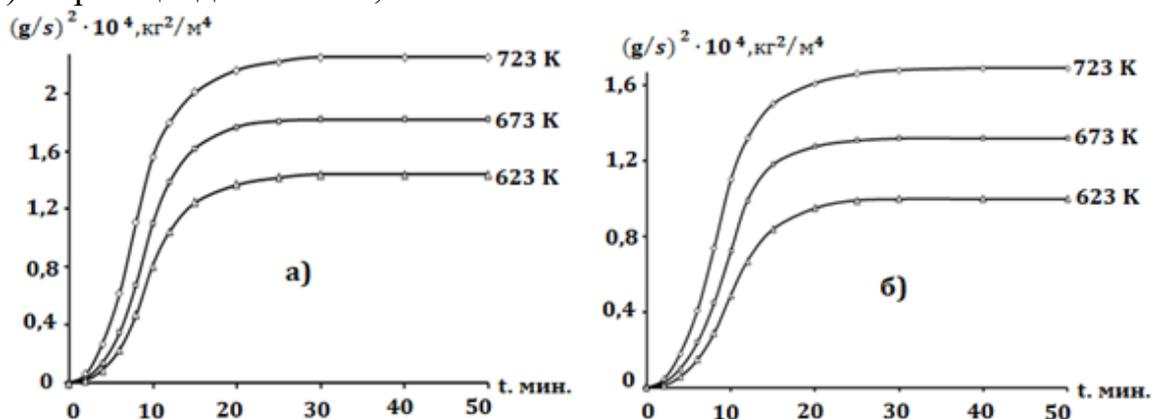


Рисунок 6 – Квадратичные линии хода окисления:

- а) Образец из исходного сплава без добавок;
- б) Образец с добавкой 1,0% Sn.

На рисунке 7 приведены кривые окислительного процесса образцов из исходного сплава (АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3) и образцов с Sn. Согласно этим линиям, добавление олова увеличивает интенсивность окисления, чем больше его содержание, тем быстрее сплав окисляется, об этом также свидетельствуют данные из таблицы 7, в которой значения энергии активации увеличиваются

параллельно с увеличением количества олова. Данная зависимость наблюдалась как при выдержке в 10 минут, так и при 20 минутах.

С целью выявления образовавшихся в результате окисления соединений было решено провести рентгенофазовую проверку образцов. Для данного анализа был применен дифрактометр марки ДРОН-3, который широко используется для определения содержания веществ.

Образование следующих соединений: Cu_2O ; $\text{Fe}_{0.974}\text{O}$; SiO_2 ; MgAl_2O_4 ; AlO ; $\text{Si}_{96}\text{O}_{192}$; $\text{Si}_{1.75}\text{Al}_{4.25}\text{O}_{20}$; Mg_2SiO_4 ; SnO - было определено в результате рентгенофазового исследования. Рисунок 9 содержит дифрактограмму данного исследования, где приведены пики выявленных соединений.

Таблица 7 – Значения полином кривых процесса окисления в твердом состоянии

Содержание олова, (масс. %)	Температура исследования, К	Полиномы квадратичных кинетических кривых	Коэффициент регрессии R
0.0	623	$y' = -5 * 10^{-5}x^3 - 0,033x^2 + 1,142x''$	0,980
	673	$y = -0.001x^3 - 0,042x^2 + 1,358x$	0,985
	723	$y = -0.001x^3 - 0,077x^2 + 1,821$	0,991
0.01	623	$y = -4 * 10^{-6}x^3 - 0,024x^2 + 1,029x$	0,980
	673	$y = -0.001x^3 - 0,04x^2 + 1,307x$	0,986
	723	$y = -0.001x^3 - 0,072x^2 + 1,732x$	0,990
0.05	623	$y = -2 * 10^{-5}x^3 - 0,021x^2 + 0,966x$	0,983
	673	$y = -0.001x^3 - 0,036x^2 + 1,226x$	0,986
	723	$y = -0.001x^3 - 0,063x^2 + 1,611x$	0,988
0.1	623	$y = -9 * 10^{-5}x^3 - 0,018x^2 + 0,887x$	0,984
	673	$y = -0.001x^3 - 0,033x^2 + 1,152x$	0,987
	723	$y = -0.002x^3 - 0,059x^2 + 1,532x$	0,989
0.5	623	$y = -6 * 10^{-5}x^3 - 0,017x^2 + 0,849x$	0,987
	673	$y = -0.001x^3 - 0,030x^2 + 1,097x$	0,987
	723	$y = -0.002x^3 - 0,057x^2 + 1,475x$	0,990

y' - рост массы (g/s, кг/м²);

x'' - длительность окислительного процесса (в минутах).

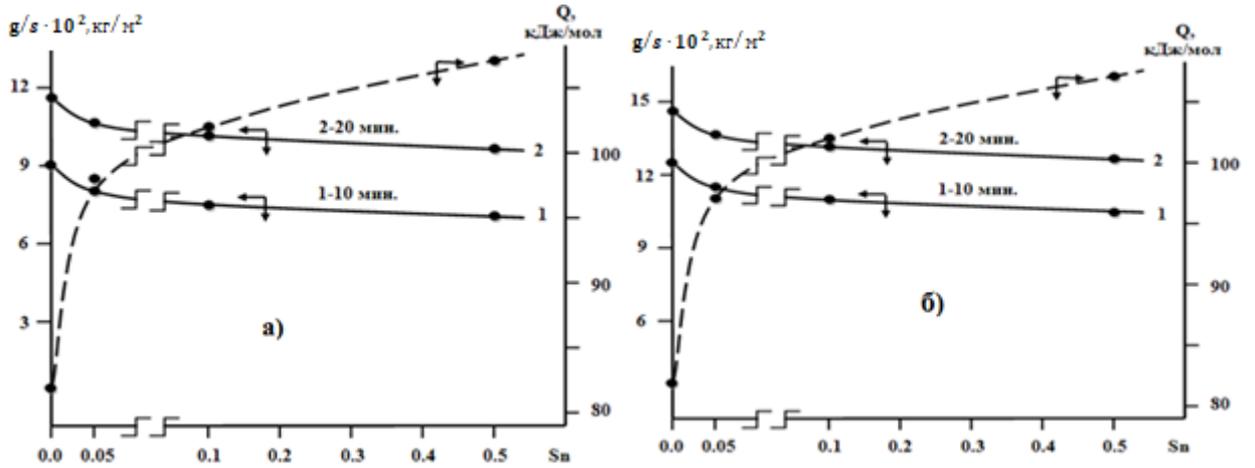


Рисунок 7 – Кривые процесса окисления, показывающие изменения параметров с ростом содержания олова, (а) при 623К; (б) 723К;

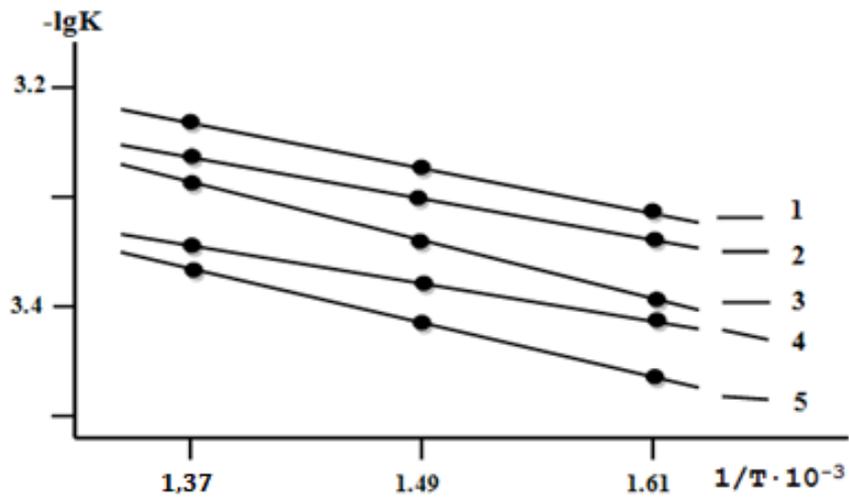


Рисунок 8 – Зависимость $-\lg K$ от $1/T$ для алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 (1), легированного оловом, масс. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5).

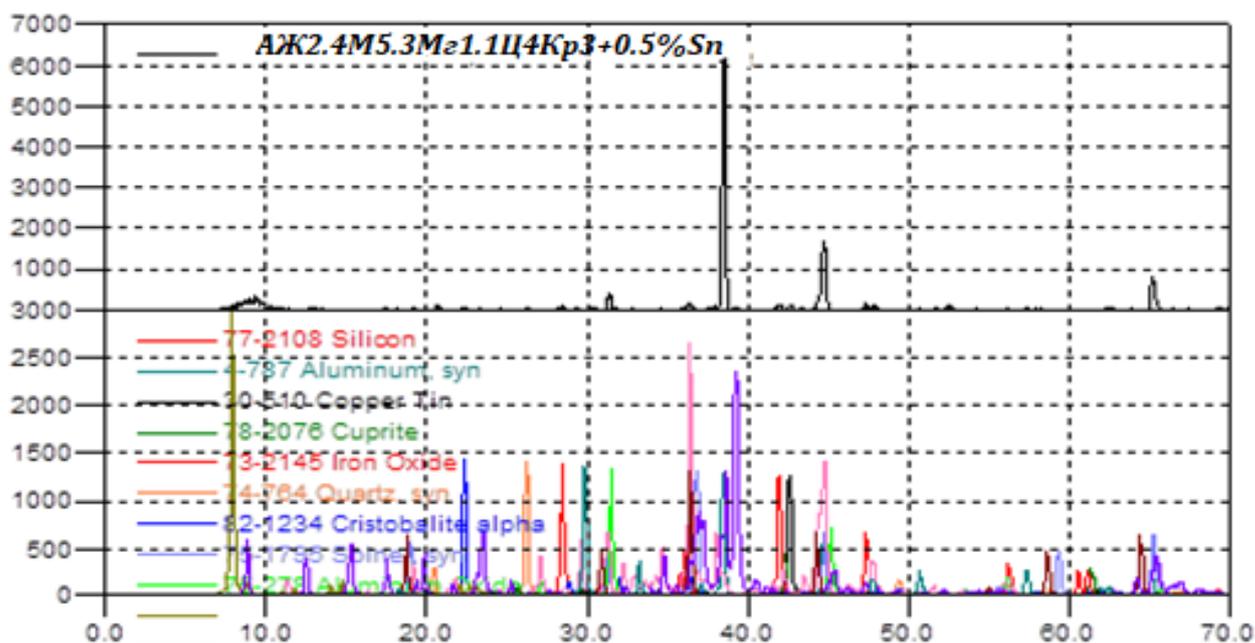


Рисунок 9 – Рентгенограмма-дифрактограмма многокомпонентного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3+0.5% Sn после окисления.

В целом добавка металлического Sn в исследованных пределах (0.01-0.5%) приводит к тому, что синтезированный сплав становится более устойчив к окислению при высоких температурах (табл. 8). Улучшение этого параметра может стать причиной для использования полученных сплавов в промышленности, а именно как исходный материал для конструкций, частей машин и оборудования, от которых требуется стойкость к окислению при высокой рабочей температуре.

Таблица 8 – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с оловом, свинцом и висмутом в твердом состоянии

Название добавки	Содержание добавки (масс. %)				
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
Sn	82.1	92.02	97.81	102.31	107.14
Pb		88.21	93.90	98.56	104.32
Bi		85.93	90.32	96.53	100.27

По итогам проведенных термогравиметрических испытаний и полученных значений исследования образцов из сплава типа АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, в который были добавлены металлы Bi, Pb, Sn, выстроилась итоговая картина, которая говорит о том, что исходный металл с висмутом более активно окисляется, чем тот же исходный сплав с оловом и свинцом. И что олово делает сплав более устойчивым к окислению.

ГЛАВА IV. КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ, СВИНЦОМ И ВИСМУТОМ

При проектировании и разработке деталей и оборудований огромное внимание уделяется способности того или иного материала противостоять коррозионному разрушению при воздействии окружающей среды. Для определения коррозионно-электрохимических свойств был проведен ряд экспериментов, используя потенциостат марки ПИ - 50 – 1, вспомогательными устройствами являлись программатор ПР-8, а также самозаписывающее устройство марки ЛКД-4. Для исключения искажения получаемых результатов температуру внутри ячейки сохраняли на определенном уровне (20°C), используя термостат МЛШ-8. Также в состав ячейки входят электрод из хлорида серебра и вспомогательный электрод, который сделан из платины.

Для определения электрохимических свойств исследованных сплавов была использована нейтральная среда раствора NaCl, которая имела различную концентрацию при разных исследованиях.

При проведении данного типа исследований были выявлены потенциалы данных сплавов. Например, на рисунке 10 можно заметить обозначение точек таких потенциалов, как потенциал коррозии, репассивации, свободной коррозии, а также питтинговой коррозии, которую также называют точечной. Данные характеристики являются основными показателями качества сплавов, исходя из которых делаются выводы про стойкость к коррозии сплавов и параметров, при которых они проявляют те или иные свойства.

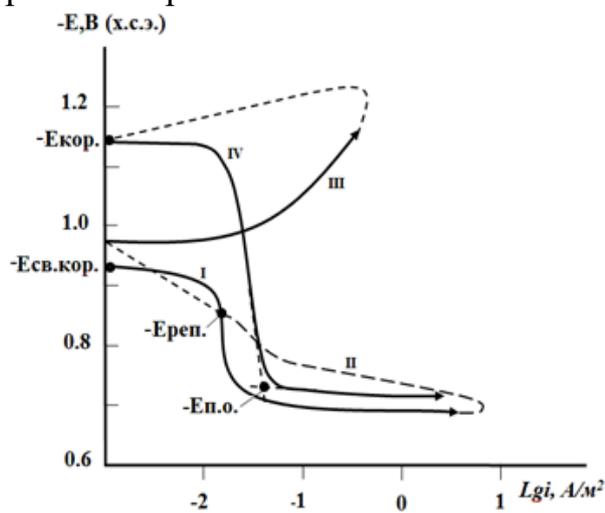


Рисунок 10 – График кривых поляризации образца из исходного сплава типа АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в жидком электролите (3% NaCl)

Основным процессом, который контролирует прохождение коррозии, является катодная реакция кислородной ионизации при исследовании в нейтральных средах. Значение тока рассчитывалось, используя константу кафеля ($b_k = 0,12 В$) из ветвей прохождения катодного процесса.

Интенсивность протекания коррозии определили, используя ток коррозии по следующей формуле:

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

Необходимо отметить, что $k=0,336$ г/А·час (электрохимический эквивалент) был выяснен в ходе поисков в литературе.

В таблице 9 приведены резюмирующие данные, полученные в результате проведения и расчетов всех данных. При анализе этой таблицы можно прийти к заключению, что наши добавки Bi, Pb, Sn в тех количествах, которые мы применяли (от 0,01% до 0,5%), способствуют улучшению коррозионной стойкости исходного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3. Также повышаются такие потенциалы как потенциал коррозии, репассивации, питтингообразования. А если быть точнее, в результате легирования исходного сплава металлами Sn, Pb, Bi повышается его стойкость к коррозионному разрушению примерно на 15-30%, что является хорошим результатом.

Таблица 8 – Значения потенциалов исходного сплава с различными добавками

Среда NaCl	Добавка и её содержание	Sn		Pb		Bi	
		-E св. корр.	-E п. о.	-E св. корр.	-E п. о.	-E св. корр.	-E п. о.
масс. %		В					
0,03	0.0	0,894	1,056	0,894	1,056	0,894	1,056
	0.01Sn	0,884	1,044	0,870	1,032	0,861	1,019
	0.05 Sn	0,876	1,031	0,858	1,020	0,848	1,008
	0.1 Sn	0,868	1,018	0,847	1,007	0,839	0,994
	0.5 Sn	0,862	1,004	0,835	0,993	0,829	0,982
0,3	0.0	0,917	1,100	0,917	1,100	0,917	1,100
	0.01Pb	0,906	1,087	0,892	1,076	0,880	1,064
	0.05Pb	0,897	1,072	0,880	1,060	0,870	1,049
	0.1 Pb	0,890	1,056	0,870	1,041	0,858	1,028
	0.5 Pb	0,882	1,040	0,860	1,028	0,847	1,014
3,0	0.0	0,936	1,140	0,936	1,140	0,936	1,140
	0.01Bi	0,923	1,128	0,910	1,120	0,899	1,109
	0.05Bi	0,914	1,116	0,900	1,105	0,888	1,093
	0.1Bi	0,906	1,104	0,888	1,091	0,876	1,078
	0.5 Bi	0,897	1,092	0,877	1,080	0,867	1,066

Механизм действия легирующих элементов на способность сплава противостоять коррозионному разрушению в данном случае можно оценивать положительно, так как при увеличении количества добавок заметно увеличились электрохимические потенциалы, а плотность тока сократилась.

Таблица 9 - Коррозия и изменение ее скорости от содержания добавок и концентрации хлорида в электролите

Добавка и её содержание, (масс. %)	Электролит NaCl, (масс. %)					
	0,03		0,3		3,0	
	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$
0.0	0,28	9,38	0,39	13,65	0,52	17,42
0.01Sn	0,24	8,04	0,37	12,39	0,50	16,75
0.05 Sn	0,22	7,37	0,35	11,72	0,48	16,08
0.1 Sn	0,20	6,70	0,33	11,05	0,46	15,41
0.5 Sn	0,18	6,30	0,31	10,38	0,44	14,74
0.01Pb	0,22	7,37	0,34	11,39	0,47	15,74
0.05Pb	0,19	6,36	0,32	10,72	0,45	15,07
0.1 Pb	0,17	5,69	0,30	10,05	0,43	14,40
0.5 Pb	0,14	4,69	0,28	9,38	0,41	13,73
0.01Bi	0,20	6,70	0,32	10,72	0,44	14,74
0.05Bi	0,17	5,69	0,29	9,71	0,41	13,73
0.1Bi	0,14	4,69	0,25	8,37	0,38	12,73
0.5 Bi	0,11	3,68	0,23	7,70	0,36	12,06

ВЫВОДЫ

1. Исследования изменения основных теплофизических параметров от изменения температуры, а также в режиме охлаждения были проведены со сплавами на основе АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, которые были модифицированы свинцом висмутом и оловом. Эти исследования показали, что при росте температуры теплоемкость и коэффициент теплоотдачи увеличиваются. Что касается сделанных нами добавок, исследования показали, что от их увеличения теплоемкость и теплоотдача уменьшается [6-А, 8-А, 14-А, 15-А, 17-А].

2. Изучение изменений термодинамических функций сплавов на основе АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с добавками металлов Sn, Pb, Bi дало достаточное основание для утверждения того, что в результате изменения температуры в сторону увеличения такие параметры системы, как энтропия и энтальпия, увеличиваются, а энергия Гиббса показывает уменьшение. Также при исследовании влияния добавок было замечено, что, чем больше объем добавки Sn, Pb, Bi, тем меньше становятся энтальпия и энтропия и, соответствуя логике, увеличивается энергия Гиббса. Данное изменение может основываться на предположении того, что структура сплавов становится более гетерогенной [6-А, 8-А, 14-А, 15-А, 17-А].

3. Термогравиметрическое исследование окислительного поведения многокомпонентного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 и полученных на его основе сплавов с добавлением олова, свинца и висмута было проведено при температурах 623, 673 и 723 К, когда исследованные образцы находились в твердом состоянии. Данные исследования показали, что окислительный

процесс идет согласно гиперболическому закону, и окисление движется примерно со скоростью 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹. Также этот метод показал, что при увеличении массы добавок в исходном сплаве окисление замедляется, а при увеличении температуры в печи, наоборот, увеличивается. Привес за счет оксидной пленки у данных сплавов практически находится на одном уровне, но энергия активации у сплавов в зависимости от добавок разная. Например, сплавы с оловом имеют большее значение энергии активации, чем со свинцом, а тот же материал с висмутом имеет наименьшее значение [4-А, 7-А, 11-А, 16-А].

4. Изучением влияния олова, свинца и висмута на кинетику окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 показано, что с ростом содержания легирующего компонента и температуры скорость окисления сплавов увеличивается. Величины привеса оксидной плёнки алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с оловом, свинцом и висмутом практически не изменяются, а эффективная энергия активации окисления сплавов с ростом содержания легирующего элемента увеличивается [4-А, 7-А, 11-А, 16-А].

5. Проведенная ИК-спектроскопия продуктов окисления показала, что основным компонентом во всех соединениях является алюминий. Также этот анализ показал наличие таких соединений как: Al_2O_3 , $Al Fe O_3$; $Mg Al_{1.9}$, SnO_2 , PbO , PbO_2 , Bi_2O_3 .

8. Результаты исследования электрохимического поведения и коррозионных свойств исходного сплава, модифицированного металлами олова, свинца и висмута, в нейтральной среде показали, что при добавлении указанных металлов в соотношении от 0.1 до 0.5 процентов в исходный сплав коррозионная устойчивость увеличивается до 30 процентов [1-А, 2-А, 3-А, 5-А, 10-А, 12-А, 13-А].

6. Составы разработанных сплавов защищены авторским правом, и получен малый патент (№ТJ1179) Республики Таджикистан [9-А].

Рекомендация автора по итогу полученных результатов.

1. Данные, полученные по итогу проведенных работ по определению характеристик многокомпонентного сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 и новых сплавов на его основе, которые содержат металлы Sn, Bi, Pb, имеют практическую ценность.

2. По итогу опытов и полученных значений можно констатировать факт, который говорит об улучшении свойств базового сплава вида АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в результате легирования, и можно рекомендовать использование синтезированных сплавов для изготовления антифрикционных материалов. Как результат, можно значительно сократить металлоемкость изделий, а также увеличить срок эксплуатации, что приводит к сокращению себестоимости каждой детали.

Список литературы

1. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. М.: Металлургия. 1984. 240 с.
2. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Металлургия. 1979. 208 с.
3. Е. И. Кутайцева. Алюминиевые сплавы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1983. — 256 с.
4. Петров, Д. А. Вопросы теории сплавов алюминия [Текст] / Проф. д-р Д. А. Петров. - Москва : Металлургиздат, 1951. - 256 с.,
5. Ю.Г. Каблов Литейные алюминиевые сплавы. — М.: ВИАМ, 2017. — 480 с.
6. О. А. Кайбышев. Современные алюминиевые сплавы и методы их обработки // Металлы. — 2016. — № 5. — С. 3–12.
7. И.Н. Михайлов, М.Ю. Васильков, А.Е. Исаев, Д.З. Сафошкин, И.Д. Кособудский, Н.М. Ушаков Влияние концентрации кислотного электролита на геометрические параметры наноструктурированного пористого анодного оксида алюминия / Вестник СГТУ. 2021. № 2 (89).
8. А. Е. Семёнов. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1985. — 220 с.
9. В. Н. Барангиков. Современные алюминиевые сплавы. — М.: Металлургия, 1988. — 248 с.
10. G. W. Edington Practical Electron Microscopy in Materials Science. — London: Macmillan, 1976. — 192 p.
11. J. W. Cahn, Hilliard J.E. Free energy of a nonuniform system // Journal of Chemical Physics. — 1958. — Vol. 28. — P. 258–267.
12. Лев Федорович Мондольфо Structure and Properties of Aluminum Alloys. — London: Butterworths, 1976. — 971 p.
13. J. E. Hatch (ed.) Aluminum: Properties and Physical Metallurgy. — Materials Park, OH: ASM International, 1984. — 424 p.
14. Ian J. Polmear Light Alloys: From Traditional Alloys to Nanocrystals. — 4th ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006. — 421 p.
15. J. R. Davis (ed.) Aluminum and Aluminum Alloys. — Materials Park, OH: ASM International, 1993. — 784 p.
16. Polmear, I.J. (2004) Aluminium Alloys—A Century of Age Hardening. Materials Forum, 28.
17. D. J. Lloyd, “Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites,” International Materials Reviews, Vol. 39, No. 1, 1994, pp.
18. R. Rainer Kampmann, **Wagner R.** Kinetics of precipitation in metastable binary alloys // Materials Science and Technology. — 1991. — Vol. 7. — P. 101–108.
19. G. Kelly, **Scully J.R., Shoesmith D.W., Buchheit R.G.** Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering. — New York: Marcel Dekker, 2003. — 1144 p.

20. А. А. Ильин. Термическая обработка алюминиевых сплавов нового поколения // Металлы. — 2019. — № 4. — С. 45–52.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО
В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК Российской Федерации

[1-А]. Давлатов О.Ш. Электрохимическое поведение сплава АЖ1.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-ного NaCl / **Давлатов О. Ш.,** Ганиев И. Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019, №3 (47) . –С.63-66.

[2-А]. Давлатов О.Ш. Рафтори коррозионӣ электрохимиявии хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ чавҳаронидашуда (Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом) / **О. Ш. Давлатов,** Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук 2020, №4, —С.190-198.

[3-А]. Давлатов О.Ш. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 легированного оловом / **О. Ш. Давлатов,** Х. О. Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2021, №1 (53) – С. 33-37.

[4-А]. Давлатов О.Ш. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в твердом состоянии / **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, Х. О. Одиназода, С.С. Раджабалиев // Известия СПбГТИ (Технического университета) 2021, №56(82). С. 17-22.

[5-А]. Давлатов О.Ш. Сравнительное исследование анодного поведения алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом и висмутом, в среде электролита 0,03%-ного NaCl / **Давлатов О. Ш.** // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования. 2022, №2 (58) – С. 56-61.

[6-А]. Давлатов О.Ш. Гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 вобаста аз ҳарорат / **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев, Бадурдинов С.С. // Паёми политехники. Баҳши таҳқиқотҳои муҳандисӣ.. 2024, №1 (65) – С. 64-68.

[7-А]. Давлатов О.Ш. Влияние свинца на кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в твердом состоянии / **О. Ш. Давлатов,** И. Н. Ганиев, Х. О. Одиназода, С.С. Раҷабалиев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия Естественных наук. 2024, №2 (58) – С. 41-50.

[8-А]. Давлатов О.Ш. Таъсири висмут ба гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи навъи АЖ2.4.М5.3Мг1.1Ц4Кр3/ **О. Ш. Давлатов,** Х. О.

Одиназода, И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев // Паёми политехники. Бахши таҳқиқоти муҳандисӣ. №2 (70) – 2025, - С. 84-89.

Изобретения по теме диссертации

[9-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1179. Сплав на основе алюминия / Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Абдулло М.А., Раджабалиев С.С., Давлатов О.Ш., Якубов У.Ш. // №2101523; заявл.29.03.2021г., опубл. 10.08.2021г.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[10-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. / Влияние олова на коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 в среде электролита 0.03%-ного NaCl // Мат. межд. научно-практ. конференции «Полиграфия: состояние и перспективы её развития» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. Душанбе. - 2020. (г. Душанбе, 13 марта 2020 г.). С.151-155.

[11-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. / Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 со свинцом в твердом состоянии / Мат. Респ. научно-практ. конф. «Инновационное развитие науки» с участием международных организаций (г. Душанбе, 10 декабря 2020 г.). С.56-58.

[12-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. / Коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного висмутом, в среде электролита 0.03%-ного NaCl / Мат. Межд. научно-практ. конф. «Развитие энергетики и возможности», район Кушониён, Хатлонская область, Республика Таджикистан. (22 декабря 2020 года). С. 329-334.

[13-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Раджабалиев С.С. / Временная зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 0,3%-ного NaCl / Мат. Межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики Республики Таджикистан: состояние, проблемы и перспективы» (г. Душанбе, 26 декабря 2020 г.). С.341-343.

[14-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., Иброхимов Н.Ф. / Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 / Мат. респ. научно-практ. конф., посвященной 30-летию независимости Республики Таджикистан и 25-летию Российско – Таджикского (Славянского) университета (Душанбе, 26 мая 2021 г.). С.65-68.

[15-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., Бадурдинов С.С./ Влияние олова на микроструктуру алюминиевого сплава

АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3/ Маводи конференсияи Ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ “Абӯрайҳони Берунӣ-алломаи машриқзамин” бахшида ба эълон гардидани солҳои 2020-2040 “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф” ва 1050 – солагии мутафаккири барҷастаи машриқзамин Абӯрайҳони Берунӣ (18-19 ноябри соли 2022).

[16-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., / Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 С висмутом в твердом состоянии / Мат. Межд. научно-практ. конференции «Новые достижения в области естественных наук и информационных», посвящённой «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук на 2020-2040 гг.» 30 мая 2023 года

[17-А]. Давлатов О.Ш., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С., Иброхимов Н.Ф. Влияние олова и температуры на теплоёмкость алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3МГ1.1Ц4КРЗ / Мат. респ. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук (20 июня 2023 года).

[18-А]. Давлатов О.Ш., И. Н. Ганиев, С.С. Раҷабалиев / Временная зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, в среде электролита 3%-ного NaCl / Мат. Респ. научно-практ. конф. «Проблема совершенствования конструкции строительно-дорожных машин, посвященной объявлению 2020-2040 годов «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования» и основателю кафедры Саидову Х.С. 29-30 апреля 2024года.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба рисолаи номзади Шерализода Ориф Шерали дар мавзӯи «Хосиятҳои физикавӣ-химиявӣи хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ сурб ва висмут чавҳаронидашуда», барои дарёфти дараҷаи илмӣи номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 2.4.15 – Маводшиносӣ дар саноати мошинсозӣ

Калидвожаҳо: хӯлаи алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, қалъагӣ, сурб, висмут, коэффисиенти гармӣ, функцияҳои термодинамикӣ, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, энергияи фаъолсозӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ, усули потенциостатикӣ, потенциалҳои озод зангзанӣ, чуқурӣ, репасиватсия, суръати зангзанӣ, микроструктураи хӯлаҳо.

Мақсади тадқиқот муайян кардани хосиятҳои термофизикӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3МГ1.1ц4кр3 бо қалъагӣ, сурб, висмут ва истифодаи натиҷаҳои бадастомада ҳангоми таҳияи таркиби композитсияҳои нави хӯлаҳо барои эҳтиҷоти техника мебошад.

Дар даҳсолаи охир таваччуҳ ба таҳия ва татбиқи маводи нави конструксионии дорои хосиятҳои беҳтари механикӣ ва муқовимати баланд ба коррозия нисбат ба маводи анъанавӣ афзуда истодааст. Бо дарназардошти ин, тадқиқ ва коркарди хӯлаҳои нави алюминий бо иловаи элементҳои гуногуни чавҳаркунанда, ки ба муҳитҳои фаъол устувор буда, қобилияти баландтари пароканда кардани энергия доранд, аҳамияти махсус касб мекунад.

Алюминий ва хӯлаҳои он аз рӯи ҳаҷми истифода пас аз пӯлод дар чойи дуюм қарор доранд. Гуногунҷихата будани истифодаи онҳо бо мачмӯи хосиятҳои арзишманди химиявӣ, физикӣ ва механикӣ, инчунин бо мавҷудияти захираҳои зиёди табиӣи алюминий дар қабати замин вобаста аст. Бо вучуди ин, дар шароити рушди синтези хӯлаҳои нав ва татбиқи онҳо дар техника ва технология, инчунин васеъ гардидани соҳаҳои истифода, бахусус дар муҳитҳои фаъол, масъалаи тадқиқи муқовимати зангзании алюминий ва хӯлаҳои он аҳамияти бештар пайдо мекунад ва омӯзиши амикро талаб менамояд.

Хулаи Алюминийи АЖ2.4М5.3Мг1.1ц4кр3 дар асоси ашеи хоми дуюмдараҷа ҳамчун замимаҳои тамоси хатҳои троллейбус истифода мешавад. Камбудии ин хӯлаи алюминий коэффитсиенти соиши баланди он мебошад, ки мӯҳлати истифодаи маҳсулоти аз он сохташударо коҳиш медиҳад. Барои кам кардани коэффитсиенти соиши лағжиш ва беҳтар кардани дигар хусусиятҳои механикии ин хӯла дар рисола чавҳаронидани хӯла бо металҳои зудғудохташаванда аз қабилӣ қалъагӣ, сурб ва висмут баррасӣ карда мешавад.

Набудани маълумот дар адабиёт дар бораи хосиятҳои физикию химиявӣ, механикӣ ва зангзании хӯлаи алюминий АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 бо қалъагӣ, сурб ва висмут таваччуҳи моро ба омӯзиши хосиятҳои гармӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва коррозийонӣ-электрохимиявӣи ин хӯла ва таҳияи хӯлаҳои нав барои истеҳсоли замимаҳои тамоси хатҳои троллейбус ва дигар соҳаҳои саноат водор кард.

АННОТАЦИЯ

к диссертации Шерализода Орифа Шерали на тему «Физико-химические свойства алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, легированного оловом, свинцом и висмутом» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.15 – Материаловедение в машиностроительной промышленности

Ключевые слова: алюминиевый сплав АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, олово, свинец, висмут, коэффициент теплоотдачи, термодинамические функции, термогравиметрический метод, кинетика окисления, энергия активации, твердость, прочность, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, питтингообразование, репассивация, скорость коррозии, микроструктура сплавов.

Целью исследования является установление теплофизических, термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого сплава АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3 с оловом, свинцом, висмутом.

Последние десятилетия характеризуются интенсивным развитием техники и технологий. С ростом технологического развития растут и требования, предъявляемые к материалам, из которых изготавливаются машины и оборудования. По требованиям инженеров и проектировщиков материалы должны быть твердыми и прочными, иметь отличные демпфирующие способности, быть стойкими к различным факторам внешней среды и при этом иметь малую плотность. По этой причине возникает необходимость в разработке сплавов на основе алюминия с различными добавками, которые бы соответствовали данным требованиям.

Сталь является одним из самых широко распространенных материалов для производства станков, оборудования, различных деталей и конструкций. Но в последние годы алюминий и его сплавы становятся более актуальными в виду их выгодных физико-химических свойств, которые при добавлении других металлов могут дать качество, отвечающее высоким технико-эксплуатационным требованиям. Также немаловажный фактор распространённости и широкого применения – это дешевизна алюминия, и он распространен по всей земной коре, в том числе Таджикистан является крупным экспортером сырьевого алюминия. Поиск и разработка новых комбинаций содержания алюминия и типов материалов могут иметь для республики огромное значение и стать дополнительным рычагом в пути усиленной индустриализации, механизации, а также замещения деталей и машин, которые завозятся из-за границы.

Объектом исследования, на основе которого были синтезированы новые составы сплавов, является сплав АЖ2.4М5.3Мг1.1Ц4Кр3, который состоит из многих компонентов. Данный сплав получен из металлургического лома. Основным потребителем данного сплава является общественный транспорт, из этого сплава изготавливаются контактные вставки линий электропередач троллейбусов. Также сплав характеризуется высоким коэффициентом трения,

что является причиной недолговечности деталей, произведенных из этого сплава. В данной работе основной задачей является повышение технико-эксплуатационных параметров сплава путем добавления легкоплавких металлов.

ANNOTATION

to the dissertation of Sheralizoda Orif Sherali on the topic "Physicochemical properties of aluminum alloy AZh2.4M5.3Mg1.1Ts4Kr3 alloyed with tin, lead, and bismuth," for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 2.4.15 – Materials science in the mechanical engineering industry

Key words: Aluminum alloy AZh2.4M5.3Mg1.1Ts4Kr3, tin, lead, bismuth, heat transfer coefficient, thermodynamic functions, thermogravimetric method, oxidation kinetics, activation energy, hardness, strength, potentiostatic method, free corrosion potentials, pitting potentials, repassivation potentials, corrosion rate, alloy microstructure.

The objective of this study is to establish the thermophysical, thermodynamic, kinetic, and anodic properties of the aluminum alloy AZh2.4M5.3Mg1.1Ts4Kr3 with tin, lead, and bismuth.

Recent decades have been characterized by intensive developments in engineering and technology. With increasing technological advancement, the demands placed on materials used to manufacture machinery and equipment have also increased. Engineers and designers require materials to be hard and strong, have excellent damping properties, be resistant to various environmental factors, and yet have low density. Therefore, there is a need to develop aluminum-based alloys with various additives that meet these requirements.

Steel is one of the most widely used materials for the production of machine tools, equipment, various components, and structures. However, in recent years, aluminum and its alloys have become increasingly popular due to their favorable physical and chemical properties, which, when combined with other metals, can produce a quality that meets stringent technical and operational requirements. Another important factor in aluminum's prevalence and widespread use is its low cost. It is found throughout the Earth's crust, including Tajikistan, which is a major exporter of raw aluminum. The search for and development of new combinations of aluminum content and material types could be of great importance for the republic and become an additional lever for enhanced industrialization, mechanization, and the substitution of imported parts and machinery.

The research subject used to synthesize the new alloy compositions was the AZh2.4M5.3Mr1.1Ts4KrZ alloy, which consists of multiple components. This alloy is produced from scrap metal. The primary consumer of this alloy is public transportation, where it is used to manufacture contact inserts for trolleybus power lines. However, this alloy is characterized by a high coefficient of friction, which leads to the short lifespan of parts made from it. In this study, the primary objective is to improve the alloy's performance parameters by adding low-melting metals.

Сдано в печать __ . __ . 2026 г.
Подписано в печать __ . __ .2026 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ТТУ им. М.С. Осими
г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10