

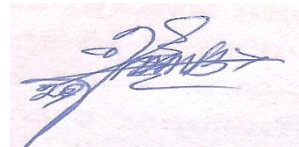
**ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА
АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»**

ВБД 615.011.4-034.89:546.62

ТКБ 34.4:34.23:303.2

Э-45

Бо ҳуқуқи дастнавис



АБУАЛИ ЭЛМУРОД

**ТАЪСИРИ ЛИТИЙ, НАТРИЙ ВА КАЛИЙ БА ХОСИЯТҲОИ
МЕХАНИКӢ ВА ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИЙИ
 $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНӢ**

ДИССЕРТАСИЯ

барои дарёфти дараҷаи илмии

номзади илмҳои техникӣ

05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 – саноати мошинсозӣ)

Роҳбари илмӣ:

доктори илмҳои кимиё,
профессор, академики АМИТ
Ғаниев Изатулло Наврузович

Душанбе – 2025

МУНДАРИҶА

НОМГЌИ ИХТИСОРАҶО, АЛОМАТҶОИ ШАРТЌ	4
МУҚАДДИМА	5
БОБИ 1. ХОСИЯТҶОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ ХЌЛАҶОИ АЛЮМИНИИ НАВЌИ ДЮРАЛЮМИНЌ БО МЕТАЛЛҶОИ ИШҚОРЌ (Шарҳи адабиёт)	12
1.1. Сохтор ва хосиятҶои хЌлаҶои алюминиИ наВЌи дюралюминиИ.....	12
1.2. ХосиятҶои теплофизикии хЌлаҶои алюминиИ ва металлҶои ишқорЌ....	22
1.3. ХусусиятҶои кинетикаи оксидшавиИ хЌлаҶои алюминиИ бо металлҶои гуногун	28
1.4. Рафтори коррозиониИ алюминиИ ва хЌлаҶои он дар муҳитҶои гуногун.....	34
1.5. Хулоса оиди баррасиИ адабиёт ва гузоштани масъалаи тадқиқот.....	39
БОБИ II. ТАДҚИҚОТИ ХОСИЯТҶОИ МЕХАНИКЌ, ТЕПЛОФИЗИКЌ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ ХЌЛАИ АЛЮМИНИИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВЌИ ДЮРАЛЮМИНЌ БО ЛИТИИ, НАТРИИ ВА КАЛИИ	41
2.1. ДастгоҳҶо ва усулҶои омЌзиши хосиятҶои механикЌ ва теплофизикии металлҶо.....	41
2.2. Таъсири иловаҶои литиИ, натриИ ва калиИ ба микроструктура ва хосиятҶои механикии хЌлаи алюминиИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ наВЌи дюралюминиИ.....	49
2.3. Таъсири иловаҶои литиИ ба гармиғунҶоиш ва тағйирёбии функсияҶои термодинамикии хЌлаи алюминиИ $AlCu_{4.5}Mg_1$	54
2.4. ГармиғунҶоиш ва функсияҶои термодинамикии хЌлаи алюминиИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ наВЌи дюралюминиИ бо натриИ.....	63
2.5. ГармиғунҶоиш ва функсияҶои термодинамикии хЌлаи алюминиИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ наВЌи дюралюминиИ бо калиИ.....	70
2.6. Хулоса оид ба боби II.....	78

БОБИ III. ТАДҚИҚОТИ ТАЪСИРИ ИЛОВАҲОИ ЛИТИЙ, НАТИЙ ВА КАЛИЙ БА КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНӢ ДАР ҲОЛАТИ САХТ.....	81
3.1. Усули таҳқиқоти раванди оксидшавӣ ва асбобҳои истифодашуда.....	81
3.2. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо литий, дар ҳолати сахт.....	87
3.3. Таъсири натрий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$, дар ҳолати сахт.....	96
3.4. Таъсири калий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$, дар ҳолати сахт.....	106
3.5. Хулоса оид ба боби III.....	115
БОБИ IV. ЗИЁДНАМУДАНИ УСТУВОРИИ КОРРОЗИОНИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНӢ БО ҶАВҲАРОНИДАШУДАИ ЛИТИЙ, НАТРИЙ ВА КАЛИЙ.....	118
4.1. Дастгоҳ ва усули тадқиқоти ҳосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаҳо.....	118
4.2. Таъсири иловаи литий ба рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ навъи диюралюминӣ дар муҳити электролити NaCl.....	122
4.3. Тадқиқоти потенциодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ навъи диюралюминӣ бо натрий дар муҳити электролити NaCl.....	130
4.4. Таъсири иловаҳои калий ба устувории анодии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$	135
4.5. Хулоса оид ба боби IV.....	143
ХУЛОСАҲО.....	145
ТАВСИЯҲО ОИД БА НАТИҶАИ ТАҲҚИҚОТИ ГУЗАРОНИДАШУДА.....	146
РӢҲАТИ АДАБИЁТ	147
ИНТИШОРОТ АЗ РӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ.....	162
ЗАМИМА 1.....	165
ЗАМИМА 2.....	166

НОМГҶИ ИХТИСОРАҶО, АЛОМАТҶОИ ШАРТӢ

КОА	Комиссияи олии аттестатсионӣ
АМИТ	Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
ДДД	Донишгоҳи давлатии Данғара
AlCu4.5Mg1	Хӯлаи алюминий мис бо 4,5% вазн. ва 1% магний
МИ	Метал(ҳо)-и ишқорӣ
МНЗ	Метал(ҳо)-и нодирзаминӣ
ГОСТ	Стандарти давлатӣ
БИОМЕД	Микроскопи электронии мушоҳидавӣ
ПИ	Потенсиали импулсӣ
СШОЛ	Оташдони барқии озмоишгоҳӣ
ЛАТР	Автотрансформатори озмоишгоҳӣ
ТШ-2	Асбоб барои санҷидани сахтӣ бо усули Бринел
АРВ-200	Тарозуи таҳлилӣ
-Е _{кор. оз.}	Потенсиали коррозияи озод
-Е _{корр.}	Потенсиали коррозия
-Е _{п.х.}	Потенсиали питтингҳосилшавӣ
-Е _{р.п.}	Потенсиали репассиватсия
-Е _{ст.}	Потенсиали статсионарӣ
-i _{корр.}	Зичии ҷараёни коррозия

МУҚАДДИМА

Мубрамияти мавзӯи таҳқиқот. Алюминий ва хӯлаҳои он, вақтҳои охир ҳамчун маводҳои муҳими саноати эътироф карда шудаанд. Сатҳи истифода ва мувофиқан талабот ба алюминий дар шакли хӯлаҳои гуногун хеле афзоиш ёфтааст. Сабаби ин пеш аз ҳама дар он аст, ки хӯлаҳои алюминий якчанд бартариятҳо нисбат ба хӯлаҳои дигар доранд. Барои ҳамин, дар ҷойҳое, ки пеш маводҳои пӯлодӣ истифода мешуданд, ҳозир аз хӯлаҳои алюминий истифода карда истодаанд. Аз ин рӯ, истифодаи алюминий дар саноат, сохтмон ва рӯзгор мунтазам афзуда, хӯлаҳои оҳан, пешсафии худро гум карда истодаанд.

Дар ҳама соҳаҳо қисмҳо ва корпусҳои аз хӯлаҳои алюминий сохташударо ёфтан мумкин аст. Алюминий ва хӯлаи он махсусан дар саноати авиатсия, автомобилсозӣ ва трактор-мошинсозии кишоварзӣ васеъ истифода мешаванд.

Ба маҳсулоти хӯлаи алюминий талаботи баланд оид ба эътимодноки ва устуворӣ, хосиятҳои механикӣ, физикӣ ва истифодабарӣ гузошта мешавад, ки сатҳ ва устувории онҳо ба андозаи зиёд аз рӯи миқдори ҷузъҳо ва омехтаҳои хӯла муайян карда мешавад.

Бе ҷустуҷӯ ва таҳияи усулҳои нав, таркиби хӯлаҳо, усулҳои қабул ва коркард пешрафти минбаъдaro ҳам дар техника ва ҳам дар маҷмӯъ дар илм тасаввур кардан ғайриимкон аст. Дар замони муосир ба хӯлаҳо талаботи торафт баландтар дар бори тобовар, хусусиятҳои гуногун ҳангоми истифода ва мӯҳлат, яъне нигоҳ доштани хосиятҳо дар тӯли вақт гузошта мешавад.

Ба ин намуди маводҳо хӯлаи алюминийи дар ин кор таҳқиқшаванда дохил карда мешавад, ки ба он металлҳо ба монанди магний, мис ва бериллий дар концентратсияҳои муайян илова карда шудаанд. Металлҳои иловашуда нисбат ба дигар металлҳо дар хосиятҳо ба монанди сабуки чандирӣ ва мустаҳкамӣ бартарӣ доранд. Аз ин рӯ, бо омезиши металлҳои

додашуда мо метавонем таркиби оптималиро пайдо кунем, ки метавонад хусусиятҳои беҳтар ва қонеъ кардани ниёзҳоро таъмин кунад.

Дар адабиёт маълумот дар бораи рушд ва то имрӯз ташаккулёфтаи навъҳои хӯлаи алюминийи деформируемый конструксионии гармидиҳандаи системаҳои Al-Cu, Al-Cu-Mg ва Al-Cu-Mg-Ag, принципҳои ҷавҳаркунии онҳо баррасӣ карда шудааст.

Дарачаи коркарди илмӣ проблемаи мавриди омӯзиш. То имрӯз ягон назарияи ягонае вучуд надорад, ки сохтор ва хосиятҳои хӯлаҳоро ба таври қаноатбахш тавсиф кунад. Баррасии шарҳи адабиётҳо нисбати таъсири элементҳои ишқорӣ нишон дод, ки маълумот оид ба таъсири металлҳои ишқорӣ ба хосиятҳои физико-химиявӣ ва механикии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 намуди дюралюминий мавҷуд нест.

Дар чунин маврид маҳз тадқиқҳои таҷрибавии хосиятҳои термодинамикӣ ва кинетикии хӯлаҳои алюминий, хусусан маълумотҳои хосиятҳои оксидшавӣ ва зангзании ин хӯлаҳо бо металлҳои ишқорӣ (литий, натрий, калий) дар мадди аввал меистад.

Ин кори илмӣ ба таҳқиқи таъсири иловаҳои металлӣ (литий, натрий, калий) ба хосиятҳои гуногуни хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 бахшида шудааст.

Азбаски мо дар бораи таъсири металлҳои ишқорӣ ба хусусиятҳои хӯлаи AlCu4.5Mg1 дар манбаъҳои дахлдор маълумот пайдо карда натавонистем, қарор шуд, ки таҳқиқот гузаронида шавад, металлҳои ишқорӣ илова карда шаванд ва сатҳи таъсири ин металлҳо ба хосиятҳои дюралюминийи AlCu4.5Mg1 муайян карда шавад. Таҳқиқотҳои бадастомада метавонанд иттилооти муфиди илмӣ ва асос барои таҳияи хӯлаҳои дорои хосиятҳои беҳтар гарданд.

Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо), мавзӯҳои илмӣ. Кор дар доираи Барномаи саноатикунории босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2020-2025, Барномаҳои миёнамӯҳлати 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 ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот таҳия, синтези хӯлаҳо бо таркиби нав, ки беҳтар шудани хосиятҳои зидди зангзаниро нишон медиҳанд, дар натиҷаи илова кардани металлҳои Li, Na, K ба хӯлаи аслии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- Таҳқиқи таҷдиди микроструктураи хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар робита бо иловаҳои металлӣ ва тағйирёбии параметрҳои механикӣ;
- Муайян кардани вобастагии ҳарорати арзишҳои иқтидори гармӣ, инчунин таъсири иловаҳои Li, Na, K ба функсияҳои асосии термодинамикии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$;
- Омӯзиши равандҳое, ки ҳангоми оксидшавии ҳарорати баланд, фазаи сахт аз хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li, Na, K мегузаранд. Механизмҳои раванди оксидшавӣ ва инчунин кинетикаи онро муайян карда шуд;
- Таҳлили таркиби фазаро муайян намуда, моддаҳои дар натиҷаи оксидшавӣ ба вуҷуд омада маълум гардидааст;
- Муайян кардани вобастагии хусусиятҳои анодии дюралюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ аз таркиби иловаҳои Li, Na, K ҷавҳаркунонида, инчунин таъсири миқдори ионҳои хлорид дар муҳити моеъи таҳқиқшаванда;

Объекти таҳқиқот: хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий бо иловаҳои литий, натрий, калий.

Мавзӯи (предмет) таҳқиқот: омӯзиши таъсири иловаҳои литий, натрий, калий ба хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ ва механикии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминий.

Навгони илмий таҳқиқот;

- Таъсири иловаҳои Li, Na, K ба сохтор ва ҷузъҳои фазаи хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ маълум карда шуд;

- Гузаронидани таҳлили рентгенофазавии намунаҳо, ки дар натиҷаи таҳлил маълум шуд, ки бо сабаби таъсири ҳарорати баланд оксидҳои гуногун ба вуҷуд меоянд Al_2MgO_4 ; MgAl_2O_4 ; $\text{Mg}_{0.85}\text{Cu}_{1.15}\text{O}$; CuAlO_2 ; Li_2CuO_2 ; Al_2O_3 ; Cu_8O ; CuO ; MgAl_2O_4 ; $(\text{Al}_{0.94}\text{Mg}_{0.06})_2\text{O}_4$; $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$; $(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Mg}_{0.36}\text{Al}_{2.44}\text{O}_4$; CuAlO_2 ; $\text{Al}_{10.666}\text{O}_{16}$; Al_2O_3 ; Al_2CuO_4 ; CuAlO_2 ; $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$; $\text{Al}_{10.38}\text{Mg}_{0.62}\text{K}_{1.62}\text{O}_{17}$; Cu_2O ; K_2O . Таъсири металлҳои иловашуда ба таркиби фазаи моддаҳо, ки пас аз оксидшавӣ ба вуҷуд омадаанд муайян карда шуд;

- Таъсири Li, Na, K ба сахтӣ ва мустаҳкамии ҳисобшудаи хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ муайян карда шуд;

- Қонуниятҳои тағйирёбии параметрҳои асосии гармидиҳии физикии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар натиҷаи ҷавҳаркунии металлҳо ба монанди Li-Na-K муқаррар карда шудааст;

- Озмоишҳо дар ҳарорати баланд барои омӯзиши қонуниятҳои раванди оксидшавӣ дар шакли сахт гузаронида шуданд. Таъсири ҳарорат дар муҳити корӣ ва ҳаҷми иловагӣҳо ба шиддат ва давомнокии раванди оксидшавӣ муайян карданд;

- Потенциалҳои электрохимиявӣ ва арзиши концентратсияи иловагӣҳо дар тағйирёбии потенциал муайян карда шуданд. Тағйирёбии потенциалҳо ҳангоми тағйирёбии ҳаҷми иловаҳои металлӣ ва концентратсияи хлорид дар муҳити таҳқиқотӣ муайян карда шудааст.

Аҳамияти назариявӣ ва илмӣ амалии таҳқиқот. Дар ин қорчаҳои назариявӣ таҳқиқот оварда шудаанд: таҳқиқи тағйирёбии микростор, тағйирёбии нишондодҳои сахтӣ ва мустаҳкамӣ ҳисобӣ, гармигузаронӣ ва функсияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ, кинетика ва раванди оксидшавӣ

хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои металлҳои ишқорӣ; таъсири муҳити омӯзишӣ ва миқдори иловаҳо ба муқовимат ба коррозияи хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$.

Озмоишҳо ва таҳқиқотҳои гузаронидашуда имкон доданд, ки миқдори оптималии иловаҳо (Li, Na, K) дар хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ пайдо карда шавад, ки дар он хосиятҳои зангзании хӯлаи ибтидоӣ беҳтар карда мешаванд. Дар асоси ин кори илмӣ патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ТҶ1365 (аз 07.04.2023с.) гирифта шудааст.

Нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:

- натиҷаҳои омӯзиши тағйироти гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо Li, Na, K аз ҳарорат;

- механизми оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li, Na, K ва параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии онҳо. Натиҷаҳои таҳлили таркиби маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо ва аҳамияти пайвастагиҳои ҳосилшуда дар рафти оксидшавӣ;

- хосиятҳои электрохимиявӣ ва тағйироти суръати коррозияи хӯлаи ибтидоӣ бо иловаҳои Li, Na, K аз миқдори иловаҳои ҷавҳарикунанда, дар муҳити моеъгии электролити NaCl.

- пешниҳоди хӯла бо миқдори муайяни иловаҳо, ки суръати оксидшавии пасттарин ва устуворӣ ба коррозияи баланд дошта, метавонанд ҳамчун маводи протекторӣ барои муҳофизати конструкцияҳои пӯлодӣ аз коррозия истифода карда шаванд.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳо бо усулҳои муосири таҳқиқот, мувофиқати сифатии натиҷаҳои бадастомада бо маълумоти таҷрибавӣ ва тасаввуроти назариявӣ дар адабиёт мавҷудбуда таъмин карда шудааст. Озмоишҳо дар дастгоҳҳои аз аттестатсия гузашта, гузаронида шуданд.

Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ ва навлониҳои илмӣ ба даст омада, ба бандҳои зерини шиносномаи феҳристи ихтисосҳои КОА-и назди Президенти

Ҷумҳурии Тоҷикистон аз рӯйи самти ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 - саноати мошинсозӣ) мутобиқат мекунад:

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

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

банди – 3. Таҳияи асосҳои илмӣ интихоби маводҳо барои хосиятҳои додашуда дар шароити конкретии истеҳсол ва истифодаи маснуот ва конструкцияҳо;

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

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

Саҳми шахсии доктарабон дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот дар таҳлили адабиёт дар ин соҳа, гузоштан ва ҳалли масъалаҳои таҳқиқот, таҳия ва гузаронидани таҳқиқотҳои таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, дар таҳияи муқаррароти асосӣ ва хулосаҳои диссертатсия мебошад.

Тасвир ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои кори диссертатсионӣ дар конферонсҳо, симпозиумҳо ва форумҳои илмӣ зерин гузориш дода ва муҳокима карда шуданд: Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Мушкилоти химияи муосир ва ҳолати ҷорӣ кардани он ба раванди таълим», бахшида ба «бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва математикӣ дар соҳаи илм ва маориф барои солҳои 2020-2040», Донишгоҳи давлатии Данғара (Данғара, 2022); Конференсияи

илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Абурайҳони Беруни падидаи Шарқ», бахшида ба эълони Солҳои 2020-2040 «Бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиӣ, дақиқ ва математикӣ дар соҳаи илм ва маориф» ва 1050-солагии мутафаккири барҷастаи Шарқӣ А. Беруни (Данғара, 2022) ва дигарон.

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Натиҷаҳои кор дар 11 нашрияи илмӣ инъикос ёфтаанд, ки аз онҳо 6 мақола дар маҷаллаҳои тақризие, ки аз тарафи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия дода шудааст: Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, инчунин нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ТҶ1365 аз 07.04.2023 с.) ба даст оварда шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисола аз муқаддима, чор боб ва замима иборат буда, дар 183 саҳифаи маҷмӯи компютерӣ пешниҳод шудааст, ки 66 расм, 37 ҷадвал, 153 сарчашмаи адабиётҳоро дар бар мегиранд

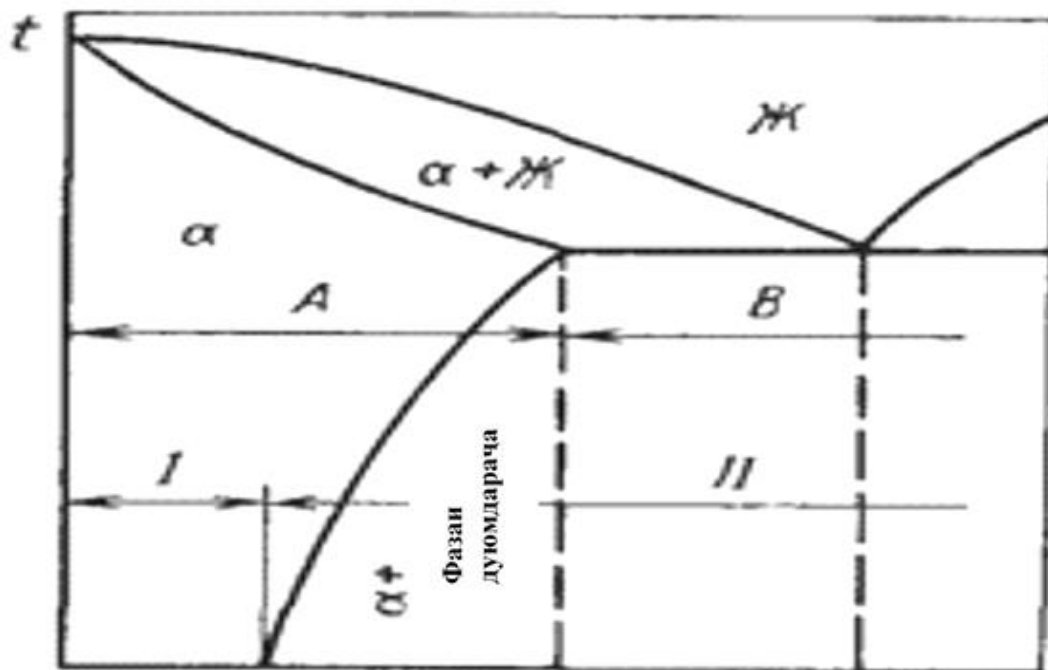
БОБИ 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ ХӢЛАҲОИ АЛЮМИНИИ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНӢ БО МЕТАЛЛҲОИ ИШҚОРӢ (Шарҳи адабиёт)

1.1. Сохтор ва хосиятҳои хӢлаҳои алюминийи навӢи дюралюминӢ

ХӢлаҳои алюминӢ – ин навӢи хӢлаҳое мебошанд, ки дар он металли асосӣ алюминий буда дигар металлҳамчун иловаи ҷавҳарикунанда оварда шудааст. Ин намуди хӢлаҳо якчанд бартарият нисбат ба дигар хӢлаҳоро доранд, масалан, зичии паст (аз 2,5 то 2,9 г/см³), мустаҳкамии хоси баланд, ёзандагии хуб, хосиятҳои электрогузаронӣ ва гармигузаронии хуб, инчунин устуворӣ ба коррозия ва ғайра [8]. Истифодабарии хӢлаҳо дар асоси алюминий рӯз аз рӯз зиёд шуда, дар ҳама соҳаи саноат, хусусан мошинасозӣ васеъ истифода мешаванд. Дар расми 1.1. диаграммаи ҳолати алюминий оварда шудааст, ки омӯзиши он дар роҳи фаҳмидан ва ҳосил кардани хӢлаҳои гуногуни алюминӢ, нақши калон дорад.

Бо мақсади беҳтар ва хубтар кардани хосиятҳои алюминий, ба он бо миқдорҳои муайян элементҳои дигарро ҳамроҳ мекунанд. Асосан барои алюминий чунин элементҳо ҳамчун иловаи пурзуркунанда истифода бурда мешаванд: силитсий, мис, хром, магний, литий, оҳан, марганес, никел, сурб, титан, рӯҳ ва ғайра. Нуқра низ дар баъзе таҳқиқотҳои олимон худро ҳамчун иловаи беҳтаркунандаи хосият нишон дода, ҷойи худро дар ин рӯйхат ёфта истодааст [9].

Бисёри элементҳои ҷавҳаронидашаванда бо алюминий маҳлулҳои саҳти ҳалшавандагашон маҳдуди тағйирёбанда ва фазаҳои мобайнӣ ҳосил менамоянд. Ин имкон медиҳад, ки хӢлаҳо бо коркарди ҳароратӣ мустаҳкам карда шаванд. Онҳо аз маҳлулҳои саҳти сершуда иборат мебошанд.



Унсури чавҳаронӣ

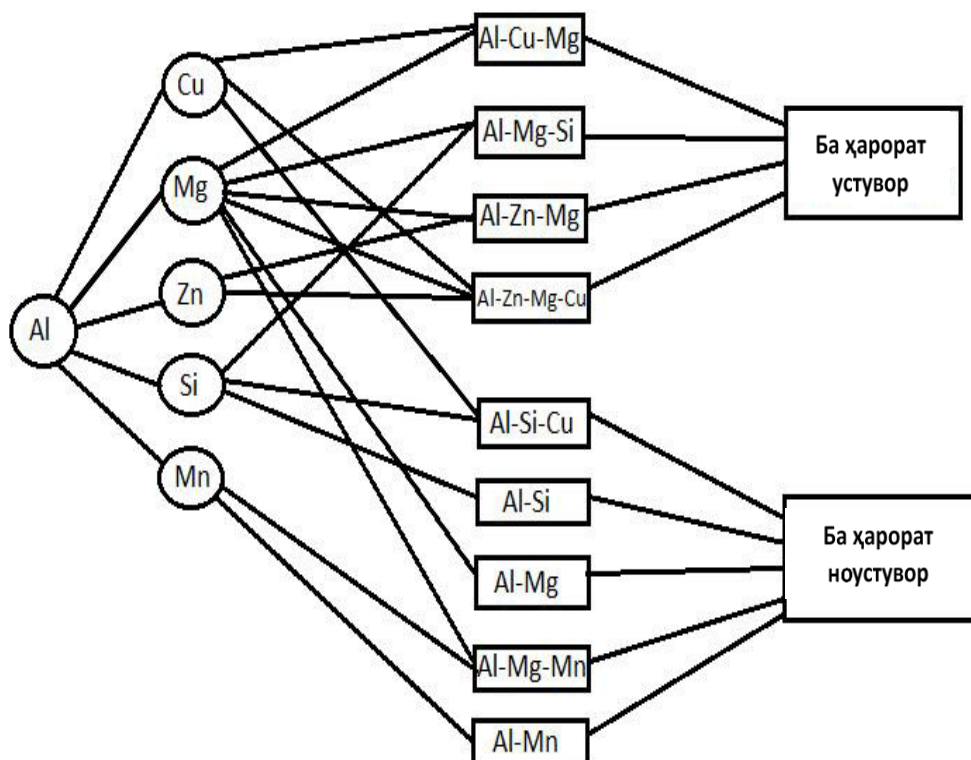
Расми 1.1. - Диаграммаи ҳолати алюминий - элементи чавҳаронида (накша): А - ҳӯлаҳои деформатсияшаванда; В - ҳӯлаҳои рехтагарӣ; I - ҳӯлаҳое, ки саҳт нашудаанд; II - ҳӯлаҳое, ки бо коркарди ҳароратӣ мустаҳкам карда мешаванд.

Дар вобастагӣ аз усули ҳосилкунии маҳсулот ё маҳсулоти нимтайёр ҳӯлаҳои алюминий ба ду гурӯҳ тақсим мешаванд (расми 1.2): 1) ҳӯлаҳои деформатсияшаванда; 2) ҳӯлаҳои рехтагарӣ.

Ҳӯлаҳои алюминийи деформатсияшаванда барои истеҳсоли маҳсулоти нимтайёр бо усулҳои коркарди фишори метал (ғелонда, пахш кардан, кӯфтан) истифода мешаванд.

Ҳӯлаҳои рехтагарӣ барои истеҳсоли рехтагарӣҳои шаклдор пешбинӣ шудаанд.

Ҳӯлаҳои деформатсияшаванда ва рехташаванда бо ҳарорат саҳтшаванда ва саҳтнашаванда тақсим мешаванд [9].



Расми 1.2 - Устувори баъзе хӯлаҳо дар асоси Al дар ҳарорати баланд

Пеш аз ҳама бояд қайд кунем, ки тамоми хӯлаҳо вобаста аз хосият, таркиб ва рафторашон ба гуруҳҳо ҷудо мешаванд. Яке аз асосҳои тақсимкунӣ ба гурӯҳин аз маводи асосӣ, яъне аз рӯйи метали асосии ин хӯла мебошад. Дар ин гуруҳҳо, иловаҳои асосӣ таркиб ва хосиятҳои онҳоро муайян мекунанд. Дар асл, монандии хосиятҳои хӯлаҳои як системаро умумият ё як намуд доштани таркиби фазавӣ муайян мекунад. Ҳамаи хӯлаҳои дар асоси алюминий бударо метавонем ба 9 гурӯҳ ё система тақсим кунем. Агар ягон илова ба ин хӯлаҳо дохил карда шавад, пас хосияти навро медиҳад, вале хосияти ин системаро иваз намекунад. Ин 9 система иноҳоянд: алюминийи техникӣ, Al-Mg, Al-Mn, Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg-Si, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu.

Мустаҳками сохтори хӯлаҳои алюминий инчунин аз ғашҳои Fe ва Si вобаста аст. Онҳо дар хӯла ҳалнашуда дар маҳлули сахт фазаҳои: $FeAl_3$, $\alpha(Al, Fe, Si)$, $\beta(Al, Fe, Si)$ ва ғайра ҳосил мекунанд. Новобаста аз шакл (лавҳашакл, сӯзаншакл ва ғ.), кристаллҳои ин фазаҳо ёзандагӣ, вайроншавии часпакӣ, муқовимати пайдошавии тарқишҳоро коҳиш

медиханд [10]. Хӯлаҳои алюминийи дорои металли Mn таъсири манфии ғашҳои дар хӯла вучуд доштаро коҳиш медиҳанд, аз сабаби он, ки онҳоро ба чорумин марҳилаи фазаи α (Al, Fe, Si, Mn) пайваست карда, кристаллизатсияро ба шакли дорои нишондиҳандаҳои беҳтар, ба анҷом мерасонанд.

Хӯлаҳои системаи Al-Cu-Mg навъи D16 (2024).

Хӯлае, ки имрӯз мо ҳамчун хӯлаи ибтидоӣ барои таҳқиқот интихоб кардем, соли 1908 аз тарафи химик немис Алфред Вилм пешниҳод гаштааст. Ӯ ҳангоми таҳқиқотҳои мебинанд, ки хӯла бо таркиби 4,02% Cu, 0,5% Mg ва 0,5% Mn хосиятҳои хуби техникӣ дорад. Хӯлаи пешкашкардаи ӯ дар соҳаи ҳавопаймосозӣ ва мошинасозӣ васеъ паҳн мешавад ва пас аз ин ба ӯ номи дюралюминро медиҳанд.

Хӯлаҳои дюралюминие, ки дар саноат истифода мешавад, ба 4 қисм тақсим мешавад:

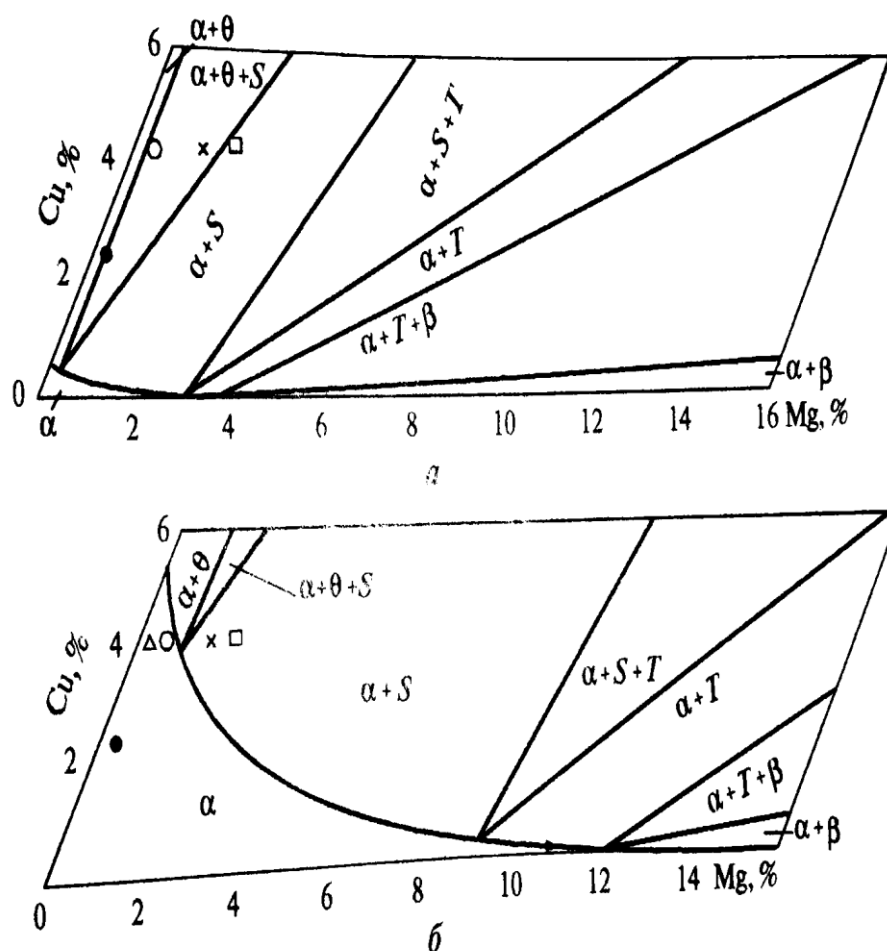
1) дюралюмини классикӣ (Д1). Ин намуд аз замони кашф шуданаш ягон тағйирот надидааст;

2) дюралюмини мустаҳкамаш баланд (Д16). Ин намуди хӯла нисбат ба хӯлаи классикии Д1 миқдори муайяни мис, магний ва марганесро доранд;

3) дюралюминиҳои тобовар ба гармӣ (Д19; ВД1 ва ВД17). Ин намуди дюралюминӣ дар таркиби худ нисбат ба хӯлаи Д1 миқдори зиёди магний ва мисро дорад;

4) дюралюминиҳои ёзандагашон баланд (Д18 ва В65). Ин зергурӯҳ аз дюралюминиҳое иборат аст, ки дар таркибашон миқдори металлҳои иловагӣ кам ё зиёд нисбат ба хӯлаи Д1 мебошад.

Дюралюминҳо хӯлаи бисёркомпонентаи таркиби фазавии мураккабдор мебошанд. Ин намуди хӯла ҳатман дар таркиби худ ғашҳои оҳан ва силитсийро дорад. Барои фаҳмидани фазаҳои асосие, ки табиати хӯлаҳоро муайян мекунад ва хосияти ин хӯлаҳоро ташкил мекунад, бояд аз диаграммаи ҳолати системаи сечандаи Al-Cu-Mg истифода барем.



Расми 1.3 - Кунчи алюминийи диаграммаи ҳолати Al-Cu-Mg

Буриши изотермии диаграммаи ҳолати ҳўлаи системаи Al - Cu - Mg ва кунчи алюминӣ ва қачхатиҳои политермикии ҳалшавандагии зиёди Mg ва Cu дар гудохтаи Al, дар расми 1.3. ба таври диаграммавӣ оварда шудааст. Нуктаҳои фигуративии ҳўлаҳои дюралюмин ба минтақаҳои фазавии $\alpha + \theta$ (Al_2Cu), $\alpha + \theta$ (Al_2Cu)+ S (Al_2CuMg), $\alpha + S$ (Al_2CuMg) дуруст меоянд.

Метавонем гуфт, ки ҳалшавандагии фазаҳои θ ва S бо баландшавии ҳарорат афзуда, ҳангоми гармкунӣ то ҳарорати 500°C сабаби ҳалшавии пурра ё қариб пурраи фазаҳои интерметаллӣ мешаванд. Сабаби пайдошавии фазаи $T(\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu})$ дар он мебошад, ки дар ҳўла миқдори муайяни метали марганес ва миқдори ками силитсий ва оҳан дида мешавад.

Мавҷудияти фазаҳои дисперсии марганеси T ба хосияти дюралюминҳо таъсири хуб мерасонад: ҳарорати рекристаллизатсияи ибтидоӣ баланд шуда, афзоиши заррачаҳоро ҳангоми рекристаллизатсия суи мекунад, ки дар

натиҷа ба баландшавии хосиятҳои механикӣ ва афзудани устуворӣ ба коррозияи ин маводҳо оварда мерасонад.

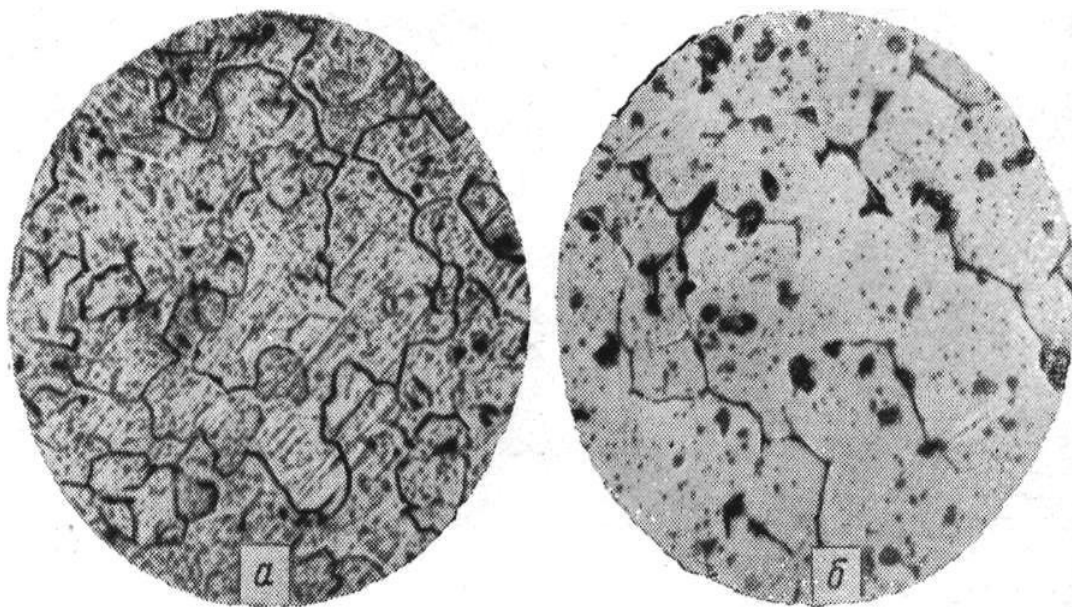
Дар металлургия, дар вақти ҳосилкунии ин хӯлаҳо, бисёр вақт таносуби таркибии ғашҳои оҳан ва силитсийро танзим карда, хосиятҳои ин хӯларо барои рехтагарӣ кардан, мувофиқтар мекунад. Бо ҳамин роҳ, дар хӯлаи Д16 ҳангоми рехтагарӣ кардани ҷисмҳои диаметрашон аз 600 мм калонтар, миқдори силитсий ба 0,06-0,08% ва миқдори оҳан ба 0,10-0,13% баробар аст.

Аз байни ҳама дуралюминҳо, хӯлаҳои тамғаи Д1 ва Д16 бисёртар паҳн буда, асосан дар соҳаи саноати авиатсионӣ истифода бурда мешаванд.

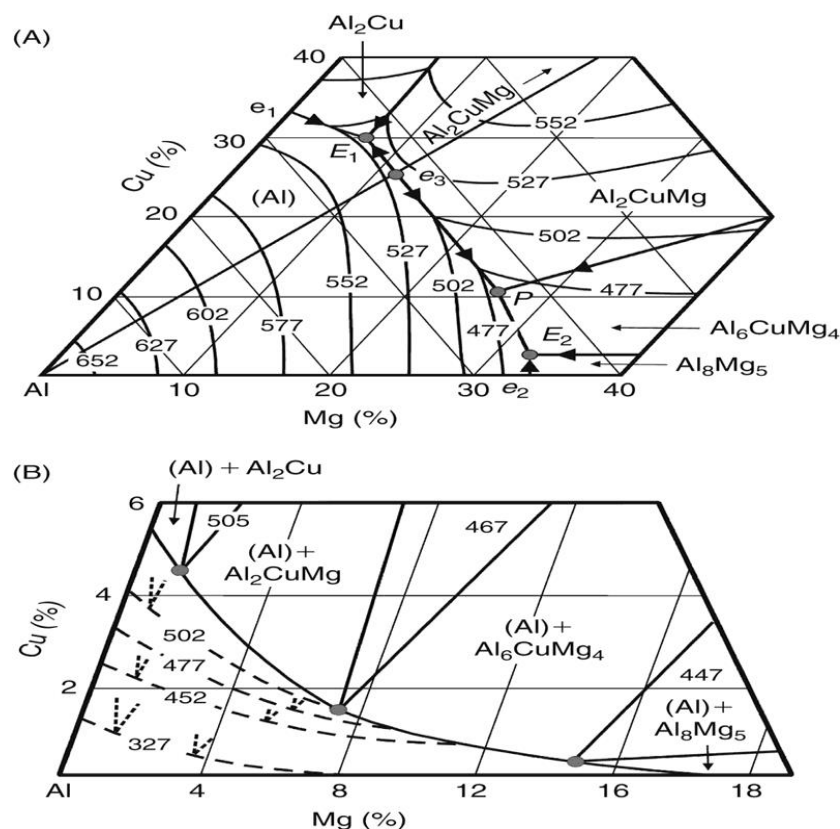
Хӯлаҳои алюминийи системаи Al-Cu-Mg, ки дорои миқдори муайяни иловаи марганес ҳастанд, дуралюмин номида шудаанд [11]. Ин намуди хӯлаҳо аз фазаҳои заррачаашон хурди Al_2Cu и Al_2CuMg иборат буда (расми 1.4), бо сабаби доштани мустаҳкамии баланд ва сабук буданашон, ҳамчунин аз сабаби доштани қобилияти нигоҳдории хосиятҳо дар ҳароратҳои баланд (то 200°C) кайҳо боз дар техникаи авиасия ва ракета васеъ истифода бурда мешуданд. Дар солҳои охир, барои маҳсулоти муҳимтарин, хӯлаи Д16ч (тоза) истифода шудааст, ки дар он миқдори оҳан ва силитсий $<0,3\%$ аст, ки сабабгори баланд шудани қиматҳои хусусиятҳои устувории часпакии вайроншавӣ мегарданд [12].

Ин система барои як синфи калони хӯлаҳои алюминий калидӣ мебошад, ки асосан ба сифати маводҳои деформатсияшаванда истифода мешаванд. Аммо, як қатор хӯлаҳои рехтагарӣ мавҷуданд, ки аз ҷониби ассотсиатсияи алюминий тавсиф карда шудаанд (масалан, AA206.0). Бо сабаби зарурии худ системаи Al-Cu-Mg ва диаграммаи фазавии он, махсусан дар кунҷи алюминий хуб омӯхта шудааст. Хело муфассал маълумотҳои таҷрибавии дар кори [13] оварда шудаанд. Ин маълумотҳо одатан дар китобҳои маълумотномаҳои [14-16] оварда шудаанд. Ғайр аз он, модели термодинамикии ин система мавҷуд аст, ки бо истифода аз барномаи ThermoCalc сохта шудаанд, ки бо таҷрибаҳои [17] мувофиқат мекунад.

Варианти васеъ паҳншудаи ин диаграммаи фазавӣ дар расми 1.5. пешниҳод шудааст.

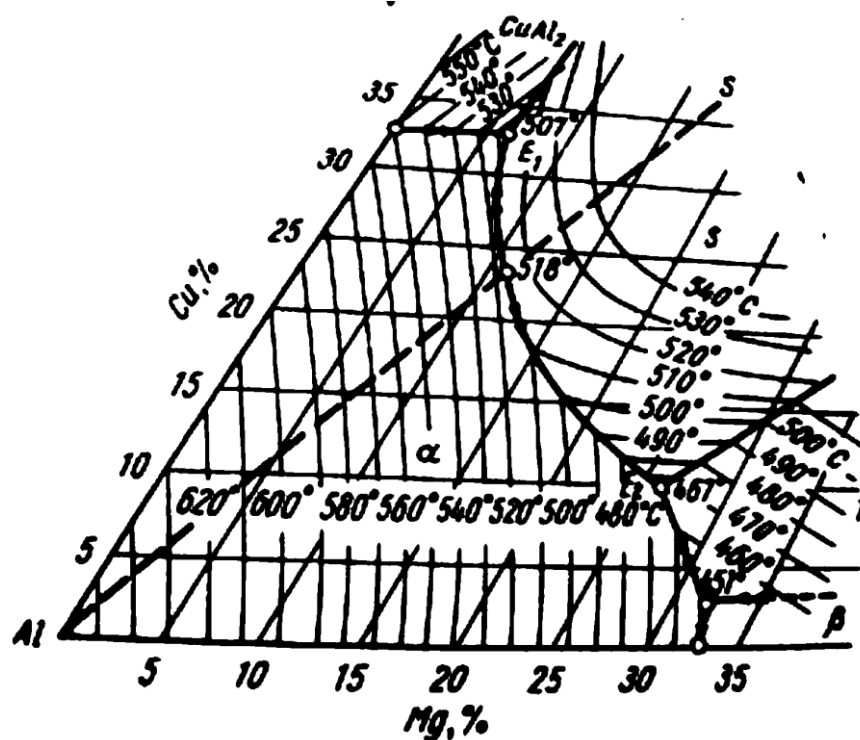


Расми 1.4 - Хӯлаи Д16 пас аз обубодиҳӣ: а - X 100; б - X 200



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

Хосиятҳои маҳсулотҳои нимтайёр аз хӯлаҳои системаи Al-Cu-Mg бештар аз дараҷаи ҳолати маҳлули саҳт, яъне аз шароити ташаккулёбии он ҳангоми обутобдиҳӣ, муътадилшавӣ ва дараҷаи пошхӯрӣ дар раванди пиршавии минбаъда вобаста аст. Аз нуқтаи назари микроструктура, дюралюминӣ ҳамчун хӯлаи бисёркомпонента бо таркиби мураккаби фазавӣ тавсиф карда мешавад. Дар ин ҳолат ғашҳои оҳан, силитсий ва марганес ба маҳлули саҳт дохил мешаванд ё дар ҳолати пайвастагӣ дар шакли пайвастагиҳои химиявии AlMg_2Mn , AlFeSiMn ё AlFeCuSi буда, ба гузариши табдилёбии фазаҳо дар хӯлаҳо таъсири ҷиддӣ намерасонанд. Ҳамин тариқ, ташкилкунондаҳои асосии сохтори хӯлаҳо инҳоянд: маҳлули саҳт α , фазаҳои θ (CuAl_2), S (Al_2CuMg), T ($\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{Zn}_3$) ва β (MgZn_2) (расми 1.6.) [18, 19].



Расми 1.6 - Сатҳи ликвидуси системаи Al-Cu-Mg

Хӯлаҳои системаи Al-Cu-Mg ба хӯлаҳои бо гарми саҳтшаванда ва кафшернашаванда мансуб мебошанд. Ин хӯлаҳо асосан дар ҳолати пиршавии табиӣ истифода мешаванд, ки маҷмуи ҳуҷи хусусиятҳои вайроншави часпакӣ, тобоварӣ ва муқовимат ба афзоиши тарқишҳои хастаиро таъмин мекунад [20, 21]. Хусусиятҳои мустаҳками дар ҳолати

пиршавии табиӣ метавонад ба қиматҳои $\sigma_B \approx 340-550$ МПа ва $\sigma_{0.2} \approx 200-360$ МПа расанд. Хӯлаҳо аз ҷиҳати мустаҳкамӣ ва устувори ба зангзанӣ нисбат ба хӯлаҳои мустаҳкаминашон баландтари системаи Al-Zn-Mg-Cu пасттаранд, аммо аз ҷиҳати хусусиятҳои тобоварӣ ва муқовимат ба афзоиши тарқишҳои хастагӣ нисбат ба онҳо бартарӣ доранд.

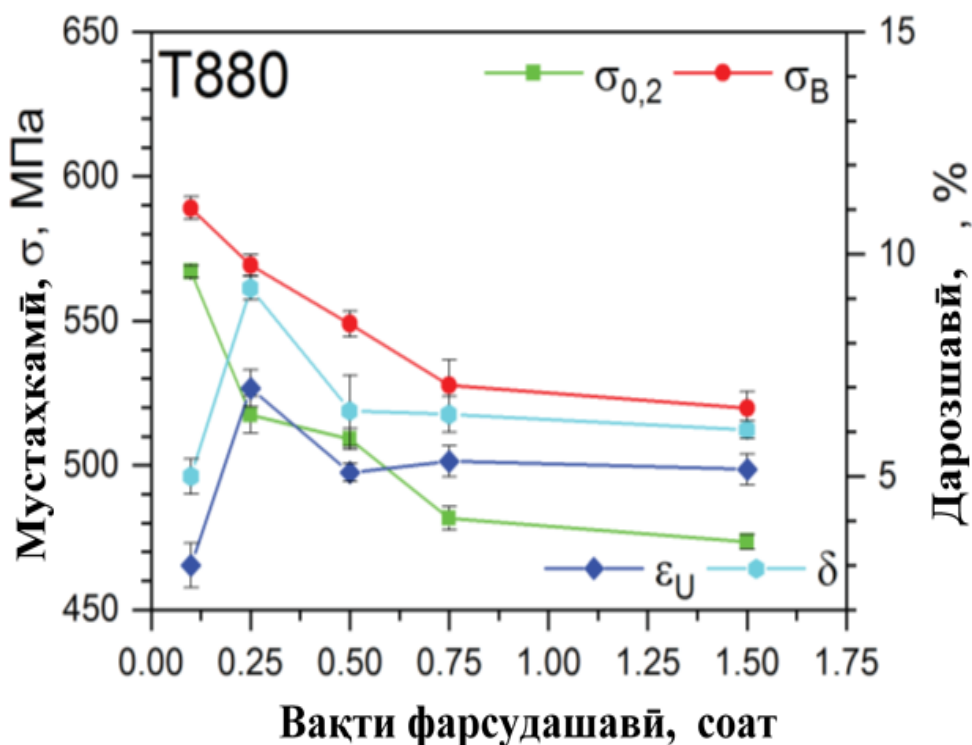
Дар ҳолати пиршавии табиӣ маҳсулотҳои нимтайёр устувори ба зангзанӣ қаноатбахш доранд, аммо ҳангоми то 80°C ва аз он боло гарм кардан каме пастшавӣ мушоҳида мешавад [22-25].

Дар ҳолати пиршавии сунӣ, маҳсулоти нимтайёр, устувори бештари хусусиятҳои муътадилшавӣ ба зангзаниро доро буда, ҳангоми гармкунӣ, қиматҳои баланди хусусиятҳои мустаҳкамӣ (махсусан ҳудуди сайлониат) доранд, аммо қиматҳои пасти вайроншави часпакӣ ва устуворӣ.

Тараққиёти мошинсозӣ ҷустуҷуи материалҳои нави конструксионии дорои нишондодҳои баланди мустаҳкамии хосро талаб менамояд. Аз ин лиҳоз тавачҷӯҳи мақсадноки иқтисодӣ ин эҷоди сохторҳои боз ҳам мустаҳкам ва сабуктар мебошад. Аз ин рӯ, баланд бардоштани мустаҳками хӯлаҳо ҳам аз ҷиҳати илмӣ ва ҳам аз ҷиҳати амалӣ вазифаи мубррамият мебошад.

Ба сабаби ҳудуди баланди моеъшавӣ дар пайвастагӣ бо ёзандагии аъло, хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи системаи Al-Cu-Mg васеъ паҳн шудаанд. Чун қоида, хосиятҳо баъди коркард ба даст оварда мешаванд, ки саҳтшавӣ ва пиршавиро дар бар мегиранд. Баъзан, барои суръат бахшидан ва баланд бардоштани таъсири пиршавӣ, деформатсияи ёзандагии хунук дар фосилаи байни саҳтшавӣ ва пиршавӣ гузаронида мешавад. Чунин коркард зиёдшавии мустаҳкамшавиро аз ҳисоби баровардани шумораи бештари фазаҳои мобайнии пароканда таъмин мекунад, ки метавонанд ҳам дар бадани дона ва ҳам дар нуқсонҳои торҳои кристаллӣ (дислокасияҳо, сарҳадҳои кунҷи паст ва ғ.) ядро пайдошавад [26–28].

Ба сифати коркарди стандартии термомеханикӣ барои хӯлаи AA2519 (Al-5,64Cu-0,33Mn-0,23Mg (% вазн)) коркарди T87 истифода бурда мешавад (расми 1.7.) [29, 30].



Расми 1.7 - Каҷхатиҳои пиршавии (вобастагии мустаҳкамӣ ва ёзандагӣ) хӯлаи алюминийи AA2519

Дар айни замон, бисёр тадқиқотҳо ба такмил додани технологияи истеҳсоли хӯлаҳои ин силсила нигаронида шудаанд, масалан хусусиятҳои ташаккули сохтор дар хӯлаҳои алюминийи D16 дар шароити гуногуни штампкунии моеъ қайд карда шудаанд [31].

Олимон ба омӯзиши таъсири иловаҳои Ag дар хӯлаҳои ин система тавачҷӯҳи хоса доранд [32-36]. Дар корҳо нишон дода шудааст, ки хӯлаҳои системаи Al-Cu-Mg-Ag метавонад ҳамчун материали конструктивӣ барои истифода дар ҳавопаймоҳои суръаташон аз ҳад баланд, ҳангоми ҳарорати қор то 200°C пешбинӣ карда шаванд. Хусусиятҳои мустаҳкамии системаи Al-Cu-Mg-Cu (ҳангоми таркибашон тақрибан 6% (вазн) ва таносуби баланди Cu/Mg) ҳангоми ҷавҳаронидани онҳо бо Ag ба микдори $\approx 0,5$ % вазн ва ба қиматҳои максималӣ дар ҳолати T1 бо таносуби Cu / Mg = 6-9 мерасад.

1.2. Хосиятҳои теплофизикийи ҳулаҳои алюминий ва металлҳои ишқорӣ

Хосиятҳои теплофизикийи ҳулаҳои алюминий. Хосиятҳои физикавию химиявии алюминий ва ҳулаи он ҳамчун масолеҳи стратегӣ дар баҳши муҳими физикаи ҷисмҳои саҳт истифода мешаванд, аз ҷумлаҳои масъалаҳои мубрам ҳисоб шуда, вобастагӣ бо масъалаҳои фундаменталии ҳалношудаи термодинамикийи муҳитҳои конденсатсияшуда доранд. Махсусан агар муҳимияти онро ба илму техника ва физикаи саҳт ба назар гирем [37].

Муҳимияти бурдани таҳқиқотҳо дар ин самт аз он сабаб заруранд, ки бо ин роҳ метавонем маводҳои композитсионии хосиятҳои хуб ва комилан нав доштаро ба даст орем. Озмоиши хусусиятҳои гармофизикийи ҳулаҳо зеро ҳароратҳои гуногун, аҳамияти калони илмӣ дошта, метавонанд дар амал низ муҳим бошанд. Зеро талабот ба маводҳои таркибӣ ва ҳулаҳои конструксионӣ рӯз аз рӯз баланд шуда, зарурати кашф ва ба роҳ мондани истифодаи ҷисмҳо аз маводҳои ба ҳароратҳои баланд тобовар, метавонад ба саноат ҷаҳиши калон ба самти пешравӣ дода, аз ҷиҳати иқтисодӣ низ ғоидаовар бошад [38].

Хосиятҳои теплофизикӣ ва термодинамикийи маводҳои композитсионӣ аз охири асри гузашта таваҷҷӯҳи олимону мутахассисонро ба худ ҷалб кардаанд [39].

Дар кори [40] оид ба хосиятҳои теплофизикийи маводҳои тозаи истифодашуда (ҷисмҳои саҳт ва маводҳои композитсионӣ) маълумоти хеле зиёд оварда шудааст.

Мувофиқи маълумотҳои [41], тадқиқоти хосиятҳои теплофизикийи маводҳои композитсионӣ металиро бо ду роҳ метавон анҷом дод. Усули якум - ин омӯзиши таҷрибавии маълумотҳои теплофизикийи (гармигузаронӣ, ҳароратгузаронӣ ва гармиғунҷоишӣ хос) маводҳо, ҳангоми истифодаи усулҳои маъмул асосан дар гузоштани масъалаҳои гармигузаронӣ барои ҷисмҳои шаклҳои гуногундошта мебошад. Сарфи назар аз он, ки шартҳои абстрактӣ дар аксар мавридҳо бо наздикшавии муайян риоя карда мешаванд, ин роҳ имкон медиҳад, ки эҳтимоляти маънои натиҷагирӣ

маълумотҳои теплофизикӣ бо дақиқии хеле назарраси дуруст муқаррар карда шаванд.

Усули дуюм дар асоси ба назар гирифтани сохтори воқеии системаи композитсионӣ (шумораи кампанентҳо, ковокӣ, андозаи зарраҳо ва усулҳои алоқаи онҳо бо ҳамдигар) хеле маъмул ҳисобида мешавад.

Муаллифони [42] якчанд формулаҳо барои муайян кардани гармигузаронӣ ва гармиғунҷоишӣ омехтаҳо дар вобастагӣ аз шакли зарраҳои пуркунанда муқаррар кардаанд; куб дар ин ҳолат ба сифати гармии атмосфера эътироф карда мешавад, аммо ин танҳо ҳангоми миқдори зиёди ковокҳо, агар фазой ҳаворо ҳиссачаҳои мустаҳками зич фаро гиранд истифода мешавад.

Инчунин аз қор [43] низ маълум аст, ки гузаронидани ҳисобкуниҳои муқоисавӣ ва маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба гармигузаронӣ ва гармиғунҷоиши маводҳои гуногун ғоиданок мебошад. Дар охир мушоҳида мешавад, ки бо зиёд шудани ковокҳо тафовути байни коэффисиентҳои назариявӣ ва таҷрибавӣ зиёд мешавад.

Таҳлили бузургҳои дар натиҷаи таҷриба ба даст омадаи хосиятҳои теплофизикии маводҳо, асос барои фаҳмиши нуқта ва нишондиҳандаҳои асосии паҳнкунӣ ва гузаронидани гармӣ зери таъсири ҳарорати баланд, барои ҳама намудҳои маводҳои металлӣ, мешавад. Бар замми ин, метавонем натиҷаҳои дар назария ҳосил шударо дар барои ҳӯлаҳо ва металлҳо аниқ созем.

Ба хосиятҳои физикии металлҳо ва ҳӯлаҳо ранг, зичӣ, ҳарорати ғудозиш, гармигузаронӣ, васеъшавии ҳароратӣ, гармиғунҷоиш, электргузаронӣ, хосиятҳои магнитии онҳо ва ғайра мансубанд.

Дар қори худ С.Г.Талус [43] натиҷаҳои гармигузаронӣ ва ҳароратгузаронӣ металлҳои гузаранда Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zr, Mb, Mo, Rh, Pd, Re, Pt, Hf, Ta, W, Gd, IT -ро зери таъсири ҳарорати баланд омӯхта, якчанд минтақаҳоеро маълум кард, ки дар он ҷой табдилёбии фазаҳои сохторӣ ба вуҷуд меояд, ё фазаи мӯъ вуҷуд доранд ва ғайра.

Дар кори [44] В.Е.Зиновев бори нахуст маълумотҳои оид ба хосиятҳои асосии теплофизикии қариб 73 металлҳоро дар доираи ҳарорати аз 100 К то ҳарорати нуқтаи обшавии зиёд ва маълумотҳои графикӣ аз 0 К дар мисоли мис (Cu) оварда ва ин маълумотҳо оид ба онҳоро ба низом ва ҷамъбаст кард.

Дар ҷадвали 1.1. аз рӯи маълумотҳои [44], таркиб ва хосиятҳои теплофизикии ҳулаҳои алюминий барои ҳолатҳои сӯзташавӣ, обӯтобдиҳӣ ва коргарди гармии ҳула оварда шудаанд:

Ҷадвали 1.1. - Хосиятҳои теплофизикии ҳулаҳои алюминий [44]

Ҳула	Таркиб, % вазн.				$\gamma, 10^3$ кг/м ³	$\lambda, \text{см}/(\text{м} \cdot \text{град})$			$\alpha, 10^{-6} 1/\text{град}$			$\rho, 10^{-8} \text{ ом} \cdot \text{м}$		
	Cu	Mg	Mn	Омехт		нагартован	закален	отожжен	293-373	293-473	293-573	нагартован	закален	отожжен
А	0,05	—	0,1	Si, Fe	2,71	217	—	225	24,0	24,8	25,9	9,9	8,5	10,1
АМц	0,2	0,03	1,3	Si, Zn	2,73	159	—	188	24,0	24,8	25,9	7,1	6,9	8,6
АМг	0,1	2,5	0,3	Fe, Si	2,67	125	—	125	23,4	24,5	25,4	6,9	5,5	6,9
АМг5	0,2	5,0	0,35	Fe, Si	2,65	83	—	116	23,9	24,8	25,9	4,6	—	—
АВ	<0,6	0,7	0,25	Fe, Zn	2,69	—	170	209	23,4	24,5	25,4	—	7,8	—
Д18	2,6	0,35	0,2	Fe, Zn	2,75	111	122	173	22,0	23,4	24,8	6,6	—	—
Д1	4,3	0,6	0,6	Fe, Si, Ni, Zn	2,80	—	117	170	22,0	23,4	24,8	—	5,2	—
Д16	4,4	1,5	0,6	Fe, Si, Zn	2,80	—	116	169	22,0	23,4	24,8	—	5,2	8,6
АК8	4,4	0,5	0,8	0,8 Si	2,80	—	154	188	22,0	23,4	24,8	—	6,9	8,6
АК4	4,0	0,5	—	—	2,80	—	—	180	22,0	23,1	24,0	—	6,9	—
32S	0,9	1,0	—	—	2,69	—	133	154	19,5	20,5	21,4	—	6,1	6,9

Хосиятҳои теплофизикӣ барои ҳулаҳои алюминийи зерин пешниҳод карда мешаванд: А, АМц, АМг, АМг1, АМг5, АВ, Д18, Д1, Д16, АК8, АК4, 32S, В95. Хосиятҳои ҳулаҳо дар ҳарорати хона ба истиснои коэффисиенти васеъшавии ҳароратӣ (КВХ), ки барои диапазони ҳарорати 20-100, 20-200 ва 20-300 ° С пешбинӣ шудаанд, дода мешаванд.

Хосиятҳои теплофизикии литий. Гудохташавии метали литий паст буда, нуқтаи ҳарорати обшавии он аз 453,7 К фарқ мекунад. Дар ҳарорати хона литий сохтори ҳаҷми марказонидашудаи кубӣ дорад.

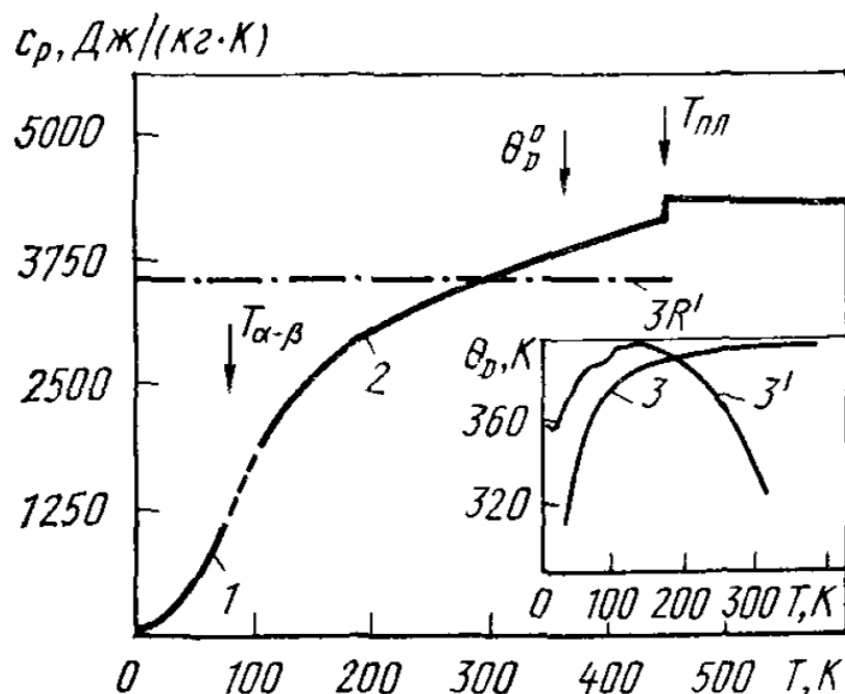
Дар расми 1.8. ва ҷадвали 1.2. оид ба гармиғунҷоиши литий, ҷамъбасти маълумотҳо дар кори [44] оварда шудааст, ки дар наздикии ҳарорати Дебай, вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш қонекунанда буда, аз қимати классикии $3R$, ба қимати тағйирёфтаи $3R' = 3R/M$ мувофиқ аст, ки дар расми 1.8. убури мекунад,

ки дар инҷо М-массаи атомӣ мебошад. Ҳангоми ғудохташавӣ дар гармиғунҷоиш тағйироти ҷиддӣ ба амал намеояд ва дар самти ҷаҳиш дар назди нуқтаи ғудохташавӣ омӯзиши иловагии таҷрибавиро талаб мекунад.

Ҷадвали 1.2 – Хосиятҳои теплофизикии литий [44]

T, K	d, г/см³	C _p , Ҷ/(кг· K)	α·10 ⁶ ·м²/с	λ, Вт/(м· K)		ρ·10 ³ , Ом·м	L/L ₀
300	0,5367	3584,5	45,3	86,6	84,8* ²	9,54	1,11
400	0,5278	3974,0	38,1	78,8	80,3* ²	33,41	1,07
500	0,5228	4288,8* ¹	34,1* ¹	75,1* ¹	77,1* ¹	15,45* ¹	1,03* ¹
600	0,5133	4376,0* ¹	19,1* ¹	42,7* ¹	-	24,91* ¹	0,95* ¹
700	0,5135	4332,3	20,2	44,3	-	26,32	0,95
800	0,5033	4262,1	22,6	47,8	-	29,33	0,95
900	0,4831	4180,4	27,0	54,3	-	34,70	0,95
1000	0.4625	4148,4	31,0	59,8	-	39,68	0,96

*¹Маълумотҳо ба тавзеҳот нисбат доранд, *²Маълумотҳои [44] аз [47]. Дар ин ҷо ва ояда, индексҳои *_s ва *_l ҳолати сахт ва моеъро ифода мекунад.



Расми 1.8. - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси (C_p) литий: 1 - [44]; 2 - [44], дар дохил - маълумотҳои ҳисобшуда (3) ва «таҷрибавӣ» (3') [44].

Бояд кайд кард, ҳангоми таҳлили нақта дар наздикии ҳарорати гудохташавӣ гармиғунҷоиш на он қадар зиёд, ҳамагӣ 10 - 15% фарқ карда барои металлҳои гудохташуда аз ҳарорат камшавии андакеи он нишон дода мешавад, ки дар доираи васеи метали сезий дар ҳарорати 1000K, ки дар инҷо $T/\theta^0D \sim 20$, таносуби $C_p/3R = 1,2$ вобаста нест.

Оид ба вобастагии ҳарорати гармигузаронии литий, маълумоти пурра дар расми 1.8. оварда шудааст, ки агар болотар аз 30 K бошад, гармигузаронӣ дар ҳолати саҳт зуд кам мешавад, инро ба рафтори ташкилдихандаи электронӣ асосан вобастагӣ дорад. Ҳисобҳои саҳми панҷаравӣ тибқи маълумотҳои [44] оварда шуда нишон медиҳанд, ки дар 300K $\lambda_g/\lambda \sim 1:2\%$, аммо барои Li $\sim 10\%$ аст. Аз руи қонуни стандартии ВФЛ ҳисобкунии λ_e дар муқоисаи натавон λ - λ_g бо муҳимияти аз ҳад зиёд баланд, балки бо λ гузаронида мешавад. Дар зухури таъсири парокандашавии электронҳои ғайриэластикӣ ва фарқияти вақтҳои релаксасии барои гармӣ ва муқовимати электрикӣ сабаби ин номувофиқӣ мебошад. Дар доираи иштибоҳи, ҳолати моеъ муайян кардани λ ($\sim 10\%$), бо ташкилкунандаи электронӣ гармигузаронии умумӣ мувофиқат мекунад. Дар ҷадвали 1.2 $L/L_0 = \lambda/\lambda_e^L$, ки дар ин ҷо $\lambda/\lambda_e^L = L_0 T/\rho$.

Ҳосиятҳои теплофизикии натрий. Натрий – элементҳои муҳими соҳаи саноат ба ҳисоб рафта, он дар гурӯҳи якуми системаи даврӣ ҷойгир мебошад. Дар ин система он бо рақами тартибии 11 маълум буда, метали сафедранги нуқрагӣ мебошад. Натрий қадшаванда буда, бо корд осон бурида мешавад, ки дар ҳолати тозагӣ, дар вақти буридан ҷило медиҳад.

Дар ҷадвали 1.3. дар вобастагии аз ҳарорат, ҳосиятҳои теплофизикии натрийи моеъ оварда шудааст.

Ҷадвали 1.3 - Хосиятҳои теплофизикии натрийи аз ҳад тоза [44]

Ҳарорат $t, ^\circ\text{C}$	Зичии $d, \text{кг/м}^3$	Гармии мушаххас $C, \text{Ҷ/(кг}\cdot\text{К)}$	Коэффициенти диффузияи гармӣ $\alpha \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Коэфитсенти гармигузаронӣ $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Муқовимати мушаххасӣ барқӣ $\rho \cdot 10^8,$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$
100	928	1385	67,0	86,1	1,15
200	903	1325	68,2	81,6	0,74
300	878	1280	67,2	75,7	0,59
400	854	1270	63,5	68,8	0,52
500	829	1270	60,3	63,9	0,48
600	805	1275	58,5	60,6	0,44
700	780	1275	59,4	59,1	0,39

Аз арзишҳои дар ҷадвали 1.3. маълум мешавад, ки дар вақти баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши натрий коҳиш меёбад. Натрий бо он хос аст, ки қобилияти гармигузаронии хубро дар ҳолати моеъгӣ дорад. Нисбати дигар металлҳо ин арзиш хеле ва хеле калон мебошад [44].

Хосиятҳои теплофизикии калий. Калий дар системаи даврии Менделеев рақами тартибии 19-ро дошта, яке аз металлҳои мулоимтарин ба ҳисоб меравад. Мувофиқа бо таҷрибаҳои олимон саҳтии ин металл аз рӯйи санҷиш бо роҳи Бринелл бузургии 400 НВ/м^2 ($\approx 0,04 \text{ кг}\cdot\text{к/мм}^2$)-ро дорад. Он дорои панҷараи кристаллии ҳаҷмии марказонидашудаи кубӣ ($\gamma = 5,33 \text{ \AA}^0$) мебошад. Зичии Na дар ҳарорати 20°C $0,862 \text{ г/см}^3$ -ро ташкил медиҳад. Ин металл зери таъсири ҳарорати ҳамагӣ $63,55^\circ\text{C}$ ба ғудозиш сар карда, дар ҳарорати аз 760°C зиёд ба ҷӯшиш сар мекунад. Коэффициенти васеъшавии гармиаш ба $8,33 \cdot 10^{-5}$ ($0-50^\circ\text{C}$) баробар буда, хосияти гармиғунҷоишӣ хоси он ба $741,2 \text{ Ҷ/(кг}\cdot\text{К)}$ дар ҳарорати 20°C ё $0,177 \text{ кал/(г}\cdot^\circ\text{C)}$ баробар аст. Инчунин зери ин ҳарорат муқовимати хоси электрикии он ба $7,118 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ баробар мебошад.

Хосиятҳои теплофизикии калийи моеъ дар вобастаги аз ҳарорат дар ҷадвали 1.4. оварда шудааст.

Ҷадвали 1.4 - Хосиятҳои теплофизикии калий аз ҳад тоза [44]

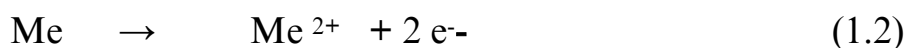
Ҳарорат $t, ^\circ\text{C}$	Зичии $d, \text{кг/м}^3$	Гармии мушаххас $C, \text{Ҷ/(кг.К)}$	Коэффициенти диффузияи гармӣ $\alpha \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Коэфитсенти гармигузаронӣ $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Муқовимати мушахассӣ барқӣ $\rho \cdot 10^8,$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$
100	818	817	69,5	46,50	0,81
200	795	792	73,0	46,00	0,59
300	773	775	73,5	43,11	0,49

Калий ва натрий гармигузаронии вобастагии бараксро доро аст. Дар вақти баланд шудани ҳарорат хосияти гармигузаронии ин металлҳо дар ҳолати моеъгӣ меафзояд. Металли натрий гармигузаронии 60-86 Вт/(м·град)-ро дошта, дар байни металлҳо аз ҳама металли хосияти гармигузарониаш дар ҳолати моеъгӣ баландро дорад. Умуман метавонем гуфт, ки металлҳои ишқорӣ дород хосияти гармигузаронии баланд мебошанд.

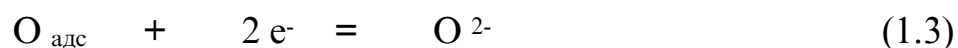
Аз таҳлили адабиётҳо оид ба тадқиқот ва омӯхтани хосиятҳои теплофизикии материалҳои композитӣ маълум гардид, ки дар умум хосиятҳои теплофизикии материалҳои композитии дар асоси алюминий омӯхта нашудаанд.

1.3. Хусусиятҳои кинетикаи оксидшавии ҳӯлаҳои алюминий бо металлҳои гуногун

Раванди оксидшавии металлҳо ва ҳӯлаҳо зери таъсири оксигени ҳаво ва ҳарорати баланд шидатнок гузашта, шиддатнокии худро дар фазаи гази оксидшавии оксиген ва адсорбсияи он гум намешавад. Дар ин ҳолат, ҳосилшавии элементи галваникии $\text{Me} - \text{MeO} - \text{O}_2$ ба назар расида, аноди онро металл ташкил медиҳад. Реаксияи тағйирёбии ҳолати металлҳо дар сарҳади маводҳои $\text{Me} - \text{MeO}$ шакли зеринро дорад [45]:



Дар нуқтаҳои раси байни маводҳои $\text{MeO} - \text{O}_2$ таъсири мутақобила байни гази оксигени аз ҳаво адсорбсия шуда ва электронҳо мегузарад:



Қабати оксидӣ нақши электролитро мебозад, зеро дар он анионҳои оксиген ва диффузияи катионҳои металлӣ амалӣ мешаванд [46]. Нуқсонҳое, ки дар панҷараи кристаллии оксидҳо вуҷуд доранд ба таносуби суръатҳои диффузияи зараҷаҳою оксиген дар қабати оксидӣ таъсир мерасонад [47].

Ба суръати коррозия ҳамчунин нуқсонҳои ионии дар қабати оксидӣ мавҷуда таъсири худро мерасонанд, ки хосияти гузаронандагии электронӣ ва ионии қабатро маҳдуд мекунанд. Як қатор хосиятҳои механикӣ (масалан яклухтӣ, мустаҳкамӣ механикӣ ва ғ.) аз хосиятҳои қабатҳои ҳосилшаванда тобеъият дошта, ҳамчунин шакли аниқи идораи раванди оксидшавӣ таъсири худро дорад.

Мувофиқи маълумотҳои илмӣ дар адабиёт дида шуда, металлҳое, ки мо дар ин таҳқиқот мо ҳамчун илова интихоб кардем ҳангоми оксидшавӣ пардаи оксидии зич ё ин ки пурраро ҳосил намекунанд. Ҳамчунин бояд қайд кард ки оксидшавии ин металлҳо тибқи қонунияти хатти амали мешавад.

Ҳангоми қиммати Po_2 доимӣ будан, суръати оксидшавиро метавонем бо тарзи зерин муаъян кунем:

$$X = kt \quad (1.4)$$

Дар ин муодила t – муддати вақт; k – доимии суръати оксидшавӣ; X – ғафсии қабати оксидии ҳосилшуда.

Дар ҳолати андозаи қисми оксидии ҳосилшуда аз андозаи маводҳои ба реаксия рафта дар вақти оксидшавӣ зиёдтар будан, ҳосилшавии пардаи яклухти оксидӣ дар сатҳи болоӣ дида мешавад, ки монеъи деффузияшавии маводҳои таъсиркунанда буда, ҳамчунин раванди оксидшавиро бозмедорад.

Раванди оксидшавӣ мувофиқи қонуни параболӣ сурат мегирад. Монандии қонунят бо муодила зерин ифода карда мешавад:

$$X_2 = k^2 t,$$

Дар алюминийи тоза чун қоида қобилияти дорои баланди муҳофизатӣ дар қабати оксидӣ ба вуҷуд меояд. Ба суръати оксидшавии алюминий, таъсири иловаҳо кам омӯхта шудааст. Ҳамчунин маълум карда шуд, ки дар вақти оксидшавии ҳулаҳои дучандаи алюминий бо металлҳои Zn , Mg , Cu

ва Fe дар ҳолати моеъгӣ γ -модификатсияи оксиди алюминий ба вуҷуд меояд (нишондаҳандаҳои панҷара камтар зиёд мешавад). Бо роҳи электронографӣ, ин маълумотҳо ба даст оварда шудааст [48-53].

Системаи Al-Mg дар нишондиҳандаҳои амалӣ, ҳавоӣ атмосфера ва буғи об таваҷҷуҳи зиёд дорад, ки корҳои илмӣ электронографии ҳулаҳои алюминийи дорои 2,4⁻⁸ % вазн магний дорад, аз ҷониби Де Бруккер [54] гузаронида шудааст, ҳангоми гарм кардан дар атмосфераи ҳавоӣ хушк. Аслан пеш аз Де Бруккер маълумотҳои таҷрибавӣ аз ҷониби Добинский [56] ва инчунин аз ҷониби Престон ва Биркумшоу [55] таҳқиқот карда шудааст. Дар ҳавоӣ атмосфера ҳангоми оксидшавии ҳулаҳои моеъгӣ асосан оксиди магний ба вуҷуд меояд. Қабатҳо қаҳваранг ё зард мешаванд, ки дар амал мушоҳида шудаи қабатҳои сиёҳи ғавсӣ аз оксиди магний иборат аст. Агар ҳангоми аз 120 то 350 °C ҳулаҳоро гарм карда шавад оксиди алюминий γ -модификатсияҳои кристаллӣ ба вуҷуд меояд. Гармкунии тӯлонии қадам ба қадам то ҳарорати то 400 °C ва ниғаҳдорӣ дар ин ҳарорат тӯли қариб 12 соат дар зерӣ таъсири ҳарорати 250 °C ва баъдан боз гармкандан то ҳарорати 400 °C сабаби ҳосилшавии қабатҳои оксидии дучандаи оксиди алюминий ва оксиди магний, мегардад [57-60].

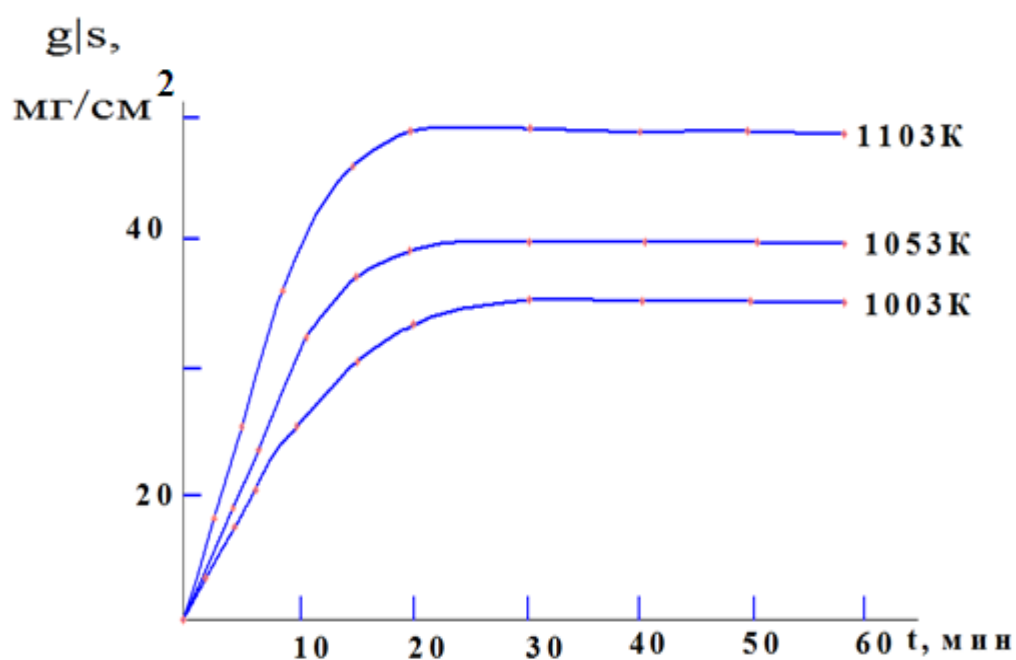
Таъсири литий ба оксидшавии ҳулаҳои алюминий. Дар адабиёт оид ба оксидшавии ҳулаҳои алюминий бо иловаҳои литий (0,002%) маълумот мавҷуд аст [61]. Қайд карда мешавад, ки дар ҳулаи литий парда ба вуҷуд меояд, ки дар сохтори он оксиди литий мебошад, яъне концентратсияи литий дар ҳула нақш мебозад [61].

Муаллифони [61] оксидшавии ҳулаҳои моеъи алюминий-литийро дар ҳарорати 973-1023K омӯхтаанд (ҷадвали 1.5.). Табиати раванди гузариш парабола аст (расми 1.9).

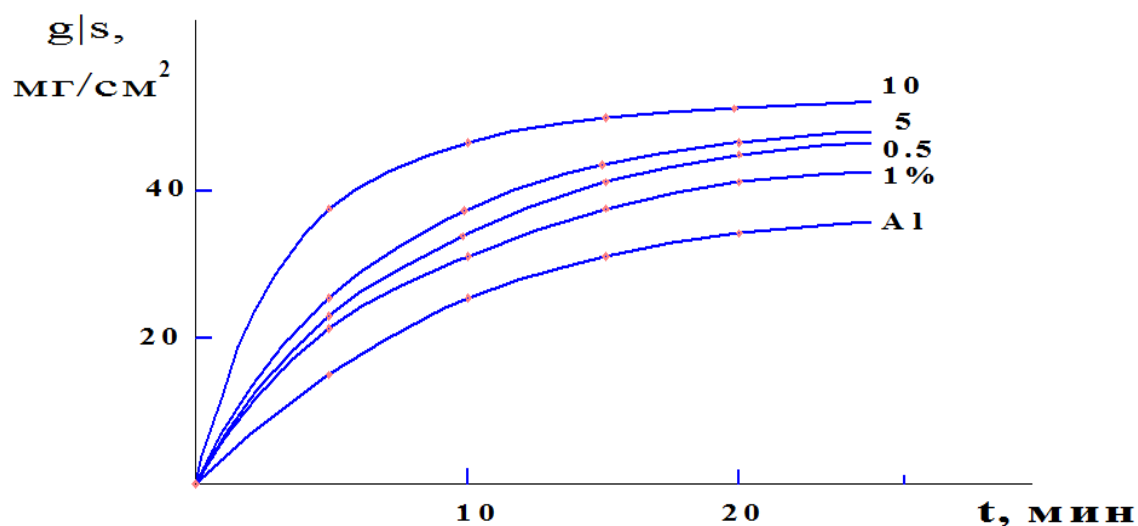
Дар ҳарорати 973-1023K омӯзиши қатъатаи кинетикаи ҳулаҳои моеъи Al-Li санҷида шудаанд, ки дар раси 1.10. оварда шудааст, бо зиёд шудани суръати оксидшавӣ ва кам шудани энергияи зоҳири ғайбшавӣ нишон медиҳанд [61].

Ҷадвали 1.5. - Параметрҳои кинетикии оксидшавии ҳулаҳои моеъи
алюминий-литий бо оксигени ҳаво [61]

Ҳулаҳо % ат.		Ҳарорати оксидшавӣ, К	Константаи суръати оксидшавӣ, $K \cdot 10^4, \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-4}$	Энергияи зоҳирии фаъолшавӣ, кҶ/мол
Al	Li			
100	00	973	20.00	74.48
		1023	34.38	
99.9	0.1	973	24.66	60.63
		1023	35.29	
99	1	973	26.33	42.48
		1023	40.00	
95	5	973	36.42	15.60
		1023	42.30	
90	10	973	48.40	14.58

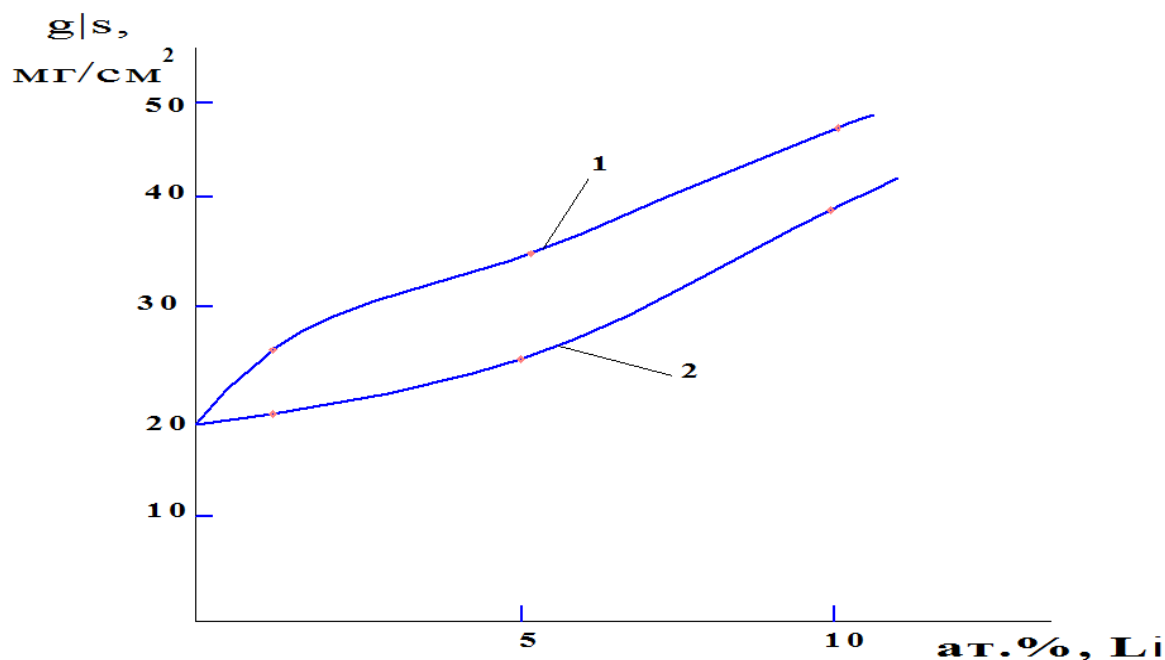


Расми 1.9. - Качхатиҳои кинетикии оксидшавии алюмініїи моеъ [61].



Расми 1.10. - Каҷхатиҳои оксидшавии хӯлаҳои моеъи Al-Li.

Изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои Al-Li дар 973 ва 1023 К дар расми 1.11. оварда шудааст. Кам шудани энергияи дохилии ғаёлшавии хӯлаҳо консентратсияи Li (>10 %ат.) оксидшавиро зиёд карда за таркиби эвтектика шаҳодат медиҳад. Дар 20 дақиқа зери ҳарорат гирифтани гудохта, каҷхатаҳои оксидшавии хӯлаҳо ба тарафи боло майл мекунанд, нисбат ба 5 дақиқа афзоиши вазни хоси хӯлаҳоро дар тули вақт нишон медиҳад [61].



Расми 1.11. - Изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои Al-Li.

Назаров Х.М., Норова М.Т. ва дигарон [62-64] кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои алюминий-литийро бо металлҳои ишқорзаминӣ дар ҳарорати 723К

ва 793K омӯхтаанд. Ҳангоми таҳлили маводҳо дида шуд, ки ҳулаҳои дар таркибашон 6%-и вазн литий дошта суръати оксидшавии нисбатан зиёдтар доранд. Бо гузашти 20 дақиқа дар ҳарорати 723K дида мешавад, ки намуна вазни доимӣ мегирад ва ҳаҷмаш ба $0,42 \cdot 10^{-2}$ кг/м² баробар мешавад. Суръати оксидшавии намунаҳо дар вақти баробар будани ҳарорат ба 723K, 793K, ки бо муодилаи $K=g/S \cdot \Delta t$ аз рӯи хатҳои тамоси қатъиҳои аз ибтидои координата гузаронидашуда чен карда шудааст, ва арзишҳои ин бузурги мутаносибан ба $6.02 \cdot 10^{-4}$ ва $7.58 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²с⁻¹ баробар аст.

Оксидшавии натрий ва калий. Маълумот оид ба оксидшавии металлҳои натрий, калий ва ҳулаҳои онҳо бо алюминий дар адабиёт маҳдуд аст.

Таҷқиқоти кинетикаи оксидшавии ҳулаи алюминийи АБ1 бо металлҳои ишқорзаминӣ дар фазаи гази оксиген аҳамияти илмӣ ва амалӣ дорад [65].

Дар ҷадвали 1.6. ҷамъбасти натиҷаҳои таҷқиқотҳо ҳангоми ҳулаи алюминийи АБ1 бо металлҳои ишқорӣ (0,05, 0,1, 0,5 ва 1,0 % вазн) ҷавҳаронидашуда, ки дар ин ҷо зиёдшавии оксидшавии воқеии ҳулаҳо мушоҳида мешавад, дар ҳоле ки энергияи фаъолшави кам мешавад оварда шудаанд.

Ҷадвали 1.6. Арзишҳои энергияи фаъолшавии (кҶ/мол) раванди оксидшавӣ

Иловаҳо дар ҳула	Миқдори иловаҳо дар ҳула, % вазн				
	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
Li	118,5	114,0	108,3	102,1	93,9
Na		110,1	103,9	96,0	87,6
K		105,9	98,0	91,8	83,5

Аз қиматҳои дар ҷадвали 1.6. овардашуда, метавонем бинем, ки ҳулаҳо бо иловаи литий нисбат ба ҳулаҳо бо натрий ва калий мувофиқи хосиятҳои металлҳои ишқорӣ дар ҳудуди зергурӯҳ, хосияти оксидшавии камро доранд

ва ҳангоми аз хӯла бо литий ба хӯлаҳо натрий ва калий гузаштан кам шудани бузургии энергияи фаъолшавии хӯлаҳо ба назар мерасад.

1.4. Рафтори коррозионии алюминий ва хӯлаҳои он дар муҳитҳои гуногун

Вобастагии рафтори электрохимиявии хӯлаҳо дар асоси алюминий аз бисёр факторҳои беруна, ба мисли: муҳити истифодаи хӯла, ҳарорати муҳит, миқдори металлҳои иловагӣ ё ғазҳо ва ғайра вобаста аст. Тозагии алюминий, намуд ва миқдори чавҳаронидашавандаҳо дар хӯлаҳои он, намуди коркарди гармӣ ва деформасияи пластикӣ, ҳолати сатҳ ва ғайра низ барои устувори ба зангзани аҳамияти калон доранд [66].

Суръати зангзании алюминийро тавассути ворид кардани ингибиторҳои шишагии моеъ, спирт, пайвастагиҳои азотӣ ва маҳлулҳои натрийи лактамі дар об, маҳлулҳои спирти NaNO_3 ё спирти KNO_3 ва $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, инчунин маҳлулҳои пайвастагиҳои азотӣ дар NH_3 ва ғайра поён карда мешавад.

Кислота ва ишқорҳои қавие, ки консентрасияи баландро доранд, ҳангоми таъсири мутақобил, пеш аз ҳама, пардаи муҳофизатии алюминийро вайрон карда ба металл мерасанд, ки дар натиҷа металл ҳал шуда хӯрдашавӣ ба назар мерасад.

Нисбат ба алюминий, қобилияти реаксияи кислотаҳо вобаста аз анионҳо ва консентрасияҳо иборат мебошад. Кислотаҳои пайвасти галогенҳо, металлӣ алюминийро вайрон намуда, ҳангоми фаъолкуни ин намуд кислота массаи атомии галогенро зиёд мекунад. Дар кислотаҳои минералӣ ба монанди гидрофтор, сулфат, гидрохлорид алюминий устувор нест. Нисбат ба алюминий кислотаи фосфат фаъол аст. Алюминий дар консентрасия басти 3%-и кислотаи нитрат дар ҳарорати 20 °C, дар консентрасияи аз 70% боло дар ҳарорати 40 °C ва дар консентрасия 90% ҳангоми ҳарорати чушиш, он қувваи кафшерии паст дорад ва ба зангзании кристали моил аст.

Аз алюминийи техникӣ бо тозагии 99,5% аст, барои истеҳсоли таҷҳизотҳои кимиёвӣ истифода бурда мешавад. Тайёр кардани таҷҳизотҳо ва реакторҳо, ки барои истифодаи хусусан консентрасияҳои баланди кислотаҳои натрий сохта мешаванд, аз алюминийи тозагӣ баланд тақрибан 99,9% ё зиёдтар истифода

мебаранд. Алюминий дорои навъҳои АОО, АДОО, АДО и АДИ дар кислотаҳои оксаликӣ, фосфорӣ, сиркоӣ ба зангзанӣ устувор аст. Барои ҳосил кардани маҳлулҳои уксусӣ, капронӣ, каприлӣ, равғанӣ, бромиди этилен, метил, амил, бутил, этилӣ, сиклогексан, анизол, фенол, крезол ва дигар намудҳо дар реакторҳои алюминий бояд дар хотир дошт, ки он дар ҳолати пассивӣ, он танҳо бо намии ҳадди ақали муҳити атроф устувор аст.

Барои истеҳсоли дастҳои раванди кислотаи сирко, истифодаи ҳулаи алюминий дорои мисро иҷозат дода намешавад. Силуминҳо яъне ҳулаи силитсию алюминий барои ҳосилкунии рехташудаи насосҳои дар кислотаи уксус коркунанда ҷавобгу аст.

Маҳлулҳои NaOH , KOH , Ca(OH)_2 , Ba(OH)_2 ва инчунин аммиак нисбат ба кислотаҳои чунин дараҷаи диссоциация дошта, алюминийро хеле сахттар вайрон мекунад. Дар ҳолати зиёд шудани консентрасия маҳлули ишқорҳо, суръати зангзании металл зиёд мешавад. Дар ҳолати консентрасияи пасти маҳлул, алюминий дараҷаи тозагиаш баланд суръати зангзани дар аввал мутаносибан аз консентратсия 0,1 то 1Н ба решаи кубӣ зиёд гашта, баъдан ба мутаносиби консентрасия мебарояд.

Дар алюминий пардаҳои муҳофизатӣ амфотери доша [70-73], дар кислотаҳои консентрасияи баланд ё дар ишқорҳо ба осони ҳал мешаванд. Фаҳмо аст, ки дар муҳити турушӣ ё хусусан дар ишқор потенциали алюминий хеле манфӣ буда, бо ҷудо шудани гидроген фаъолона ба вайроншавӣ сар мекунад. Дар зери таъсири ионҳои хлорид, пардаи ғайрифаволи алюминий хусусан дар маҳлули кислота ба осони ҳал мешавад. Фаъолшавии алюминий инчунин метавонад бо таъсири он иҷро намуд. Масалан, сатҳи алюминиро молиш дода бо симоб ё коркарди алюминийро бо маҳлули намаки симоб, хусусан ҳангоми поляризатсияи катодӣ иҷро кардан мумкин аст. Алюминий тозанокиаш баланд дар маҳлулҳои нейтралӣ ё ҳаво, дар ин ҳолат ноустувор аст, ки дар оби тоза ё хориҷшавии гидроген тез ҳал мешавад.

Қобилияти худфаъолшавии алюминийи бисёр маводҳоро ба маҳлулҳои нейтралӣ ва каме турушӣ тобовар мекунад. Коррозияи алюминий дар маҳлулҳои

нейтралӣ асосан аз ҳисоби раванди катодии деполяризатсияи оксиген ба амал меояд, аммо, тавре ки дар кори [74] дида мешавад, аз сабаби зиёд шудани миқдори пайвастагии ибтидоӣ хӯлаи алюминий бо шиддати пасти деполяризатсияи гидроген каме зиёд мешавад.

Мустаҳкамии алюминий доир ба зангзании дар об, вобаста ба ҳолиси он мебошад, дар об то ҳарорати 130 °C алюминий техники устувор аст. Алюминийи тозагаш бисёр баланди 99.99% аст, ҳатто дар ҳарорати 100 °C ноустувор мемонад.

Аз алюминий техникӣ, ки дорои миқдори умумии 1% оҳан ва силитсий мебошад, дар Иёлоти Муттаҳидаи Амрико реакторҳои бо об ҳалшаванда сохта шудаанд. Хӯлаи зикргардида аз ҳарорати 100 то ҳарорати 130 °C дар об бо суръати 0.005-0.015 г/м²с занг мезанад, ки хӯлаҳои омӯхташуда ҳастанд, ки дар об ҳангоми аз ҳарорати 300-350 °C устувор мемонанд. Ба инҳо хӯлаҳои, ки таркибашон 1 - 5% Ni, 0,3 - 1,5% Fe ва миқдори ками элементҳои дигар доранд ва инчунин хӯлаҳои бо 9-12% Si, 1,5% Ni ва 11% Si, 1% Ni, 0,5% Fe, 0,8 %Mg ва 0,1% Ti дохил мешаванд. Яке аз камбудии ин хӯлаҳо дар он аст, ки ҳангоми истифода дар ҳароратҳои баланд, хусусиятҳои механикиашон хеле паст мебошад. Яке аз роҳҳои ислоҳ кардани ин камбуди дар он аст, ки хӯлаи мазкурро бо роҳи металлургияи хокӣ, яъне ки бо пресскунии хокаҳо ҳосил карда шавад.

Дар маҳлулҳои намаки обии суръати зангзании алюминий, пеш аз ҳама аз pH-и онҳо вобаста аст, ки зангзании шадидтар дар намакҳои кислотаҳои қавӣ ва асосҳои заиф (CuSO₄) ё кислотаҳои заиф ва асосҳои қавӣ (Na₂CO₂), ба мал меояд, ки дар инҳо ионҳои хлор қобилияти баланди реактивӣ доро мебошад. Фақат сульфатҳо таъсири зангзананда дар амал надоранд. Дар маҳлулҳои намакин умуман алюминий хуб ҳал мешавад.

Дар вақтҳои охир хӯлаҳои ба зангзанӣ устувор, аз ҷумла алюминий кафшершаванда бисёр ҳосил карда шуда истодааст, ки боиси истифодаи хеле васеъ дар киштисозӣ ҳангоми истеҳсоли танаҳо, кубурҳо, конструкцияҳо ва ғайра гардид. Талаботҳои киштисозиро хӯлаҳои Al-Mg аз ҳама хубтар қонеъ

мегардонанд. Тавсия дода мешавад, ки хӯлаҳои бо миқдори магний то 6% истифода бурда шаванд. Ҳангоми аз ҳад зиёдшавии миқдори он, устувори ба зангзании хӯла кам мешавад.

Ба устувори зангзании хӯлаҳои алюминий, ки дар киштисозӣ истифода мешаванд, усули кафшери онҳо ҳангоми тайёр кардани конструкцияҳо таъсир асосӣ дорад. Дар муқоиса бо пӯлод ё дигар металлҳо хосиятҳои алюминий хусусиятҳои хоси кафшери хӯлаҳои алюминийро муайян мекунад. Зарфҳои алюминий барои нигоҳ доштани сӯзишвориҳои авиатсионӣ дар натиҷаи инкишофи микроорганизмҳо дар керосин ба зангзанӣ дучор мешаванд [75]. Барои истихроҷи газ ва нафт дар таҷҳизотҳои дорои ғаёли обҳои қабатӣ ва карбогидритҳо, ки дар таркибашон кислотаҳои органикӣ, сульфатҳо ва хлоридҳо, ки то ҳади 10% оксиди карбон ё 10% сулфиди водород доранд, таъсири ҷиддӣ мерасонанд. Хосияти хуби технология имкон медиҳад, ки хӯлаҳои алюминий устувор ба зангзанӣ барои истифодаи кубурҳои нафт, кубурҳои пармакунӣ, кубурҳои газ, барои гузаронидани кубурҳои хати гармидиҳӣ, зарфҳои махсуси нигоҳдорӣ истеҳсол карда шаванд [76].

Бартарии хӯлаи Д16Т дар зери шиддати устуворӣ ба зангзании фарсоиш, инчунин бо консентрасия ва ҳарорати баланд, шиддат ба кубури пӯлоди Д1 ба пӯлоди Ст45 аз ҷиҳати тарбики химиявӣ шабеҳ аст, дорои мебошад. Дар муҳити нейтрал ё ишқорӣ заиф, суръати зангзании хӯлаи Д16Т ҳангоми pH 7-11 ночиз аст, аммо ҳангоми pH > 11 якбора меафзояд. Ҳангоми бо втулкаҳои пулодӣ пайваст кардани кубурҳои пармакунии аз хӯлаи Д16Т сохташуда, дар маҳлули гил зангзании тамосии ночиз мушоҳида мешавад.

Системаи алюминий-литий. Аз ҷониби муалифон [77] хӯлаҳои системаи дучандаи $AlLi_6$ ($Al+6\%Li$) бо консентрасияҳои 0,01-0,5 % вазн металлҳои ишқорзаминӣ омӯхта шудаанд. Дар воқеагӣ аз вақт потенциали зангзании хӯлаҳо ба минтақаи мусбат майл мекунад. Ба минтақаи мусбӣ гузариши потенциали зангзанӣ, ин аз он шаҳодат медиҳад, ки ҳубтар шудани хосиятҳои пасиватсияи хӯлаҳои $AlLi_6$ бо консентрасияи металлҳои ишқорзаминӣ мебошад.

Аз чониби муалифони [78,79] сарфи вақт омӯхта шудани ҳулаҳои системаи дучандаи $AlLi_6$ бо ҳулаҳои дорои металлҳои нодири микдори гуногун вобастагӣ дар потенциали зангзании, озод дар муҳити электролити натрий-хлор дида шудааст.

Ҳангоми сар шудани оксидшавӣ, тағйирёбии ногаҳонии потенциали коррозияи озод барои ҳамаи ҳулаҳо дида мешавад, ки онҳо ба самти мусбӣ ҷаҳиш мекунанд. Болоравии нишондиҳандаҳои потенциали озод ҳангоми илова кардани металли литий дида мешавад. Аз ҳисоби ҳосилшавии пардаи оксидӣ дар сатҳи болоии намунаҳо, баъди 1 соати ниғаҳдории намуна, мӯътадилшавии потенциали коррозияи озод ($E_{корр.оз.}$) ба амал меояд. Дар ҳулаи $AlLi_6$ бо ҷавҳаронидани иловаи 0,01 % вазн лантан, ки қиматҳои хело мусбати потенциали (-0,910В), дар муҳитҳои 0.03, 0.3 ва 3.0% электролитии NaCl мансуб аст [80].

Системаи алюминий-натрий. Дар гурӯҳи ҳосияти кимиёвии металлҳо, дар ҷадвали даврӣ системаи Д.И. Менделеев шояд баъзе аз қонуниятҳо ба хусусияти такрорёбии зангзании металлҳо дақиқ карда шавад. Металлоҳи ишқорӣ дар гурӯҳи якуми ҷадвали Д.И. Менделеев аз ҷумла: Li, Na, K, Rb, Cs ва металлҳои ишқорзаминӣ дар гурӯҳи дуюми ҷадвали Д.И. Менделеев аз ҷумла: Be, Mg, Ca, Sr, Ba инҳо камтар металлҳои ба зангзанӣ тобовар ҷойгир буда, дар қаторҳои давраҳои калон дар гурӯҳҳои V. (ванадий, ниобий, тантал), VI (уран, хром, вольфрам, молибден) ва VIII (оҳан, никел, рутений, кобалт, родий, иридий, палладий) металлҳое ҷойгир мебошанд, ки ҳосияти пасившавандагии хубро доранд [81].

Системаи алюминий-калий. Дар вақти мутолиаи адабиёт [82], маълум шуд, ки ҳулаҳои алюминии дорои калий ду қабати оксидии муҳофизатиро доранд. Яке аз ин қабатҳо “дохилӣ” ба ҳисоб рафта, онро қабати монеагии оксидӣ низ меноманд. Дар муҳитҳои нейтралӣ ин қабатҳои ҳосияти заифи гузаронидани қувваи ҷараён ва ионҳоро нишон медиҳанд. Қисми дуюмиро кристалҳои як- ва се-обаи оксиди алюминий ва гидроксиди алюминийи аморфӣ ташкил медиҳад. Ин қабат аз қабати дохилӣ дида якчанд маротиба ғафстар буда параметрҳои система ба шакл, таркиб ва ҳосиятҳояш таъсири калон дорад. Аз сабаби он, ки

ин қабат ковокиҳо ва холигиҳои зиёдро дар худ дорад, хосияти муҳофизатиаш паст буда маҳлул ё газҳои коррозиякунанда бе душвори аз он мегузаранд.

Раванди коррозияшавии ҳулаҳои синтезкардари дар муҳитҳои гуногуни моеъгӣ бо усули патенсодинамикӣ, дар маҳлули электролити 3,0%-и NaCl ва оби баҳри сунӣ, ки таркибаш г/л: NaCl-2,8 [8]; MgSO₄-3,4; NaHCO₃-0.2 омӯхта шудааст [82].

1.5. Хулоса оиди баррасии адабиёт ва гузоштани масъалаи тадқиқот

Аз рӯйи маълумоти оморӣ, дар рӯйхати ҳулаҳои муҳими саноатӣ ҳулаҳо дар асоси алюминий баъд аз ҳулаи пӯлод ҷойгир ҳастанд. Сабаби ин, хосиятҳои хуби метали алюминий мебошад, ки инҳо: ба коррозия устувор будан, сабукӣ ё ин ки зичии паст, хосиятҳои хуби гузаронидани ҷараён гармӣ ва дигарон. Ҳамчунин бояд қайд кунем, ки алюминий дар қабатҳои замин пахноии зиёд дошта аз ин сабаб гаронбаҳо нест ва дар Тоҷикистон низ заводи алюминбарории ТАЛКО мавҷуд аст, ки ҳаҷми калони ин металиро ҳар сол ба хориҷа мебарорад. Бинобар ин, масъалаи ҳосил кардани ҳулаҳои навҳои нав, ки барои соҳаҳои гуногуни саноати кишвар метавонад истифода шавад, масъалаи мубрам ба ҳисоб меравад.

Дар соҳаҳои гуногун саноат истифодаи алюминий бо ҳулаи он сол то сол зиёд шуда таваҷҷуҳи муҳақиқон аз ин рӯ бо ҳулаи алюминий меафзояд. Таҳлили адабиёти мавҷудаи соҳаи маводшиносӣ ва манбаҳои илмӣ аз шабакаи интернет оиди омӯзиши таъсири иловаи Li, K ва Na ба хосиятҳои гуногуни физикию химиявӣ ва механикии ҳулаҳои алюминийи AlCu_{4.5}Mg₁ ягон ғоида наовард, ва ягон маълумоти аниқ оиди гузаронидани чунин таҳқиқотҳо ёфт нашуд.

Дар чунин ҳолат омӯзиши таҷрибавии хосиятҳои физикавӣ химиявӣ ҳулаи алюминийи AlCu_{4.5}Mg₁ бо литий, натрий ва калий дар мадди аввал меистад.

Пас аз таҳлили адабиёт, таҳлили хулосаҳои асосӣ дар бораи гармиғунҷоии ҳулаҳои алюминӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии онҳо, чунин хулосаҳо бароварда метавонем:

- гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаҳои алюминий бо Li, K, Na вобаста аз консентрасия ва ҳарорат омӯхта нашудаанд;

- дар адабиёт оиди истифодаи ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий, натрий ва калий ҷавҳаронида шудааст, маълумот мавҷуд нест;

Дар адабиёти илмию-техникӣ айна ҳол оиди ба рафтори электрохимиявии зангзанӣ ё механизми раванди зангзании ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий, натрий ва калий, дар муҳити электролити 0.03%, 0.3%, 3.0% NaCl, маълумот вучуд надорад.

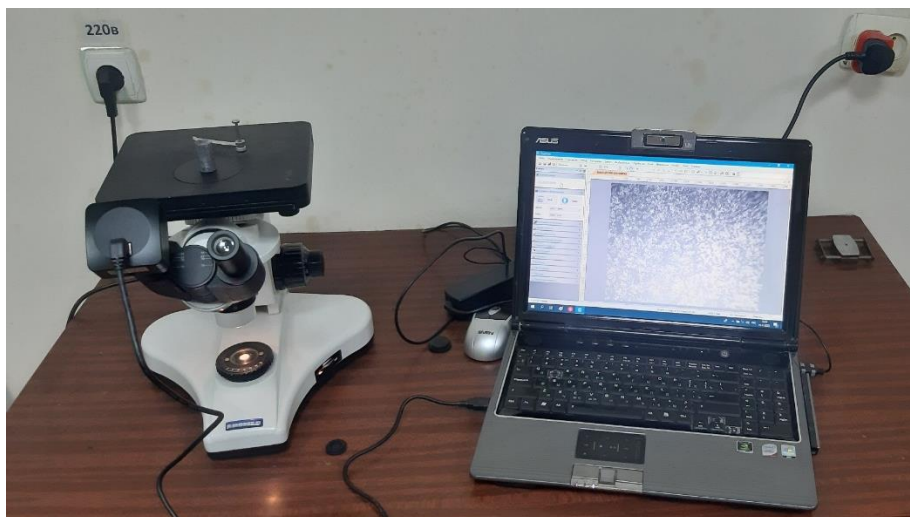
Ҳамаи гуфтаҳои дар боло овардари ба назар гирифта, ба хулосае омадан мумкин аст, ки омӯзиши кинетикаи баландҳарорати оксидшавӣ, гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ, рафтори электрохимиявӣ ва дигар хосиятҳои ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои металлҳои K, Li, Na, ки дар соҳаҳои гуногуни саноати Тоҷикистон, аз ҷумла мошинасозӣ ва асбоббарорӣ метавонад истифода шавад, мақсади муҳим ва ғайрибаҳал буда, хусусияти бунёдӣ ва амалӣ дорад.

БОБИ II. ТАДҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ, ТЕПЛОФИЗИКӢ ВА ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИЙИ AlCu_{4,5}Mg₁ НАВӢИ ДЮРАЛЮМИНӢ БО ЛИТИЙ, НАТРИЙ ВА КАЛИЙ

2.1. Дастгоҳҳо ва усулҳои омӯзиши хосиятҳои механикӣ ва теплофизикии металлҳо

Хосиятҳои маводҳои металли на фақат аз хосияти атоми ҳар як элементи дар таркиб буда ва дигар маҳсулотҳои қисмии ин мавод, ки дар умум системаи маводро ташкил мекунанд, балки аз тарзи ҷойгиршавӣ ва андозаи онҳо вобаста аст. Яъне, ба ташаккулёбии хосиятҳои асосии маводҳо на фақат таркиби химиявии он, балки сохтори онҳо низ нақши калиди дорад. Бо ҳамин сабаб, ба омӯзиши сохтори маводҳо аҳмияти зиёд додан зарур аст.

Яке аз факторҳое, ки барои хосиятҳои маводҳо таъсири калон дорад, ин микроструктура мебошад. Бо омӯзиши микроструктура мо метавонем муайян кунем ки кадом хӯла чи намуди сохтор ва ҷойгиршавии фазаҳо дар фазо, андозаи заррачаҳо, намуди фазаҳо ва дигар нишондиҳандаҳоро дорад. Бо муқоисаи микроструктураи хӯлаи ибтидоӣ ва хӯлаҳои синтезшуда мо метавонем бинем ки кадом илова чи таъсир ба сохтори дохилии хӯла таъсир мерасонад. Масалан баъзе иловаҳо ҳангоми дохил кардан ба хӯлаи асосӣ, заррачаҳои онро майда мекунанд, ки ин ба хосиятҳои механикӣ таъсири худро мерасонад. Дар расми 2.1. дастгоҳ барои омӯзиши микроструктураи хӯлаҳо оварда шудааст. Бо истифода аз ин дастгоҳ, мо микроструктураи ҳамаи хӯлаҳои ҳосилшударо омӯхта таҳлил ва хулосабарорӣ кардем.



Расми 2.1 - Микроскопи БИОМЕД-1 (Украина)

Тайёр намудани микрософта барои таҳқиқоти микроструктура аслан аз минтақаи муайяни омӯхташуда буридани намуна оғоз меёбад. Ин минтақа аз рӯи ҳадафи омӯзиш таркиш дар мавод ё наздиктар ба шикастан муайян карда мешавад. Хусусан, барои омода кардани микрософтаҳо аз буриши намунаҳои цилиндрӣ бо мураббаъи 10-20мм ва баланди 10-30мм истифода мекунам.

Сахтӣ – ин қобилияти металлҳо ва ҳулаҳо муқовимат ба шикастан ва деформатсия ҳангоми таъсир ва фишор бо унсурҳои сахтиаш баландтар мебошад. Сахтӣ ба қобилияти истифодаи металл дар муҳит ва шароити гуногун ва интихоби усули коркарди он таъсир мерасонад. Санҷиши сахтии маводҳо бо усули паҳш кардани саққои пӯлод ё пирамидаи алмосӣ ба сатҳи болоии намунаҳои озмоишшаванда гузаронида мешавад. Дар соҳаи маводшиносӣ, таҳқиқоти сахтӣ нисбат ба санҷиши дигар хосиятҳои механикӣ ба мисли ёзиш, мустаҳкамӣ, чандирӣ ва ғайра, бисёртар гузаронида мешаванд.

Аз рӯи усули Бринелл (ГОСТ 9012 - 59) сахтӣ тавасути зер кардани кураи пӯлодии муайяни диаметри D (2,5; 5; 10 мм) ба монанди озмоишӣ таҳти муқовимати сарбории додашудаи F дар вақти муайян чен карда мешавад, дар расми 2.2. оварда шудааст.

Аз рӯи Бринелл сахтӣ бо HB, дар инҷо ҳарфи H калимаи ибтидоии Hardness-сахтӣ; ҳарфи B номи усули ибтидоии муайянкунии Brinell-сахтӣ нишон

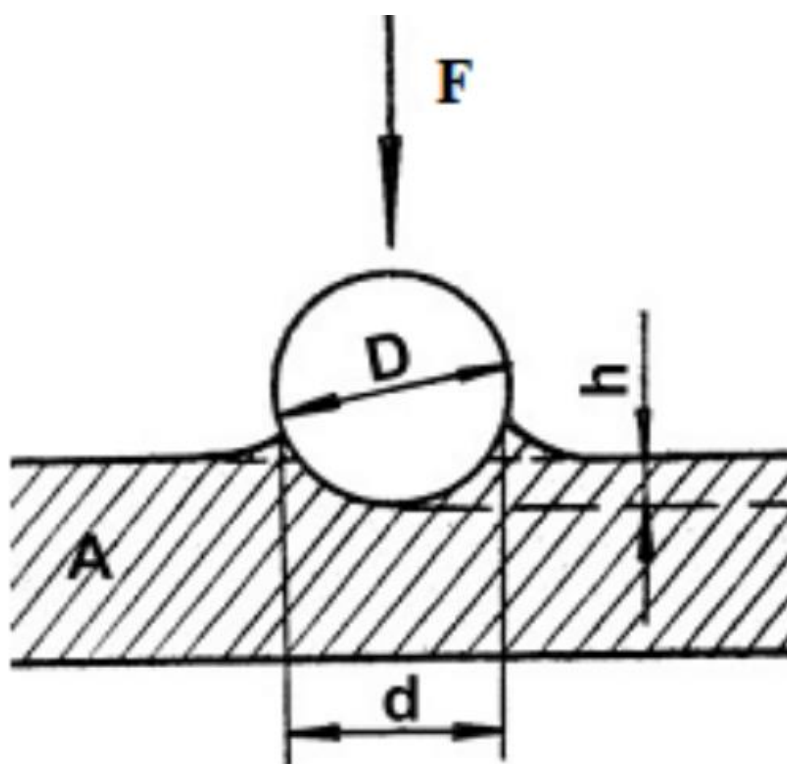
дода шудааст. Дар таносуби F ба майдони сатҳи сарбории нишонаи S кура ифода карда шуда, ки бо системаи СИ дар $\text{кг} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$ ё МПа ҳисоб карда мешавад:

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

Аз рӯйи формулаи дар зер овардашуда, сахтӣ бо воситаи диаметри кура ҳарфи D ва диаметри нишона ҳарфи d ифода гардида ҳисоб карда мешавад:

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

Омӯзиши сахтии хӯлаҳои ҳосилкардашуда бо усули Бринелл, ки ҳамчун усули анъанавӣ дар ин самт ба ҳисоб меравад, бо истифода аз дастгоҳи сахтисанҷи ТШ-2 гузаронида шуд. Расми ин дастгоҳ дар расми 2.3. оварда шудааст. Ғафсии намунаҳои таҳқиқшуда 10 мм буда, диаметри онҳо ба 16 баробар буд [83].



Расми 2.2. - Нақшаи раванди санҷиши сахтии намунаҳо



Расми 2.3. - Дастгоҳи сахтисанҷии тамғаи ТШ-2

Назарияи усул ва нақшаи дастгоҳ барои тадқиқоти гармиғунҷоиши ҳўлаҳо. Гармиғунҷоиш яке аз хосиятҳои муҳими металлҳои сохторӣ ба ҳисоб рафта, донишмандон онро ба назар гирифта, ҳангоми сохтани ҷузъҳо, асбобҳо ва конструкцияҳо шарт ва зарур аст. Барои ҳисоб кардани гармиғунҷоиш роҳҳои бисёр мавҷуданд, мо бошад дар рафти ин кор усулро интихоб кардем, ки асоси он муқоиса кардани қатъҳои хунуккушавии намунаҳо ва эталон мебошад.

Таҳқиқи намуна аз гармкунии он то ба ҳарорати аз ҳарорати мӯътадил яъне муҳити атроф баландтар сар шуда, баъди расидан ба ин ҳарорат, намунаҳоро бе ягон таъсири беруна, бо роҳи табиӣ хунук кардан анҷом меёбад. Дар рафти хунуккунии табиӣ намунаҳое, ки аз якҷанд намуди металлҳо иборатанд, дар шароитҳои якхела, суръати хунуккунии онҳо мутаносиби баръакс аст ба гармиғунҷоиши онҳо ва гармии кристаллизатсияшавиашон мутаносиб ба вақти кристаллизатсия мебошад. Барои калибронӣ кардан ва гузаштан ба қиматҳои ҳақиқии гармии гудохташавӣ ва ё гармиғунҷоиш, аз намунаи эталоне, ки

гармиғунҷоиши маълум дорад, истифода бурда мешавад. Суръати хунукшавии намуна пеш аз ҳама вобаста аст аз гармиғунҷоиши маводи он. Гармиғунҷоиши намунаи таҳқиқшавандаро бо роҳи муқоисакунии термограммаи он бо термограммаи намунаи эталоние, ки гармиғунҷоишаш маълум аст, муайян карда мешавад [84].

Миқдори гармии талаф ёфта аз ҳаҷми элементарии намуна dV дар давоми $d\tau$ баробар аст ба [85, 86].:

$$\delta Q = C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV, \quad (2.3)$$

ρ - зичи; c – гармиғунҷоиши хос; T - ҳарорати намуна.

Қимати dQ -ро ҳамчунин аз қонуни Нютон-Рихман истифода каржа, муайян созем:

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

α - коэффисиенти гармигузаронӣ; T_0 - ҳарорати муҳит; dS - сатҳи элементӣ.

Дар асоси формулаҳои (2.3) ва (2.4) дигар формула ҳосил менамоем:

$$C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \quad (2.5)$$

Миқдори гармие, ки аз сатҳи умумии намуна талаф карда мешавад, чунин ҳисоб кардан мумкин аст:

$$Q = \int_V C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = \int_S \alpha(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \quad (2.6)$$

Агар гӯем, ки $dT/d\tau$, c ва ρ аз координатаҳои нуқтаҳои ҳаҷм вобаста нестанд ва α , T , T_0 - аз координатаҳои нуқтаҳои сатҳи намуна, баъд метавоем бо чунин шакл нависем:

$$C_P^0 \cdot p \cdot V \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S \cdot d\tau, \quad (2.7)$$

ин ҷо: S - масоҳати сатҳи намуна; V - ҳаҷми он.

Муодилаи (2.7) барои 2 намунаи як шаклу андоза, вале аз металлҳои дигар ($V_1 = V_2$, $S_1 = S_2$, $T_1 = T_2$) менависем. Дар ин ҳол арзиши коэффисиентҳои гармигузаронии ҳардуяшон баробар мебароянд $\alpha_1 = \alpha_2$.

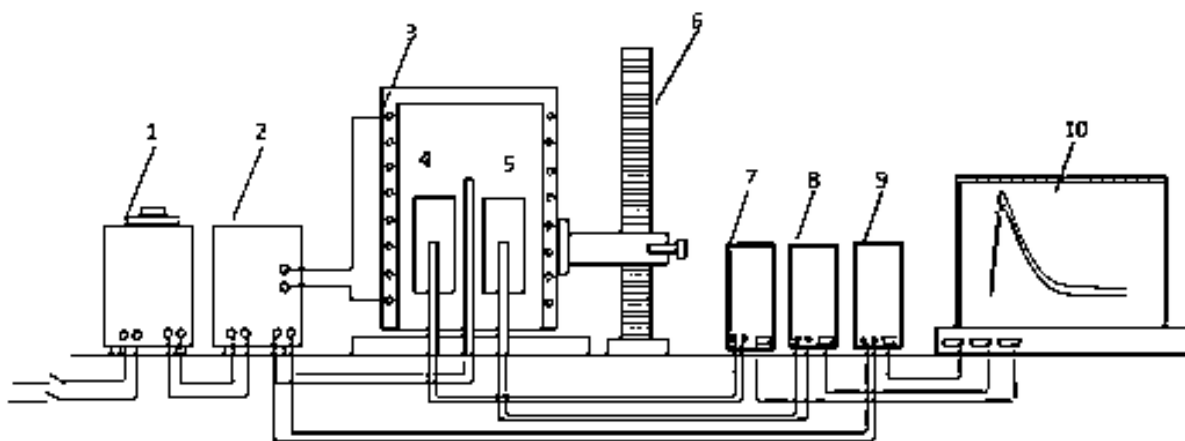
Бо роҳи тақсим кардани як ифода ба дигар ва гузаронидани табдилдиҳии оддӣ, муодилаи шакли зеринро ба даст меорем:

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

ин ҷо: $m_1 = \rho_1 \cdot V_1$, $m_2 = \rho_2 \cdot V_2$ - массаҳои намунаҳои 1 ва 2, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ - суръати хунукшавии онҳо, c_2 - гармиғунҷоишӣ эталон [87].

Тибқи усули дар [88-96] тавсифшуда, омӯзиши хосиятҳои гармофизикӣ ва тағйирёбии гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои Li, Na, K ҷавҳаронида шудааст, гузаронида шуд. Дар расми 2.4 нақшаи дастгоҳе, ки муайян кардани гармиғунҷоиши хоси металлҳоро нишон медиҳад, гузаронида шуд. Дастгоҳ махсус барои ченкунии ҷисмҳои сахтӣ гармиғунҷоиши ҳарорати баланд аз ҷузъҳои зерин иборат аст: қӯраи барқии (3), ки дорои пояи (6) маҳкам карда шудааст, ба боло ва поён ҳаракат карда метавонад. Намуна (4) ва эталон (5) (ки ҷой иваз карда метавонанд) намунаҳои силиндрӣ бо каналҳои пармашуда, ки термопарҳо дар як канори онҳо ҷойгир ҳаст, дарозияш 30 мм ва диаметраш 16 мм мебошад. Ба сӯрохии як нӯги намуна термопараҳо гузошта шудааст, ки ба ҳароратсанҷҳои рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 ва 9) васл шудаанд.

Печи барқӣ бо ёрии автотрансформатор (1) ба кор сар дода, ҳарорати даркорӣ бо ёрии танзимкунандаи ҳарорат (2) муқарар карда мешавад. Мувофиқи нишондоди ҳароратсанҷи рақамӣ, қимати ҳарорати саршавӣ сабт мешавад. Эталон ва намунаро ба дохили электропеч ворид намуда, то ҳарорати зарурӣ гарм карда, назорати ҳароратро бо нишондоди термометри рақамии бо компютер пайваст (10), иҷро мекунем. Баъди гузаштани вақти муайян, эталон ва намунаи санҷишшавандаро дар як вақт берун оварда, тағйироти ҳароратро мунтазам сар мекунем. Нишондоди ҳароратсанҷи рақамии бо компютер пайвастро ҳар 10 сония сабт мекунем. Сабти ҳарорат то ба 35°C баробаршавии нишондоди ҳароратсанҷ давом мекунад.



Расми 2.4. - Расми схематикии дастгоҳ барои санҷиши гармиғунҷоиш

Пеш аз гузаронидани таҳқиқот, барои муайян кардани ҳатогӣ ҳангоми ченкунӣ, гармиғунҷоиши миси тамғаи M00 нисбати алюминийи A7 ва ҳамчунин гармиғунҷоиши алюминий нисбати мис муайян карда шуд. Дар ҷадвали 2.1, 2.2 натиҷаи се санҷиши параллелӣ оварда шудааст. Муайян шуд, ки эҳтимолияти ҳатогӣ барои ченкунии гармиғунҷоиши миси тамғаи M00 аз 1.5 % зиёд нест. Барои ҳамин ҳам ҳамчун маводи эталонӣ хӯлаи мисии тамғаи M00 интихоб шуд. Бисёр муалифон [97-101] муайян карданд, ки бо усули гуногуни параллелӣ миси тамғаи M00 метали боэтимодтар буда, қимати боэтимоди гармиғунҷоиш ва нуқтаи ғудохташавии баландро доро мебошад.

Ҷадвали 2.1. - Суръати хунуккунии ($dT/d\tau$, K/c) қиматҳои таҷрибавӣ барои намунаҳои аз Cu тамғаи M00 ва эталони Al тамғаи A7

T, K	Cu тамғаи M00			Эталон (Al тамғаи A7)		
	Ченкунии якум	Ченкунии дуюм	Ченкунии сеюм	Ченкунии якум	Ченкунии дуюм	Ченкунии сеюм
300	0.028966	0.00631	-0.014130	0.5910	$3.4537 \cdot 10^{-6}$	-0.0441
400	0.223643	0.07283	0.111667	0.8816	0.000130250	-0.0123
500	0.393824	0.18520	0.218324	0.9974	0.000275454	0.0261
600	0.544435	0.34435	0.305211	1.0032	0.000443714	0.0895
700	0.680402	0.55127	0.371710	0.9638	0.000639681	0.1957
800	0.806651	0.80691	0.417203	0.9440	0.000868004	0.3627

Ҷадвали 2.2 - Гармиғунҷоиши (кҶ/(кг·К)) миси тамғаи М00 ва эталонӣ
(Al тамғаи А7)

Т, К	Cu тамғаи М00 бо маълумоти [44]	Cu тамғаи М00			Эталон (Al тамғаи А7) бо маълумоти [44]
		Ченкунии якум	Ченкунии дуум	Ченкунии сеюм	
300	0,3851	0,3758	0,3698	0,3677	0,9031
400	0,3976	0,3882	0,3821	0,3801	0,9471
500	0,4081	0,3983	0,3918	0,3898	0,9878
600	0,4168	0,4071	0,4003	0,3983	1,0305
700	0,4250	0,4150	0,4082	0,4063	1,0802
800	0,4335	0,4283	0,4168	0,4145	1,1432

Ҳангоми муқоисаи арзишҳои таҷрибавии ҳосилнамудаи гармиғунҷоиши мис нисбат ба алюминийи тамғаи А7 дида шуд, ки ин арзишҳо тақрибан 99% бо маълумоти дар адабиёт мавҷуд буда якхелаанд [44].

Усулҳои истеҳсоли ҳулаҳо. Ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминӣ мувофиқи ГОСТ 4784-97 бо истифода аз печи лаборатории шахтагӣ зерӣ ҳароратҳои 750 - 800 °С ҳосил карда шуд. Бо ин мақсад ҳулаи алюминийи А7 (99,97 % Al), миси тамғаи М1к (99,95 % Cu) ГОСТ 859-2014, магний Mg90 (99,9 % Mg) ГОСТ 804 – 93, литий тамғаи ЛЭ-1 (99,9% Li) ГОСТ 8774-75, калий тамғаи КМ (98,0 К) ГОСТ 10588-75 ва натрий металлӣ (99,8% Na) ГОСТ 3273-75 гирифта бо навбати махсус гудохта ҳамроҳ карда шуд. Дар ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 миқдори литий, натрий ва калий 0,05-1,0 % вазн мавҷуд мебошанд. Бо мақсади гузаронидани таҷрибаҳо аз ҳулаҳои ҳосилшуда намунаҳои шакл ва андозаашон муайян (Ø16мм, дарозӣ-30мм) гирифта шуданд. Назорати таркиб ва миқдори элементҳо дар ҳулаи ҳосилшуда, бо роҳи баркашидани ашъёҳо ва ҳулаҳо ба роҳ монда мешавад.

Ҳангоми ба назар расидани хатогӣ ва фарқ кардани массаҳо аз 2% зиёд, амалиёти ҳосилкунии хӯла такроран гузаронида мешавад [98-101].

Барои истифодаи васеи хӯлаҳо дар асоси алюминий аз қабili дюралюминий дар соҳаҳои гуногуни саноат аз ҷумла дар мошинсозӣ, барои хубтар ва беҳтар намудани нишондиҳандаҳои механикӣ ва физико-химиявии ин хӯлаҳо, корҳои илмӣ зиёд рафта истодаанд.

Бинобар он, ки ҳангоми омӯзишҳо дар адабиёт ва маводҳои илмӣ ягон маълумот дар бораи илова кардани металлҳои ишқорӣ ва таъсири онҳо, дида нашуд, мо ба нақша гирифтем ки ин масъаларо ҳамчун объекти омӯзиши қарор дода, таъсири металлҳои Li, Na ва K ба хосиятҳои хосиятҳои гуногуни хӯлаи ибтидоӣ, яъне хӯла дар асоси алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ муайян кунем [102-104].

Пеш аз он, ки ин навъи хӯлаҳо дар саноат ҳамчун маводи конструксионӣ истифода карда шаванд, бояд ҳамаи хосиятҳои он ва хусусан рафтори хӯла зери ҳароратҳои баланд чуқур омӯхта шаванд ва аниқ маълум бошанд. Ҳангоми кофтукоби адабиётҳо, мутаассифона, маълумот дар бораи хосиятҳои гармофизикии хӯлаи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои Li, Na ва K, ва тағйирёбии онҳо аз баланд ё паст шудани ҳарорат, дида нашуданд.

Ин қисми диссертатсия ба омӯзиш ва муайян кардани таъсири Li, Na ва K ба хосиятҳои механикӣ, микроструктура, ҳамчунин вобастагҳои ҳароратии хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикӣ бахшида шудааст. Чунин маълумотҳо саҳифаҳои маълумотномаҳои дахлдорро пурра намуда, ҳангоми интиҳоби маводи конструксионӣ аз хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ навъи дюралюминий сохташуда маълумоти арзишманд мебошад.

2.2. Таъсири иловаҳои литий, натрий ва калий ба микроструктура ва хосиятҳои механикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ навъи дюралюминӣ

Омӯзиши металл ва хӯла аз омӯзиши микроструктураи он сар мешавад. Бе муайян кардани микроструктура, муайянкунии хосиятҳо ва хулосабарорӣ оиди

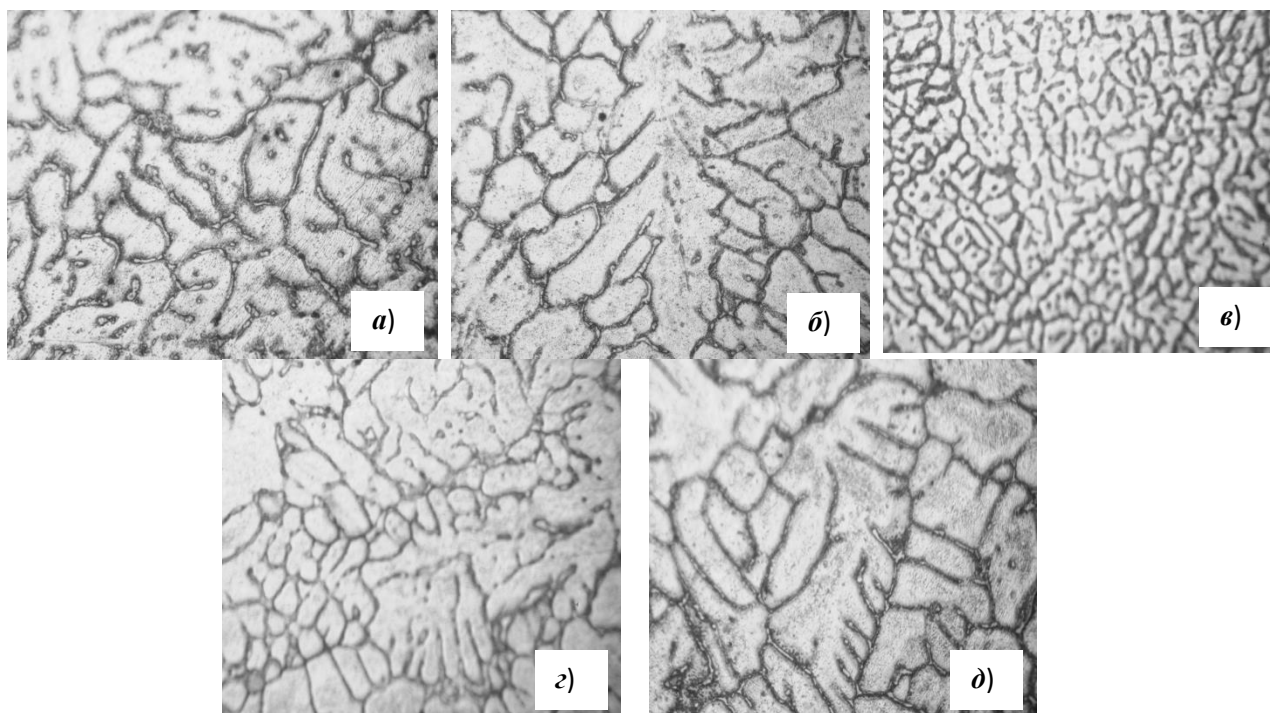
ивазшавии хосиятҳо зери таъсири иловаҳо гузаронида намешавад. Омӯзиши микроструктура имкон медиҳад, ки оиди таъсири ҳар як намуди коркард ё иловаҳо дар алоҳидаги хулосабарорӣ кунем. Масалан, оиди таъсири ҳарорати баланд, хунуккунии муқаррарӣ ва хунуккунии тез, миқдори илова ва таъсири он ба андозаи заррачаҳои микроструктура ва ғайра. Ҳамчунин бо роҳи таҳқиқи микроструктура метавонем оиди пайдоиши нуқсонҳо маълумот пайдо кунем. Бо роҳи омӯзиши таҷрибавӣ дарозии сарҳади байни минтақаи гомогенӣ ва гетерогениро маълум карда, ҳамчунин бинем ки ҳангоми баландшавии ҳарорат, миқдор ва шумораи иловаҳо кадом интерметаллидҳо ва дар кадом шакл пайдо мешаванд [105].

Омӯзиши микроструктура бо намунаҳое иҷро мешавад, ки шакли силиндрӣ дошта, дарозии 20 мм ва диаметри 15 мм-ро доранд. Пеш аз санҷиш ҳар як намунаро сайқал дода бе рағван намуда бо спирт шуста дар реагенти таъиноти умумӣ 0,5% маҳлули обии HF аз 30 то 50 сония меғўтонем.

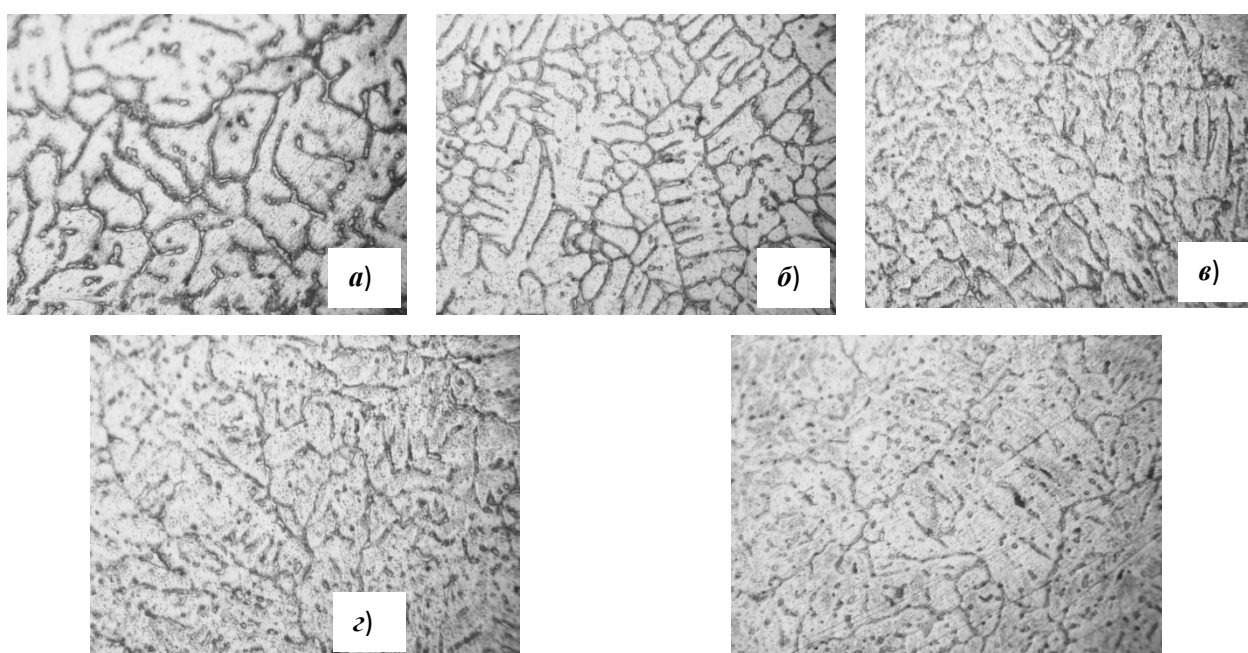
Маводи тадқиқотӣ хӯлаи алюминийи рехташудаи саноатӣ буда, таркибаш % вазн: Cu-4,5 ва Mg-1,2; боқимондааш Al мебошад. Барои омӯхтани таъсири иловаҳои литий, натрий ва калий ба микроструктураи хӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ навъи дюралюминий як қатор хӯлаҳо бо металлҳои ишқорӣ дар ҳудуди 0,05-1,0 % вазн ҳосил карда шуданд.

Баъд аз тезобкунӣ, сатҳи лавҳачаи суфташударо зери оби муқаррарии равон тоза кардем ва баъди ин бо ёрии қоғази филтркунанда сатҳи зарураро хушк намудем.

Хӯлаи дюралюмини AlCu_{4,5}Mg₁, ки бо металлҳои Li, Na ва K ҷавҳаронида шудааст, ин маҳлули саҳт буда, ҳамчунин қисмҳои алоҳидаи эвтектикиро дорад. Ҳаҷм ва андозаи эвтектика аз миқдори метали иловакардашуда вобаста аст. Ҳангоми миқдори иловаҳои метали кам будан, микросохтори хӯла калонзарра мебошад. Бо афзудани миқдори метали иловагӣ, хурдшавии заррачаҳои микроструктура ба назар расида, микроструктура ҳамвори якхела ва хурдзарра мешавад, ки дар расмҳои 2.5.-2.7. оварда шудааст.

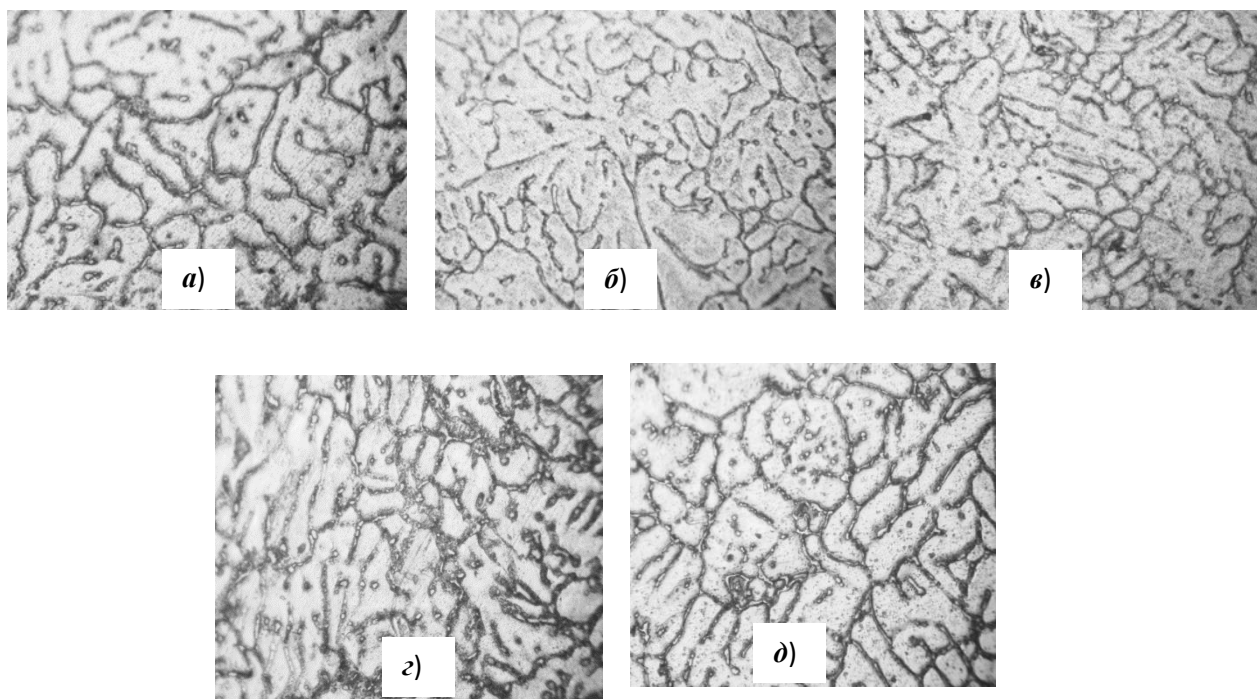


Расми 2.5. - Микроструктураи (х500) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ (а), миқдори литий, % вазн: 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0 (д).



Расми 2.6. - Микроструктураи (х500) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ, бо миқдори натрий, % вазн: 0,0(а); 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0 (д)

д)



Расми 2.7. - Микроструктураи (х500) хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ бо миқдори калий, % вазн : 0,0(а); 0,05(б); 0,1(с); 0,5 (г); 1,0 (д).

Муқаррар кардем, ки иловаҳои Li, K ва Na то ба миқдори 1,0 % вазн сохтори хӯлаҳои алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ ба таври назаррас микроструктураро тақмил дода он якхелла ва андозаи заррачаҳояшонро хеле хурд мекунад. Дар расми 2.7. нишон дода шудааст, ки иловаи калий назар ба дигар металлҳои ишқорӣ, ба микроструктура таъсири калонтарро дорад.

Дар вақти ҳосил кардани хӯла ва умуман маводҳои нав, ба хосиятҳои механикии он диққати ҷиддӣ дода мешавад. Яке аз муҳимтарин хосияти механикӣ – ин сахтӣ мебошад. Муҳимияти омӯзиши сахти дар он аст, ки дар вақти маълум будани ин бузургӣ, мо метавонем оиди дигар хосиятҳои механикии хӯлаҳо хулосабарорӣ кунем.

Омӯзиши сахтии ҷисмҳо бо воситаи асбоби сахтисанҷи тамғаи ТШ-2М бо бори вазнаш $P = 250$ кг ва қураи диаметраш $D = 10$ мм гузаронида шуд. Барои ин омӯзишҳо як қатор намунаҳо бо андозаҳои зарури (диаметр 16 мм ва ғафси 6 мм) ҳосил карда шуданд. Гуфтан зарур аст, ки бо роҳи санҷидани сахтӣ бо усули Бренелл, мо метавонем мустақамии намунаҳоро низ бо

воситаи ҳисобӣ маълум кунем. Барои ин бо чунин формула истифода карда мешавад:

$$\sigma_B = k \cdot HB \quad (\text{МПа})$$

Арзиши “к” мувофиқи маълумотҳо дар адабиёт ба 0,35 баробар мебошад. Инро ба назар гирифта қимат σ_B такроран ҳисоб карда шуданд. Натиҷаҳои ба дастмада дар ҷадвали 2.3. пешниҳод шудаанд. Чи тавре дида мешавад, ҳангоми илова кардани литий, натрий ва калий то 1,0 % вазн сахтӣ ва устувории ҳӯлаи ибтидоӣ кам мешавад.

Аз ҷадвали 2.3. хулоса кардан мумкин аст, ки иловаи металлҳои ишқорӣ (Li, Na, K) ба миқдорҳои гуногун то 1.0 % вазн арзиши сахтӣ ва устувории ҳӯлаҳоро коҳиш медиҳад. Иловае, ки сахтии ҳӯлаҳоро бисёртар коҳиш медиҳад, ин иловаи натрий мебошад. Яъне илова кардани метали натрий мақсаднок ҳисобида намешавад.

Ҷадвали 2.3. - Сахтӣ ва устувории ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи дюралюминӣ, бо литий, натрий ва калий ҷавҳаронидашуда

Миқдори литий, натрий ва калий дар ҳӯла, % вазн	*Сахтӣ HB, кг*қ/мм²	*Сахтӣ HB, МПа	Мустаҳкамии ҳисобӣ, МПа
0.0	22.85	224.17	15.71
0.05 Li	21.86	214.46	15.00
0.1 Li	19.42	190.53	13.32
0.5 Li	17.71	173.76	12.13
1.0 Li	16.28	159.74	11.17
0.05 Na	22.35	219.26	15.33
0.1 Na	20.93	205.34	14.36
0.5 Na	18.45	181.02	12.66
1.0 Na	17.53	172.00	12.03
0.05 K	22.11	216.91	15.17
0.1 K	20.26	198.71	13.90
0.5 K	18.01	176.50	12.34
1.0 K	16.85	165.33	11.56

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

2.3. Таъсири иловаҳои литий ба гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ [106]

Тараққиёти илм ва техникаи муосир ҳамаи талабҳои рузафзунро оид ба дараҷа, сифат ва хосиятҳои гуногуни маҳсулотҳои аз металлҳои ранга тайёршаванда пешниҳод менамояд. Бо ҳамин сабаб масъалаи коркард ва ҳосилкунии хӯлаҳои нав, ки дорои бартариятҳо нисбат ба хӯлаҳои мавҷуда мебошанд, масъалаи мубрам ба ҳисоб мераванд. Масъалаҳои асосие, ки зеринигоҳи олимон қарор гирифтаанд, ин баланд бардоштани хосиятҳои механикии хӯлаҳо, хусусан зиёд кардани сахтӣ ва мустаҳкамӣ бо нигоҳ доштани сабукии он, баланд бардоштани устуворӣ ба коррозия дар муҳитҳои гуногуни саноатӣ ва яққатор дигар хосиятҳо, ки барои соҳаи саноат хеле ва хеле муҳим мебошанд [106].

Вобастагии аз ҳарорат дар хусусиятҳои теплофизикии хӯлаҳои алюминий ба монанди гармиғунҷоиш, гармигузаронӣ, зичӣ, васеъшавии ҳаттӣ, ҳароратгузаронӣ муҳимтарин хосиятҳои физикӣ мебошад, ки чи хел хосиятҳои худро нигоҳ доштани ин мавод зерини таъсиротҳои гуногуни муҳит, муайян мекунанд. Боиси таассуф аст, ки маълумотҳои зерин ҳатто барои компонентҳои ин хӯлаҳо дар шакли пурра дида намешавад ва он маълумоте, ки дар адабиётҳо дарёфт кардем нопурра буда, баъзан ба якдигар муқобилмаъно ҳастанд. Хулоса, маълумоти кофӣ зарура пайдо нашуд, ки мо тавонем алоқамандии хосиятҳои термодинамикӣ бо гармиғунҷоиши хос, зичӣ ва коэффисиенти ҳароратгузарониро таҳлил созем [106].

Аз нуқтаи назари амалӣ бинем, маълумот оиди хосиятҳои хӯлаҳо барои истифодаи техникаи баландҳарорат муҳим аст. Бе донишҳои ин хосиятҳо мо наметавонем, ки дастгоҳҳо, қисмҳои конструксионии авиатсионӣ, кайҳоннавардӣ, энергетикаи атомӣ сохта онро муваффақона истифода кунем.

Гармиғунҷоиш яке аз хосиятҳои муҳими физикавии маводҳо ба ҳисоб меравад. Ин бузургӣ қобилияти фурӯ бурдан ва берун кардани гармӣ ҳангоми гарм карданро мефаҳмонад. Донишҳои ин бузургӣ, ба мо имконият

медиҳад, ки то миқдори гармии сарфшаванда барои то ҳарорати даркори гарм кардани ҷисмро аниқ кунем. Омӯзиши хосиятҳои теплофизикӣ ва ҳароратҳои баланд имкон медиҳад, ки дар ин асос мавоҳҳои нави композитсионӣ ва ҳўлаҳои дорои хосиятҳои куллан нав ҳосил кунем. Барои ҳамин, омӯзиши тағйирёбии хосиятҳои ин ҳўла аз ҳарорат ва миқдори иловаҳо асоси ҳам илми ва ҳам амали дорад [106].

Ин қисми диссертатсия бахшида шудааст ба муайянкунии тағйирёбии гармиғунҷоиши хос аз ҳарорат ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии ҳўлаҳои алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li дар реҷаи «хунукшавӣ» зери ҳароратҳои 300–800 К оварда шудаанд.

Муайянкунии суръати хунукшавӣ бо роҳи сохтани қатъаҳои хунуккунии намунаҳои тадқиқшаванда гузаронида мешавад. Қатъаҳои хунукшавӣ вобастагии ҳарорати намунаро аз гузашти вақт дар вақти гузаронидани “хунуккунӣ” дар ҳавои ором нишон медиҳанд. Дар расми 2.10. хатҳои хунукшавии намунаҳо аз ҳўлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи метали Li , ки бо роҳи таҷриба ҳосил карда шудаанд, нишон дода шудааст. Ҳарорат дар вақти ин таҷриба ҳар 10 сония сабт карда шуд. Ҷенкунии ҳарорат бошад бо қадами 0,1 К гузаронида шуд. Эҳтимолияти хатогии ҷенкунии ҳарорат дар ҳароратҳои 298,15 - 673 К $\pm 1\%$ -ро дар бар гирифта, аз 673 К болотар қиммати $\pm 2,5\%$ -ро дорад. Эҳтимолияти рӯй додани ноаниқии ҷенкунии гармиғунҷоиши хос то 4 % буда, дар ҳолати таҳқиқотҳои мо бошад, на зиёда аз 1%-ро ташкил дод. Натиҷаҳо дар шакли графикӣ, матнҳо ва ҳисобкуниҳо бо истифодаи техникаи компютерӣ ва махсусан барномаҳои бастаи MS Office коркард ва оварда шудаанд, ҳамчунин барномаи Sigma Plot 10.0 барои сохтани графикҳо хеле ёрирасон мебошад. Дар доираи ин қиматҳо коэффитсиенти коррелятсия на камтар аз 0,999 ташкил намуд [106-109].

Дар расми 2.8. қатъаҳои хунуккунии ҳосилшудаи ҳўлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий гирифта шудаанд, дар муодилаи намуди зерин навишта шудааст.

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (2.10)$$

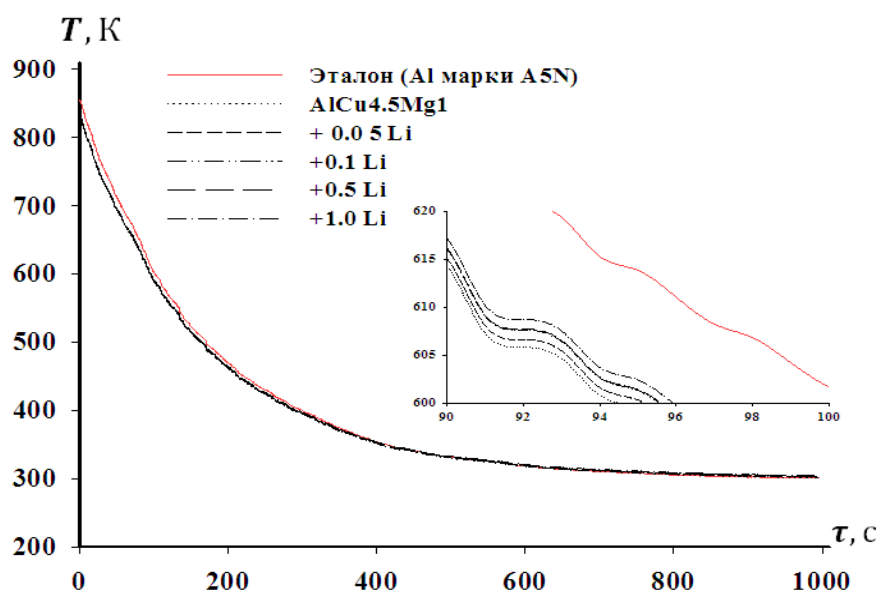
дар инҷо: a , b , p , k - доимиҳо, τ - давомнокии хунукшавӣ.

Суръати хунуккунии ҳӯлаҳоро аз муодилаи (2.10) нисбат ба τ дифференсиал гирифта, муодилаи шакли навро ба даст меорем:

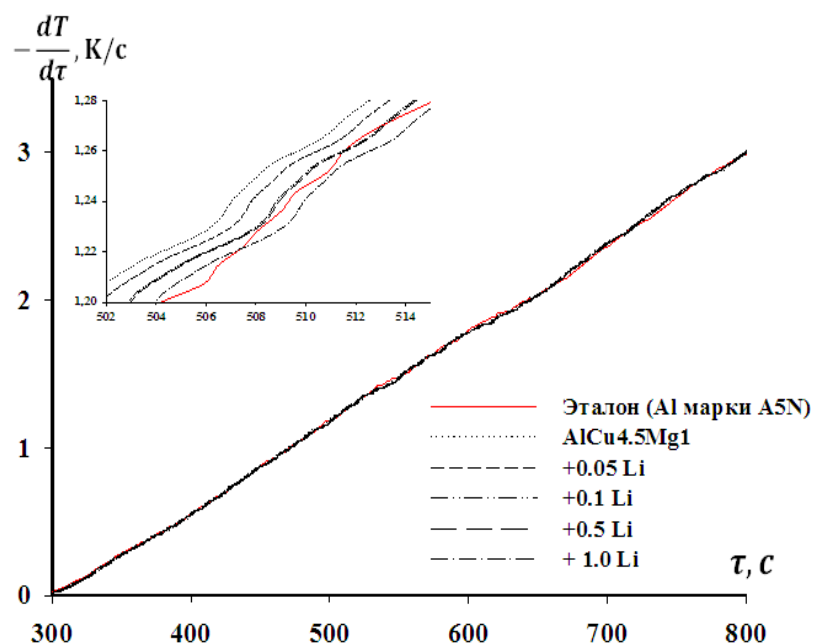
$$\frac{dT}{d\tau} = -a * b * e^{-b\tau} - pke^{-k\tau} \quad (2.11)$$

Ҷадвали 2.4. - Қиматҳои коэффисиентҳои a , b , p , k , ab , pk барои муодилаи 2.11 барои ҳӯлаҳо ва эталон

Микдори Li дар ҳӯла, % вазн	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, $с^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $с^{-1}$	$ab \cdot 10^{-6}$, $Кс^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}$, $Кс^{-1}$
0,0	517,43	0,61	312,89	0,45	3,17	1,41
0,05	517,43	0,61	313,69	0,45	3,17	1,41
0,1	517,43	0,61	314,69	0,45	3,17	1,41
0,5	517,43	0,61	314,79	0,45	3,17	1,41
1,0	517,436	0,61	315,79	0,45	3,17	1,41
Эталон	540,10	0,61	315,19	0,56	3,17	1,77



Расми 2.8. - Термограммаҳои ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий ва эталонӣ (Al тамғаи А5N)



Расми 2.9. - Қаҷхаттаи суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий ва эталон, аз ҳарорат

Арзишҳои коэффисиентҳои a , b , p , k , ab , pk , ки дар муодилаи (2.11) барои ҳисобкунӣ зарур аст, пурра дар ҷадвали 2.4 оварда шудааст. Дар расми 2.9. қаҷхатҳое тасвир шудаанд, ки вобастагии суръати хунукшавӣ аз ҳарорат барои намунаҳои хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо иловаи Li-ро нишон медиҳанд.

Пас аз ин, бо истифодаи қиматҳои ҳисобкардашудаи суръати хунукшавии намунаҳо бо муодилаи (2.8) вобастагии аз ҳарорат дар гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий ҷавҳаронида шудааст, ҳисоб карда шуд. Муодилаи умумии вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаҳо ва эталонӣ (Al тамғаи А5N) ҳосил карда мешавад:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (2.12)$$

Дар ҷадвали 2.5. арзишҳои коэффисиентҳои гармиғунҷоиш ва коэффисиентҳои a , b , c , d барои хӯлаи иловаҳои метали Li дошта, оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.5. - Қимати коэффисиентҳои a , b , c , d барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои Li ва эталон

Миқдори иловаи Li , % вазн	a , $^{\circ}C / (кг \cdot K)$	b , $^{\circ}C / (кг \cdot K^2)$	$c \cdot 10^{-3}$, $^{\circ}C / (кг \cdot K^3)$	$d \cdot 10^{-5}$, $^{\circ}C / (кг \cdot K^4)$	Коэффисиенти коррелясия R
0,0	676,61	0,97	-1,22	0,087	0.999
0,05	675,55	0,98	-1,22	0,087	0.999
0,1	675,68	0,98	-1,22	0,087	0.999
0,5	678,84	1,01	-1,22	0,087	0.999
1,0	680,89	1,06	-1,22	0,087	0.999
Эталон	690.35	1.01	-1,26	0.090	1

Дар ҷадвали 2.6. ва расми 2.10. арзишҳои ҳисобшудаи вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш барои хӯлаи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои Li ки бо муодилаҳои (2.8) ва (2.12) бо қадами 100 К гузаронида шуда аст, оварда шудаанд. Дар асоси ин қимаатҳо метавонем тасдиқ кунем, ки бо зиёдшавии ҳарорат ва миқдори иловаи Li гармиғунҷоиши хӯлаҳо меафзояд.

Ҷадвали 2.6. - Гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаҳо дар асоси $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои Li ва эталон ва вобастагии ин бузургҳо аз тағйирёбии ҳарорат

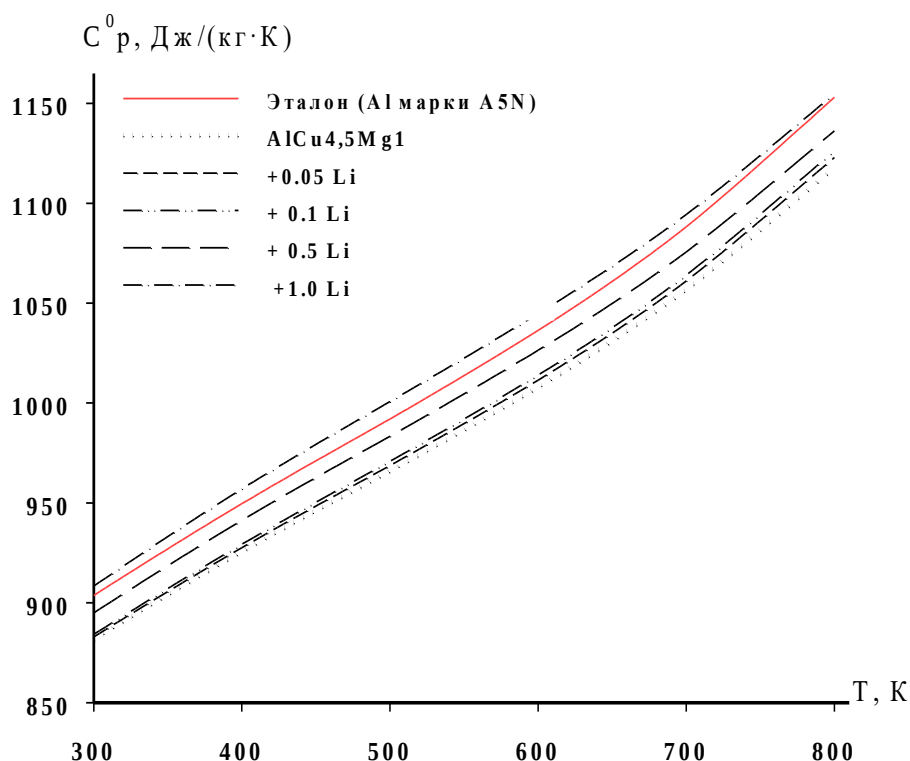
Миқдори иловаи Li , % вазн	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,57	925,42	965,73	1007,71	1056,57	1117,53
0,05	882,91	927,56	968,67	1011,45	1061,11	1122,87
0,1	884,25	929,30	970,81	1013,99	1064,05	1126,21
0,5	894,97	941,26	983,34	1026,40	1075,63	1136,23
1,0	908,38	956,99	1000,72	1044,77	1094,37	1154,76
Эталон	903,72	949,57	991,96	1036,38	1088,22	1153,01

Бо истифодаи қиматҳои ҳисобкардашудаи гармиғунҷоиш ва бузургҳои суръати хунуккунии таҷрибавии ҳосилнамудаи намунаҳо, коэффисиенти гармидиҳии $\alpha(T)$ барои ҳулаҳо бо литий мувофиқи формулаи дар поён овардашуда, аниқ карда шуд:

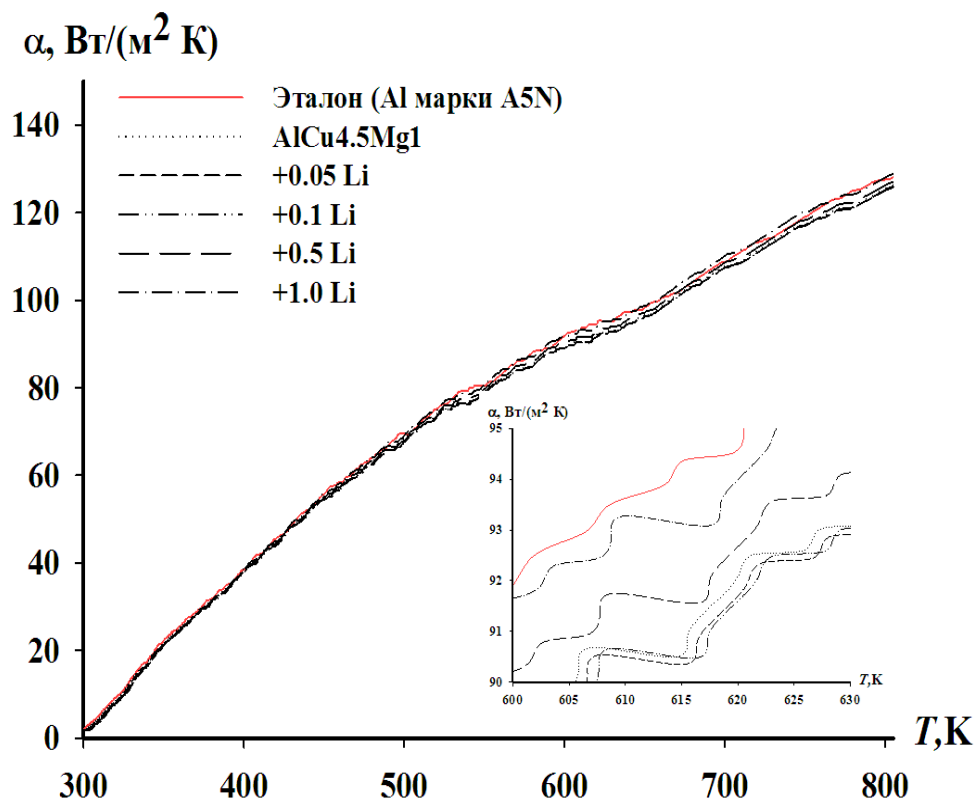
$$\alpha = \frac{C_P^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}. \quad (2.13)$$

Дар ин муодила: m - вазни намуна, T - ҳарорати намуна, T_0 – ҳарорати муҳит, S - масоҳати сатҳи он.

Дар расми 2.11. натиҷаҳои ҳисобкунии коэффисиенти гармидиҳии ҳулаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо литий дар вобастагӣ аз ҳарорат оварда шудааст. Иловаҳои литий ва ҳарорат коэффисиенти гармидиҳии ҳулаи ибтидоии $AlCu_{4.5}Mg_1$ -ро зиёд мекунанд.



Расми 2.10. - Гармиғунҷоиш ва вобастагии он аз ҳарорат, барои ҳулаи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаи Li ва эталон



Расми 2.11. - Коэффициенти гармидиҳӣ ва вобастагии он аз ҳарорат, барои хӯлаи AlCu4.5Mg1 бо иловаи Li ва эталон

Барои ҳисоб кардани вобастагии аз ҳарорати тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ барои хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, интегралҳои аз гармиғунҷоишӣ хоси бо муодилаи (2.12) истифода карда шуд:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = \alpha * (T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{2}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{2}(T^4 - T_0^4) \quad (2.14)$$

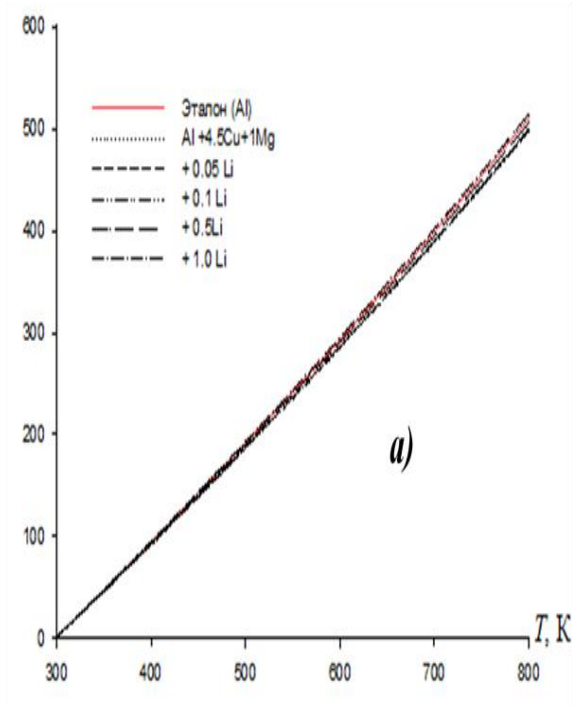
$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{b}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (2.15)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (2.16)$$

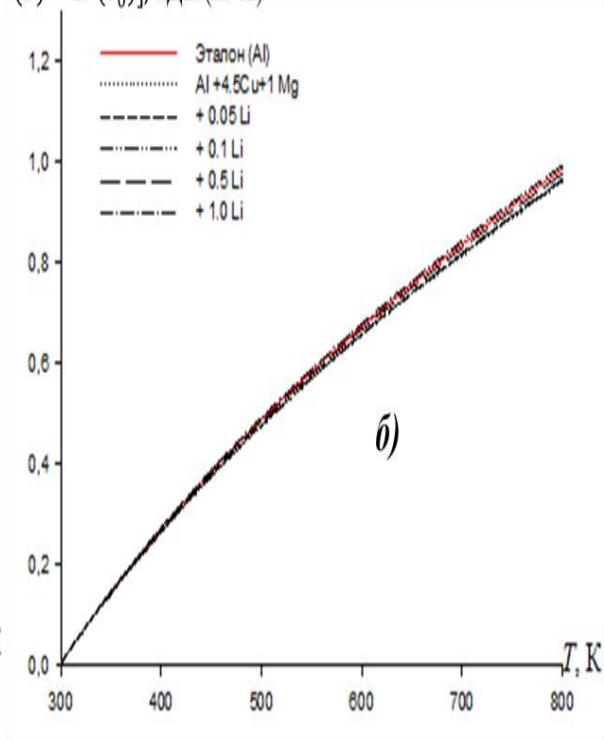
ки дар ин ҷо $T_0 = 298,15$ K.

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий дар расми 2.12. ва ҷадвали 2.7. ҷамъбаст шудаанд.

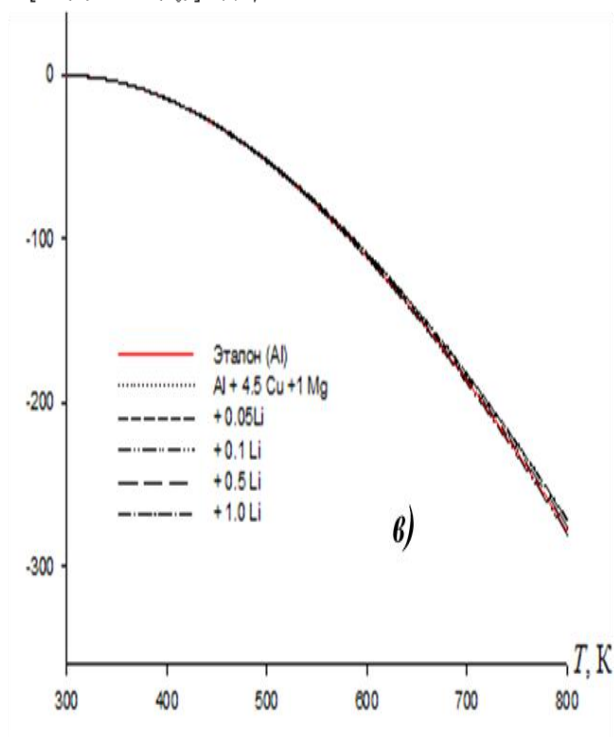
$$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{ кДж/кг}$$



$$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{ кДж/(кг·K)}$$



$$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{ кДж/кг}$$



Расми 2.12. - Тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббс (в), ва вобастагии ин бузургиҳо аз ҳарорат, барои ҳулаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li ва эталон

Ҷадвали 2.7. - Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии ҳулаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий ва эталон

Миқдори иловаии Li, % вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг					
	T, К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1.631	92.030	186.595	285.236	388.366	496.951
0.05	1.632	92.206	187.026	285.996	389.545	498.622
0.1	1.634	92.363	187.376	286.581	390.404	499.795
0.5	1.654	93.523	189.766	290.223	395.251	505.728
1.0	1.678	95.010	192.914	295.164	402.053	514.398
Эталон	1.670	94.386	191.470	292.847	398.990	510.920
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кҶ/(кг·К) барои ҳулаҳо						
0.0	0,0054	0,2652	0,4761	0,6558	0,814	0,9595
0.05	0,0054	0,2657	0,4771	0,6574	0,8169	0,9625
0.1	0,0055	0,2661	0,4780	0,6587	0,8187	0,9647
0.5	0,0055	0,2695	0,4841	0,6671	0,8289	0,9763
1.0	0,0056	0,2737	0,4921	0,6784	0,8431	0,9929
Эталон	0.0056	0.2719	0.4884	0.6732	0.8366	0.9860
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кҶ/кг барои ҳулаҳо						
0.0	-0.0051	-14.0553	-51.4363	-108.237	-181.901	-270.707
0.05	-0.0051	-14.0801	-51.5392	-108.477	-182.340	-271.410
0.1	-0.0051	-14.1030	-51.6286	-108.676	-182.691	-271.954
0.5	-0.0052	-14.2781	-52.2786	-110.051	-185.001	-275.361
1.0	-0.0052	-14.5005	-53.1171	-111.854	-188.072	-279.972
Эталон	-0.0052	-14.4124	-52.7590	-111.053	-186.691	-277.921

Ин таҳқиқотҳо нишон доданд, ки дар ҳолати ҳамроҳ кардани Li ба миқдорҳои хурд (0,05-1,0%) гармигунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳулаи ибтидоӣ меафзояд. Дар ин маврид қимати энергияи Гиббси ҳулаҳо кам мешавад. Полиномҳои гармигунҷоиш ва тағйирёбии энтропия, энталпия ва

энергияи Гиббс ва вобастагии онҳо аз ҳарорат барои ҳӯлаҳо дар асоси алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li ҷавҳаронида шуда ҳосил карда шуд, ки бо коэффисенти кореллятсияи $R^2_{\text{кор}} = 0,999$ тағйирёбии онҳоро нишон медиҳанд.

2.4. Гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминийи

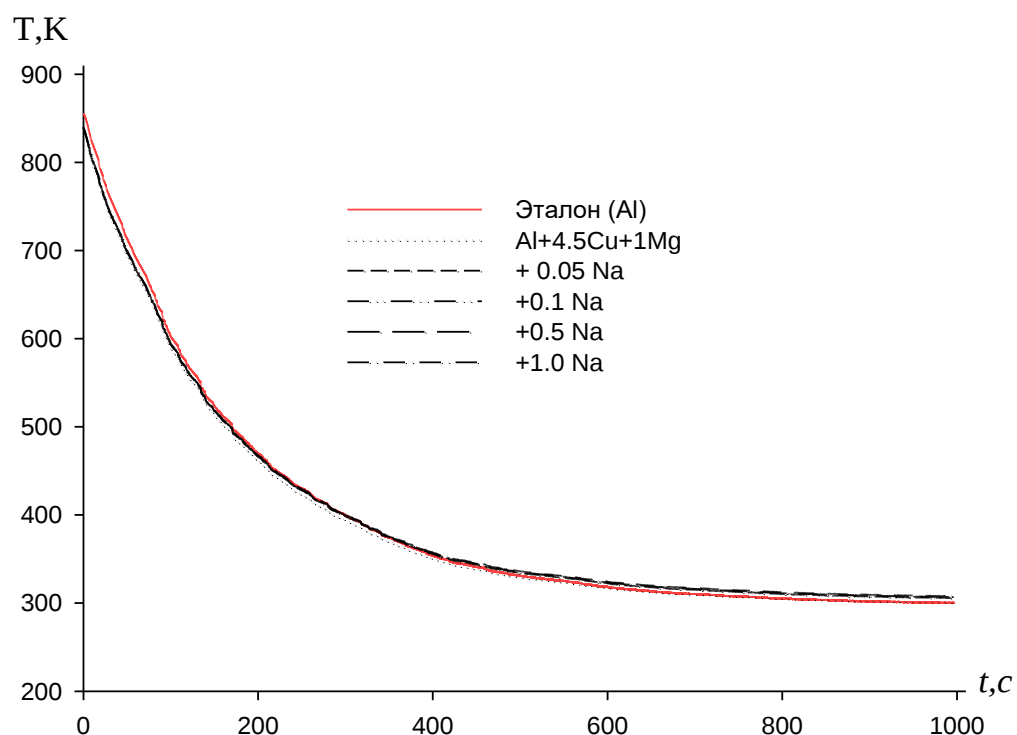
$\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ бо натрий

Дар ин бахш натиҷаҳои таҷрибавии муайянкунии гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий ва ҳисобкуниҳои вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ин ҳӯлаҳо оварда шудааст.

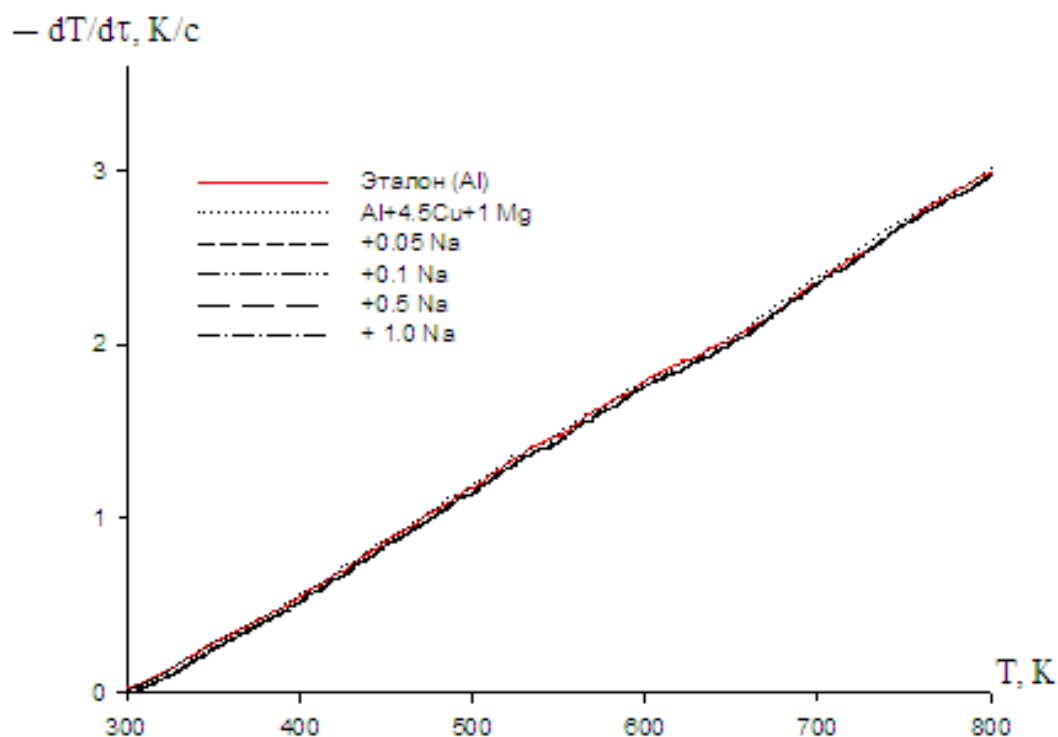
Хатҳои хунуккунии таҷрибавӣ барои намунаҳое, ки аз ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий ҳосил шудаанд, дар расми 2.13. оварда шудаанд.

Ҷадвали 2.8. - Дар муодилаи (2.8) қиматҳои коэффисентҳои a , b , p , k , ab , pk барои ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори Na дар ҳӯла, % вазн	a , К	$b \cdot 10^{-2}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	ab , $\text{К}^{\circ}\text{C}^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}$, $\text{К}^{\circ}\text{C}^{-1}$
0,0	517,43	0,61	312,89	0,45	3,17	1,41
0,05	517,44	0,61	317,69	0,44	3,17	1,40
0,1	517,44	0,61	318,69	0,44	3,17	1,40
0,5	517,44	0,61	318,69	0,44	3,17	1,40
1,0	517,44	0,61	319,78	0,438	3,17	1,40
Эталон	540,10	0,61	315,19	0,56	3,17	1,77



Расми 2.13. - Термограммаҳои ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий ва эталонӣ (Al тамғаи A5N)



Расми 2.14. - Графикаи суръати хунукшавӣ аз ҳарорат барои намунаҳо аз ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи Na ва эталон

Дар ҷадвали 2.8. дар муодилаи (2.11) қиматҳои коэффитсиентҳои a , b , p , k , ab , pk барои намунаи хӯлаҳои таҳқиқшаванда оварда шудаанд. Дар расми 2.14. қатъаҳои вобастагии суръати хунуккунӣ аз ҳарорат барои хӯлаҳо бо иловаи Na ва эталон нишон дода шудааст.

Баъд аз он бо муодилаи (2.8) бузургҳои қимати ҳисобкардашудаи суръати хунукшавии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо натрий ҳисоб карда шуд. Қиматҳои коэффисиентҳои муодилаи (2.11) барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо натрий дар ҷадвали 2.9. оварда шудаанд.

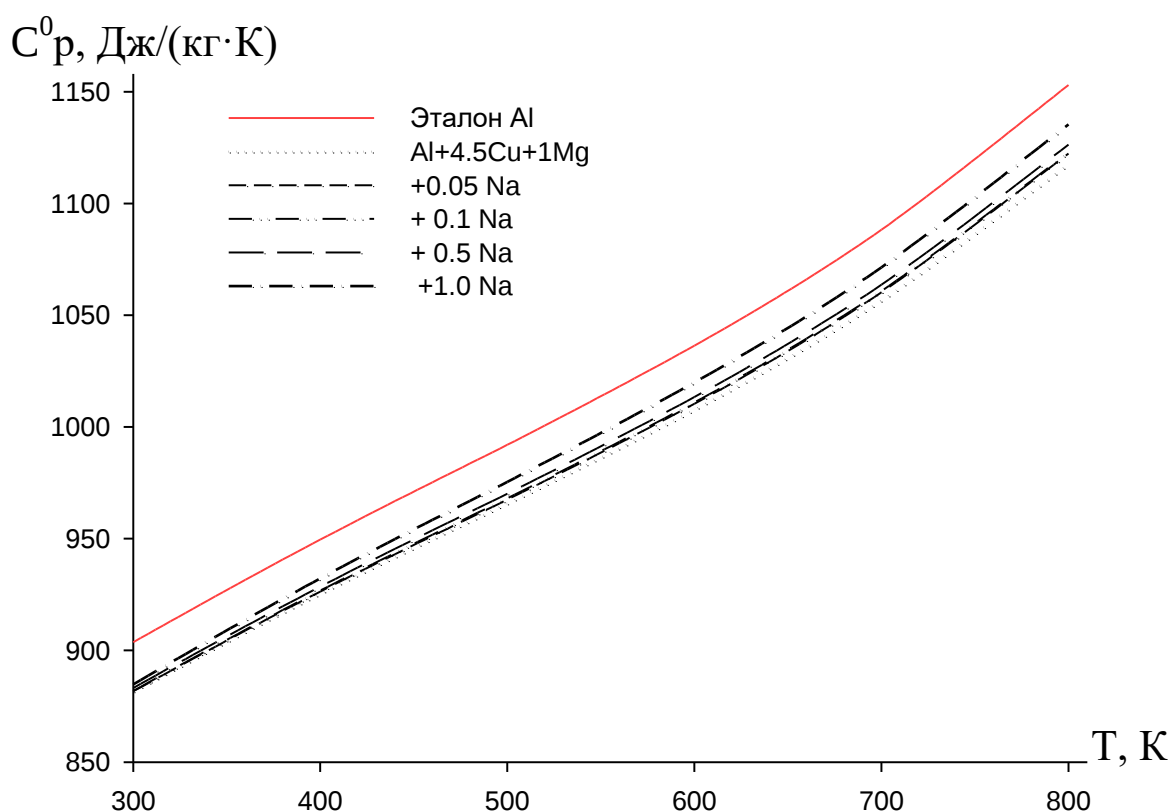
Ҷадвали 2.9, - дар муодилаи (2.13) қимати коэффисиентҳои a , b , c , d барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо натрий ва эталон

Микдори Na дар хӯла, % вазн	a , $^{\circ}C/(K \cdot K)$	b , $^{\circ}C/(K \cdot K^2)$	$c \cdot 10^{-3}$, $^{\circ}C/(K \cdot K^3)$	$d \cdot 10^{-5}$, $^{\circ}C/(K \cdot K^4)$	Коэфф. коррелясия R^2
0,0	676,61	0,97	-1,22	0,087	0.999
0,05	674,79	0,97	-1,22	0,87	0.999
0,1	673,17	0,98	-1,23	0,86	0.999
0,5	671,23	1,00	-1,26	0,89	0.999
1,0	661,33	1,06	-1,33	0,93	0.999
Эталон	690.35	1.01	-1,27	0.091	1,0

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо натрий бо формулаҳои (2.8) ва (2.12) пас аз 100 K дар ҷадвали 2.10 ва расми 2.15. пешниҳод карда шудаанд. Читавре дида мешавад, бо зиёд шудани ҳарорат ва микдори натрий гармиғунҷоиши хӯлаи ибтидоӣ зиёд мешавад.

Ҷадвали 2.10. - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши ҳоси ($Q/(кг \cdot K)$)
хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо натрий ва эталонӣ (Al тамғаи $A5N$)

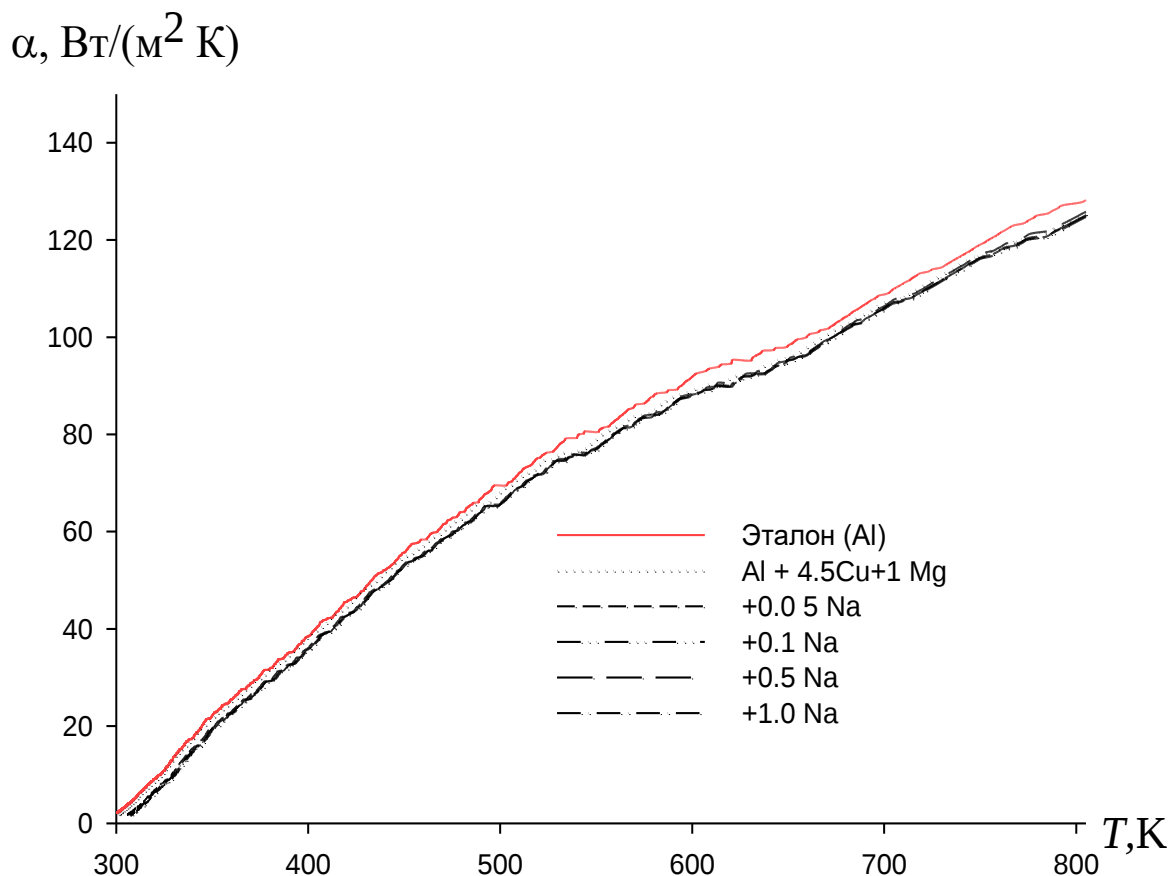
Микдори иловаи Na , % вазн	T, K					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,57	925,42	965,73	1007,71	1056,57	1117,53
0,05	881,73	926,32	967,44	1010,33	1060,20	1122,30
0,1	881,89	926,76	968,04	1010,97	1060,79	1122,77
0,5	883,19	928,51	970,11	1013,35	1063,62	1126,27
1,0	884,82	932,22	975,38	1019,90	1071,38	1135,39
Эталон	903,71	949,58	991,97	1036,35	1088,23	1153,00



Расми 2.15. - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи
 $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо натрий ва эталонӣ (Al тамғаи $A5N$)

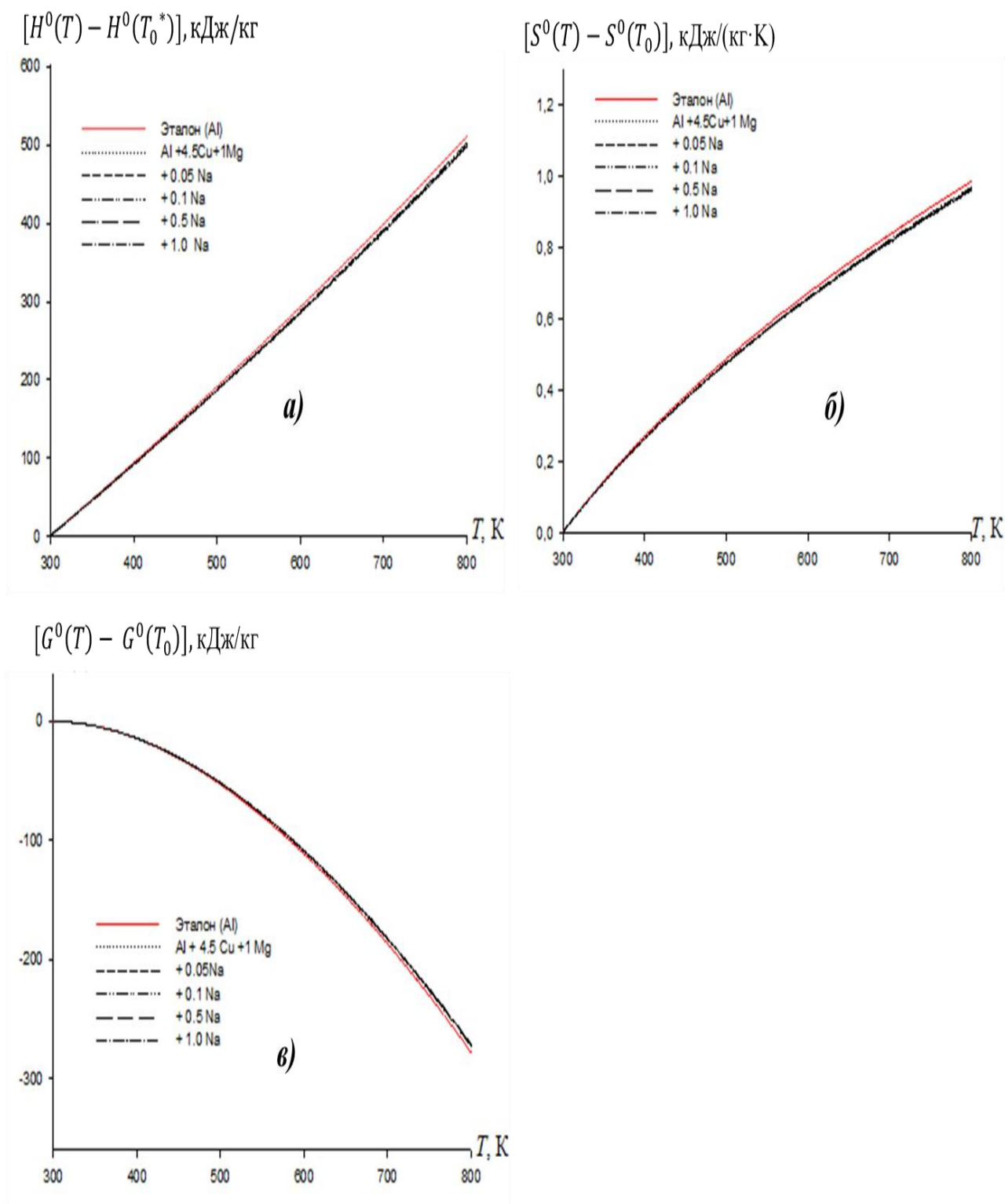
Бо истифода аз қиматҳои ҳисобкардашудаи бо усули озмоишӣ ҳосил шудаанд ва натиҷаи гармиғунҷоиш ва бузургҳои суръати хунукшавии намунаҳо, мо коэффисиенти гармидиҳи $\alpha(T)$ -ро барои хӯлаи алюминийи

AlCu4.5Mg1 бо натрий ҳисоб кардем. Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий дар вобастагӣ аз ҳарорат дар расми 2.16. оварда шудаанд. Иловаҳои натрий ва ҳарорат гармиғунҷоиш ва коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи ибтидоии AlCu4.5Mg1-ро зиёд мекунад.



Расми 2.16. - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 бо натрий ва эталонӣ (Al тамғаи А5N)

Барои ҳисобкунии тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ вобастаги аз ҳарорат, мувофиқи формулаи (2.14) - (2.16) барои хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий ҷавҳаронида шудааст, интегралҳои аз гармиғунҷоиши хоси аз рӯйи муодилаи (2.12) истифода шудаанд. Натиҷаҳои ҳисобкардашудаи тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий дар ҷадвали 2.11. ва расми 2.17. оварда шудаанд.



Расми 2.17. - Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббс (в) ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий ва эталонӣ (Al тамғаи A5N)

Ҷадвали 2.11. - Тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ ва
вобастагии ин арзишҳо аз ҳарорат барои ҳулаҳои алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$
бо Na ва эталон

Миқдори иловаи Na , % вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг					
	T, К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1.631	92.030	186.595	285.236	388.366	496.951
0.05	1.631	92.083	186.778	285.631	389.078	498.081
0.1	1.632	92.115	186.863	285.778	389.287	498.342
0.5	1.634	92.271	187.210	286.347	390.115	499.483
1.0	1.635	92.546	187.938	287.667	392.150	502.361
Эталон	1.670	94.386	191.470	292.847	398.990	510.920
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кҶ/(кг·К)						
0,0	0,0054	0,2652	0,4761	0,6558	0,814	0,9595
0.05	0,0054	0,2653	0,4765	0,6566	0,8159	0,9614
0.1	0,0055	0,2654	0,4767	0,6569	0,8163	0,9619
0.5	0,0055	0,2659	0,4776	0,6582	0,8181	0,9640
1.0	0,0056	0,2666	0,4793	0,6610	0,8220	0,9690
Эталон	0.0056	0.2719	0.4884	0.6732	0.8366	0.9860
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кҶ/кг						
0.0	-0.0051	-14.0552	-51.4363	-108.237	-181.901	-270.707
0.05	-0.0051	-14.0612	-51.4704	-108.334	-182.104	-271.067
0.1	-0.0051	-14.0653	-51,4893	-108.381	-182.186	-271.195
0.5	-0.0052	-14.0921	-51.5883	-108,594	-182.558	-271.767
1.0	-0.0053	-14.1243	-51.7414	-108.970	-183.266	-272.914
Эталон	-0,0053	-14.4124	-52.7591	-111.053	-186.691	-277.921

Полиномҳои гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо натрий ҷавҳаронидашуда ва вобастагии ин бузургҳо аз ҳарорат ба даст омада шудааст, ки тағйирёбии онҳоро бо коэффисиенти коррелятсияи баробар ба $R^2_{\text{кор}}=0,999$ тавсиф мекунад.

Натиҷаҳои муайянкунии хосиятҳои гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо натрий ҷавҳаронида шудааст, ки дар миқдори аз 0,05 то 1,0 % вазн таҳқиқот шудааст, ҳарорати гармиғунҷоиш, коэффисиенти гармидиҳӣ, энталпия ва энтропия ҳулаи ибтидоиро зиёд мекунад. Дар ин маврид қимати энергияи Гиббси ҳулаҳо аз ҳарорат ва миқдори натрий кам мешавад.

2.5. Гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ навъи дюралюминӣ бо калий

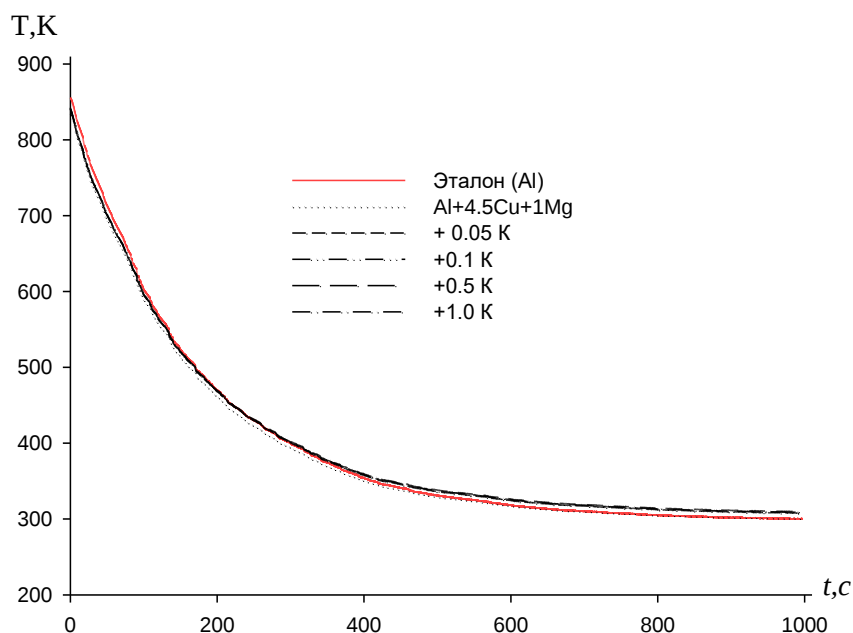
Гармиғунҷоиш ва гармигузарони маводҳо – аз ҷумлаи муҳимтарин хосиятҳои теплофизикӣ ба ҳисоб меравад. Ҳангоми таъсир бо гармӣ ё хунукӣ ин бузургҳо нақши асосиро мебозанд. Муайянкунии қиммати ин бузургҳо бо роҳи ҷенкунии мустақим бо истифодаи асбобҳои махсуси санҷишӣ гузаронида мешавад [110].

Дар рафти кор, мо бори нахуст гармиғунҷоиши ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи метали калийро зерин ҳароратҳои 300-800K ҷен кардем. Натиҷаҳои ба даст омада, асос барои муайянкунии функсияҳои термодинамикии ҳулаҳои таҳқиқотӣ шуданд.

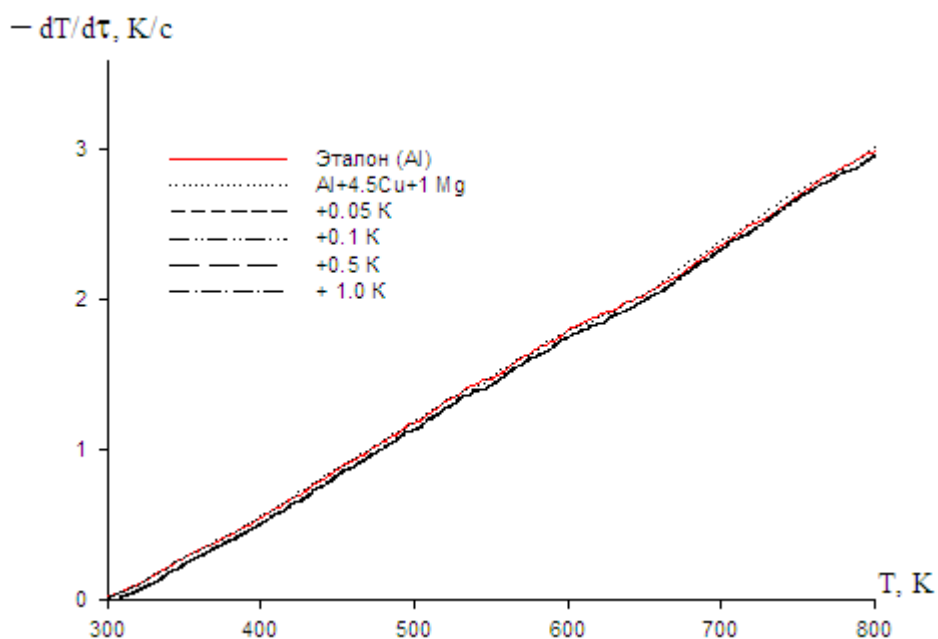
Натиҷаҳои таҷрибавии муайянгардидаи гармиғунҷоиши ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо калий ва ҳисобкуниҳои вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ин ҳулаҳо дар ин бахш оварда шудааст.

Хатҳои хунуккунии таҷрибавӣ барои намунаҳои аз ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо калий ҳосилкардашуда дар расми 2.18. нишон дода шудааст. Дар ҷадвали 2.12. қиматҳои коэффисиентҳои a , b , p , k , ab , pk барои намунаи ҳулаҳои омӯхташуда барои муодилаи (2.11) оварда шудааст. Дар расми 2.19.

метавонем вобастагии қачхатиҳои суръати хунуккунӣ аз ҳароратро барои намунаҳо аз ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи металли К бинем.



Расми 2.18. - Термограммаҳои намунаҳои аз ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ва эталонӣ (Al тамғаи А5N)



Расми 2.19. - Графикаи суръати хунукшавии намунаҳои алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи К ва эталон (Al тамғаи А5N) аз ҳарорат

Баъд аз ин, бо муодилаи (2.8) бо истифода аз рӯйи арзишҳои ҳисоби бузургҳои суръати хунукшавии намунаҳо, гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаи K ҳисоб карда шуд. Ҳангоми зиёдтар будани ҳарорат аз ҳарорати мӯътадил, вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш бо муодилаи эмпирикии шакли (2.12) нишон дода мешавад [111, 112].

Ҷадвали 2.12. - Қиматҳои коэффисиентҳои a, b, p, k, ab, pk дар муодилаи (2.12) барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий ва эталонӣ (Al тамғаи А5N)

Миқдори K дар ҳӯла, % вазн	a, K	$b \cdot 10^{-2}, c^1$	p, K	$k \cdot 10^{-4}, c^1$	ab, Kc 1	$pk \cdot 10^{-3}, Kc^1$
0,0	517,43	0,61	312,89	0,45	3,17	1,41
0,05	517,44	0,61	319,69	0,44	3,17	1,41
0,1	517,44	0,61	320,69	0,44	3,17	1,41
0,5	517,44	0,61	320,79	0,44	3,17	1,41
1,0	517,44	0,61	321,78	0,43	3,17	1,41
Эталон	540,10	0,61	315,19	0,56	3,17	1,77

Қиматҳои коэффитсиентҳо дар муодилаи вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш (2.12) барои ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий дар ҷадвали 2.13. оварда шудаанд.

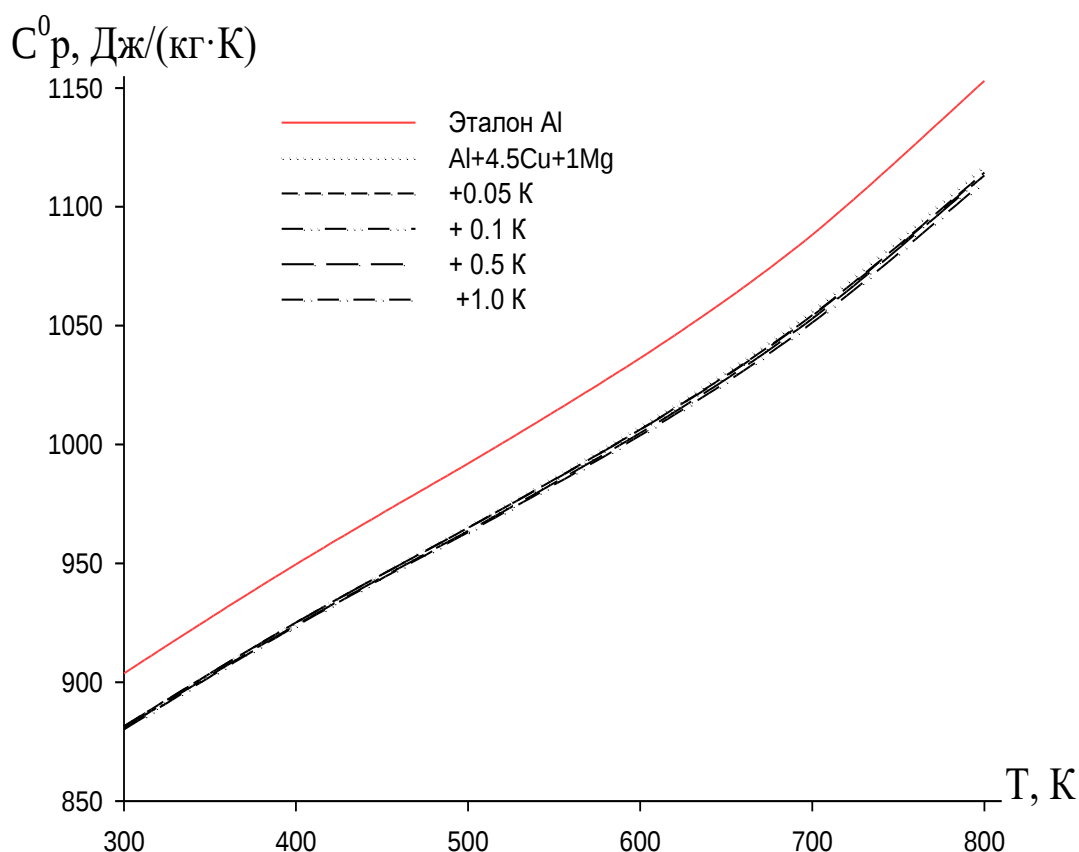
Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий мувофиқи формулаҳои (2.8) ва (2.12) пас аз 100K дар ҷадвали 2.14. ва расми 2.20. нишон дода шудаанд. Чи тавре дида мешавад, бо зиёд шудани ҳарорат ва миқдори калий гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо зиёд мешавад.

Ҷадвали 2.13. - Қиматҳои коэффисиентҳои a , b , c , d дар муодилаи (2.12)
барои ҳулаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий ва эталонӣ
(Al тамғаи A5N)

Микдори иловаи К, % вазн	a , Ҷ / (кг·К)	b , Ҷ / (кг·К ²)	$c \cdot 10^{-3}$, Ҷ/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-5}$, Ҷ / (кг·К ⁴)	Коэфф. коррелясия R^2
0,0	676,61	0,97	-1,22	0,087	0.999
0,05	676,21	0,97	-1,23	0,087	0.999
0,1	675,89	0,98	-1,23	0,087	0.999
0,5	677,22	0,97	-1,23	0,088	0.999
1,0	672,164	0,99	-1,27	0,089	0.999
Эталон	690.35	1.01	-1,27	0.091	1,00

Ҷадвали 2.14. - Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси (Ҷ/(кг К)) ҳулаи
алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий ва эталонӣ (Al тамғаи A5N)

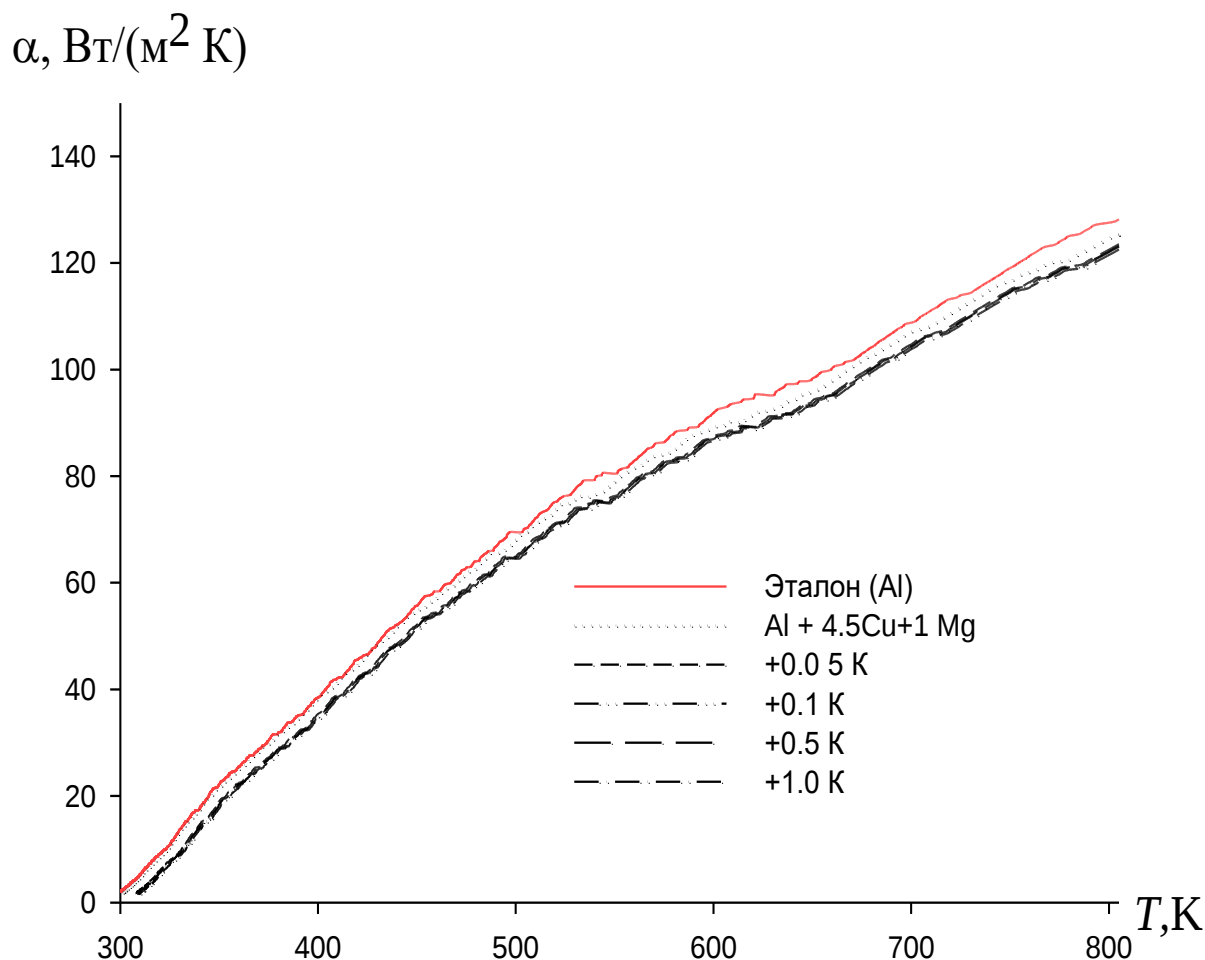
Микдори иловаи К, % вазн	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0,0	881,57	925,42	965,73	1007,71	1056,57	1117,53
0,05	881,49	925,09	964,96	1006,33	1054,42	1114,43
0,1	881,42	925,04	964,89	1006,17	1054,11	1113,90
0,5	880,84	924,02	963,59	1004,82	1052,94	1113,22
1,0	880,12	923,59	963,04	1003,82	1051,28	1110,70
Эталон	903,71	949,57	991,96	1036,36	1088,22	1153,01



Расми 2.20. - Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ва эталон

Қиматҳои ҳисобкардашудаи гармиғунҷоиш ва арзишҳои суръати хунуккунӣ, ки дар натиҷаи таҳқиқот ба даст оварда шудаанд, коэффисиенти гармидиҳии $\alpha(T)$ -ро барои хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ҷавҳаронидашударо бо муодилаи (2.13) муайян намудем.

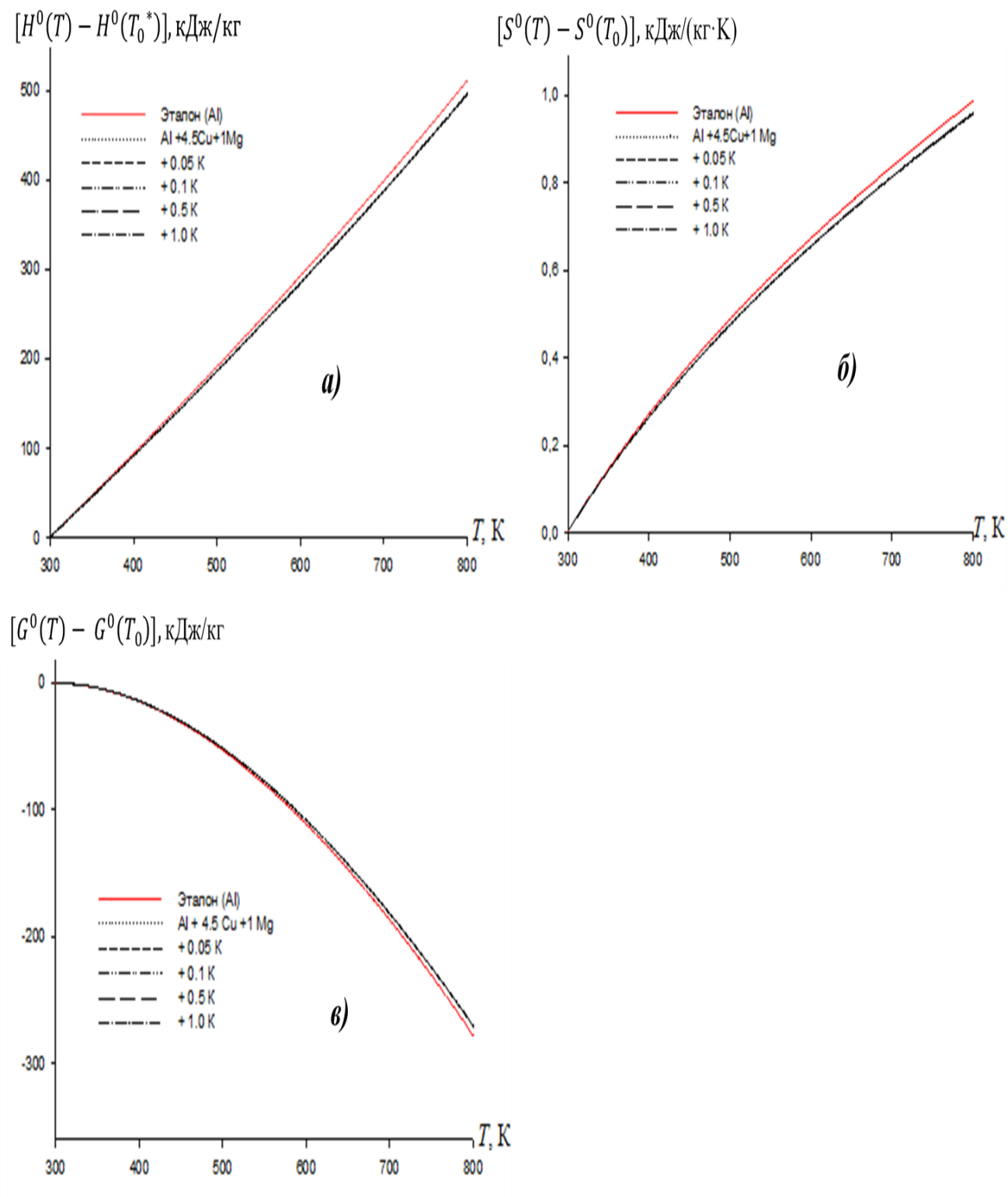
Дар расми 2.21. натиҷаҳои ҳисобкуниҳои коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий дар вобастагӣ аз ҳарорат оварда шудааст. Иловаҳои калий ва ҳарорат, коэффисиенти гармидиҳи хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ -ро кам мекунанд.



Расми 2.21. - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ва эталонӣ (Al тамғаи А5N)

Барои ҳисоб кардани тағйирёбии функсияҳои термодинамикии вобастаги аз ҳарорат мувофиқи формулаи (2.14) - (2.16) барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1 + K$ интегралҳо аз муодилаи (2.12) гармиғунҷоиши хос истифода бурда шуд.

Дар натиҷаи амалиётҳои ҳисобӣ як гурӯҳ арзишҳо аз ҷумла тағйирёбии функсияҳои термодинамикии намунаҳо аз хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи K дар расми 2.22 тасвир ва дар ҷадвали 2.15 ба шакли рақамӣ пурра оварда шудаанд.



Расми 2.22. - Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббси (в) ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо калий ва эталонӣ (Al тамғаи A5N)

Чадвали 2.15. - Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳулаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ва эталон

Миқдори иловаии К, % вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ / кг					
	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
0.0	1.631	92.030	186,595	285.236	388.366	496.951
0.05	1.631	92.011	186.522	285.052	388.011	496.333
0.1	1.631	92.005	186.511	285.030	387.967	496.248
0.5	1.631	91.922	186.311	284.696	387.505	495.690
1.0	1.631	91.867	186.210	284.521	387.196	495.175
Эталон	1.670	94.386	191.470	292,847	398.990	510.920
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$, кҶ/(кг·К) барои ҳулаҳо						
0,0	0,0054	0,2652	0,4761	0,6558	0,814	0,9595
0.05	0,0054	0,2652	0,4758	0,6554	0,8140	0,9585
0.1	0,0054	0,2651	0,4758	0,6553	0,8139	0,9584
0.5	0,0054	0,2649	0,4753	0,6546	0,8130	0,9573
1.0	0,0053	0,2646	0,4750	0,6541	0,8123	0,9564
Эталон	0,0055	0,2718	0,4883	0,6731	0,8365	0,9861
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$, кҶ/кг барои ҳулаҳо						
0.0	-0,0051	-14,0552	-51,4363	-108,237	-181,901	-270,707
0.05	0,0051	-14,0530	-51,4234	-108,198	-181,813	-270,541
0.1	0,0051	-14,0521	-51,4203	-108,191	-181,800	-270,515
0.5	0,0051	-14,0407	-51,3724	-108,082	-181,606	-270,220
1.0	0,0051	-14,0313	-51,3418	-108,018	-181,493	-270,034
Эталон	-0,0052	-14,4124	-52,7591	-111,053	-186,691	-277,921

Дар речаи «хунукшавӣ» бо гармиғунҷоиши намунаи эталони Al тамғаи A5N, ки гармиғунҷоیش маълум аст, вобастагӣ аз ҳарорати гармиғунҷоиши хос ва тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси ҳулаи алюминийи

AlCu4.5Mg1 бо иловаҳои K муайян карда шудаанд ва полиномаҳои тавсифкунандаи ин тағйиротҳо, муқарар карда шуданд.

Натиҷаҳои тадқиқотҳои гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 нишон доданд, ки компоненти ҷавҳаронида дар ҳудуди консентрасияҳои (0.05 – 1.0 % вазн) гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи ибтидоиро зиёд намуда, дар ин маврид қимати энергияи Гиббси ҳӯлаҳо кам мешавад.

2.6. Хулоса оид ба боби II

Дар ҷадвалҳои 2.16. 2.17. натиҷаҳои таҳқиқотҳои ҳосиятҳои гармофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, натрий ва калий ҷавҳаронида шудааст, бо миқдори ҳӯлаҳои таркибашон 1,0 % вазн иловаҳои Li, Na ва K доранд, оварда шудаанд. Арзишҳои дар натиҷаи таҳқиқот ба даст омада ғувоҳанд, ки бо баландшавии ҳарорат дар вақти гузаронидани таҳқиқот, энтропия, энталпия ва гармиғунҷоишӣ ҳӯлаҳо меафзояд, арзиши энергияи Гиббс бошад коҳиш меёбад.

Дар умум, гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии алюминийи AlCu4.5Mg1 нишон дод, ки иловаҳои Li, Na ва K бо миқдори аз 0,05 то 1,0 % вазнро ташкил медиҳад, хусусиятҳои нишондодашудаи ҳӯлаи ибтидоии алюминийро зиёд мекунад.

Бояд қайд намуд, ки баробари гузаштан аз ҳӯлаи AlCu4.5Mg1 + Li ба AlCu4.5Mg1 + Na ва боз AlCu4.5Mg1 + K коҳиши арзишҳои гармиғунҷоиш хос ба назар мерасад (ҷадвали 2.16.). Ин бо зиёдшавии ғуногуни дараҷаи гетерогении сохтори ҳӯлаи ибтидоӣ ҳангоми ҷавҳаронидани он бо литий, натрий ва калий шарҳ дода мешавад.

Илова кардани металлҳои ишқории дар ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 ҳалшаванда, сабаби тағйиротҳо дар ҳосиятҳои ҳӯла мегардад. Масалан ҳосиятҳои механикӣ ва гармофизикии онҳо дигаргун мешаванд. Аз байни иловаҳо, иловаи K таъсири намоёнтаре дорад, ки мумкин аст ба сохтори электронии калий, омили андозаи ҷузъҳои сохтории ҳӯлаҳо вобаста

бошад. Концентратсияҳои оптималии литий, натрий ва калий дар ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ 0,05-1,0 % вазнро ташкил медиҳад.

Ҷадвали 2.16. - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо 1% литий, натрий ва калий

T, K	Гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$			
	Миқдори металлҳои ишқорӣ дар ҳӯла, % вазн			
	0,0	1.0Li	1,0Na	1,0K
300	881,57	908,38	884,82	880,12
400	925,42	956,99	932,22	923,59
500	965,73	1000,72	975,38	963,04
600	1007,71	1044,77	1019,90	1003,82
700	1056,57	1094,37	1071,38	1051,28
800	1117,53	1154,76	1135,39	1110,75

Ҷадвали 2.17. - Вобастагии ҳароратии тағйирёбии арзишҳои энтропия, энталпия ва энергияи Гиббс аз тағйирёбии ҳарорат, барои хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи Li, Na, K

T, K	$[H^0(T) - H^0(T_0)], \text{кҶ/кг барои хӯлаҳо}$			
	Миқдори металлҳои ишқорӣ дар хӯла, % вазн			
	0,0	1,0Li	1,0Na	1,0K
300	1,630	1,679	1,636	1,630
400	92,031	95,011	92,547	91,86
500	186,596	192,915	187,939	186,21
600	285,237	295,165	287,668	284,52
700	388,367	402,054	392,151	387,19
800	496,950	514,399	502,362	495,17
$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кҶ/(кг·К)} барои хӯлаҳо$				
300	0.0053	0.0056	0.0055	0.0053
400	0.2651	0.2736	0.2665	0.2646
500	0.4760	0.4920	0.4792	0.4750
600	0.6557	0.6783	0.6611	0.6541
700	0.8141	0.8430	0.8221	0.8123
800	0.9594	0.9928	0.9691	0.9564
$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{кҶ/кг барои хӯлаҳо}$				
300	-0,0050	-0,0052	-0,0052	-0,0050
400	-14,0553	-14,5006	-14,1244	-14,0314
500	-51,4364	-53,1172	-51,7415	-51,3419
600	-108,238	-111,855	-108,971	-108,019
700	-181,902	-188,073	-183,267	-181,494
800	-270,708	-279,973	-272,915	-270,035

БОБИ 3. ТАДҚИҚОТИ ТАЪСИРИ ИЛОВАҲОИ ЛИТИЙ, НАТРИЙ ВА КАЛИЙ БА КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНӢ ДАР ҲОЛАТИ САХТ

3.1. Усули таҳқиқоти раванди оксидшавӣ ва асбобҳои истифодашуда

Оксидшавии қисмҳои металии дастгоҳҳо ва конструксияҳо дар рӯйхати душворихои ҳалношудаи соҳаҳои гуногуни саноат дохил аст. Ҳар сол аз сабаби оксидшавӣ асбобҳои гуногуни саноатӣ, хусусан он асбобҳое, ки дар шароити агрессивӣ, ҳарорати баланд ва муҳити оксидкунанда истифода мешаванд фарсуда мешаванд, хусусиятҳои кории худро гум мекунанд ва аз кор мебароянд, ки бе шубҳа ба зарари ҳам иқтисодӣ ва ҳам молиявӣ оварда мерасонад. Бинобар ин, оиди ин мамониятҳо олимони соҳа корҳои зиёди таҳқиқоти бурда дар корхонаҳои саноатии ҷумҳурӣ дар амал дастовардҳои худро татбиқ карда истодаанд.

Донишмандони протоцессии оксидшавӣ барои дуруст интиҳоб ва коркарди масолеҳҳои ба гармӣ тобовар, ки дар истеҳсоли ҷузъҳои гармидиҳӣ, печҳо ва дигар дастгоҳҳои техникӣ истифода мешаванд, зарур аст. Бо инкишофи соҳаҳои нави техника, аз қабيلي истеҳсоли масолеҳи нимноқилӣ, ракетасозӣ, металлургияи хокавӣ, нанотехнология ва наноматериалҳо масъалаҳои интиҳоби маводҳое, ки дар ҳарорати баланд кор мекунанд, муҳим ва муҳаббат мемонанд [113, 114].

Дар замони муосир, ки техника ва технология бо суръати баланд тараққи карда истодаанд, ба маводҳои конструксионӣ талабот нисбат ба хосиятҳояшон боз ҳам баландтар рафта, талаб карда мешавад, ки ин маводҳо дар муҳитҳои агрессивӣ, зеро фишори баланд, сарбории калон ва истифодабарии интенсивӣ хосиятҳои худро гум накарда бо вуҷуди ин вазни кам ва арзиши пастро дошта бошанд [115, 116].

Масъалаи таҳқиқи оксидшавии ҳулаҳо ва дарёфти роҳҳои ҳубтар кардани устуворӣ ба оксидшавии ин ҳулаҳо масъалаи муҳими техникӣ ҳисоб шуда, олимони барои ҳалли ин масъала корҳои зиёди таҳқиқотӣ бурда истодаанд [117-119].

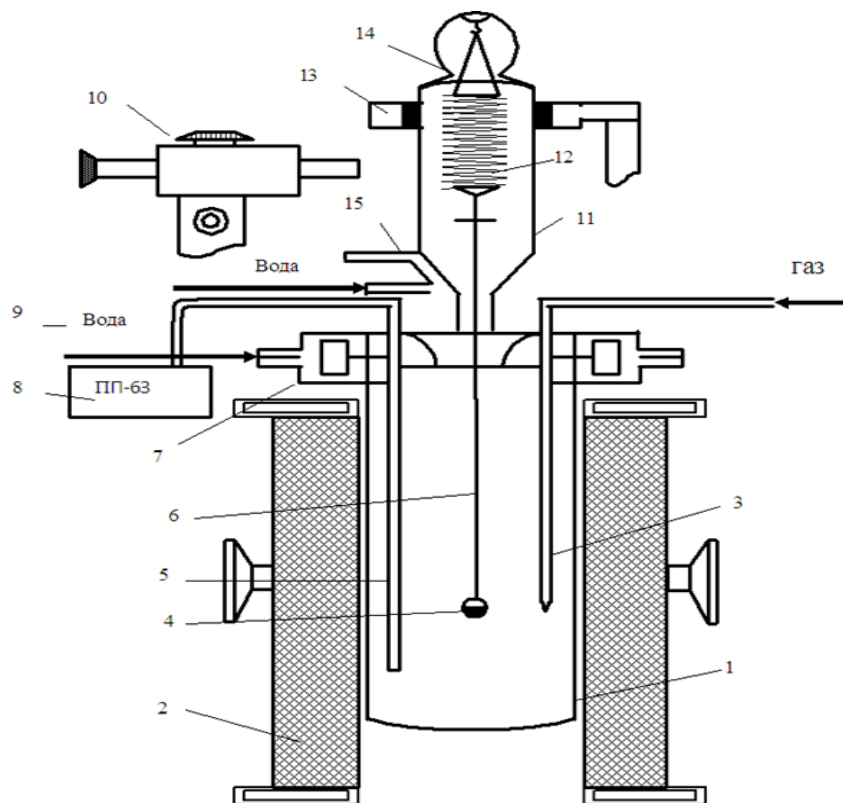
Бо мақсади омӯзиши таъсири иловаҳои металлҳои Na, Li, K ба раванди оксидшавии хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$, як қатор хӯлаҳо бо вазни 10 грамм дар печи вакуумии муқовиматӣ тамғаи СНВЭ-1.3.1/16ИЗ дар атмосфераи гази инертӣ ва фишори зиёдатии 0,15 МПа ҳосил карда шуданд.

Ин усули таҳқиқи оксидшавӣ нав набуда, бисёр олимон бо ин усул кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои гуногунро омӯхтаанд [120-127]. Омӯзиши кинетикаи оксидшавӣ бо усули термогравиметрӣ дар атмосфераи ҳаво, дар шароити ғайриизотермикӣ дар ҳолати сахтии ҷисми таҳқиқшаванда гузаронида мешавад. Нақшаи дастгоҳ ва қисмҳои асосии он дар расми 3.1 пурра оварда шудааст. Дастгоҳ аз қисмҳои асосии зерин сохта шудааст: (1) печи Тамман, (2) рӯйпӯши печ аз оксиди алюминий сохташуда. Дар вақти таҷрибагузарониҳо ин рӯйпӯши печро аз тарафи боло бо сарпӯшҳои бо об хунукшаванда (7) маҳкам карда мешавад. Ин сарпушакҳо барои ҷойҳои холи барои кубури газгузаронӣ (3) доранд, ҳамчунин дар даруни печ тигел бо намуна (4) ва термopара (5) ҷойгир мешаванд. Намуна ба ресмони платинагӣ (6), ки бо пружинаи молибденӣ (12) пайваस्त аст, овезон карда мешавад. Пружина пешаки аз калибронӣ гузашта баъд онро ба дохили силиндри аз шишаи молибдени (11) сохташуда бо сарпӯши сахт маҳкамкунанда (14) гузошта мешавад. Сарпӯш ва пружинаро ба лавҳаи (13), ки бо мақсади аз ларзишҳову ҷумбишҳо эмин доштан аз печ ҷудо аст, насб карда мешавад. Барои аз таъсири гармии печ ҳифз кардани тарозуҳо, дар қисми поёнии силиндр трон ва яхдон (15) истифода бурда мешавад. Бо истифода аз катетометри КМ-8 ҳангоми ёзиши пружина ивазшавии вазни намуна қайд карда мешавад.

Тигелҳои дар рафти таҳқиқот истифода бурда шуда аз оксиди алюминий сохта шуда, баландии 25-26 мм ва диаметри 18-20 мм-ро доштанд. Пеш аз гузаронидани корҳо, тигелҳо тӯли 90 дақиқа зери ҳароратҳои 1273-1473 К дар муҳити оксидкунанда то доимии вазн нигоҳ дошта шуданд. Омӯзиши раванди оксидшавӣ зери ҳароратҳои 723 К, 773 К ва 823 К дар ҳолати сахт, бо таъсири оксигени ҳаво гузаронида шудааст [120-127].

Тигел бо маводи омӯзиши дар минтақаи ҳарорати изотермии печ гузаронида мешавад. Дар атмосфераи ҳаво металл гарм карда мешавад. Бо

суръати 2 ё 3 К/дақ. зиёдшавии ҳарорат сурат мегирад. Пеш аз печро гирон кардан, индикатори пружинагиро ба катотиметр мувофиқ карда, дар шакли сабт нуқтаи муоинаро ҷойгир намуда ва дар ҳолати печро гарм кардан тағйирёбии вазн назорат карда мешавад. Ҳангоми расидан ба речаи муқараршуда, нуқтаи нав сабт карда мешавад.



Расми 3.1. - Нақшаи дастгоҳ барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва ҳӯлаҳо [120-127]

Ченкунии ҳарорат дар печ бо истифода аз термopарai платинагӣ гузаронида мешавад. Пайвандаки гармии он бевосита ба як қисми намуна ҷой дода шудааст. Дурустии ин ченкунӣ тақрибан 2К мебошад. Термометр дар қуттии аз алюминий сохта шуда ҷойгир аст. Пайванди хунукро дар зери ҳарорати 273 К бо истифодаи термостати сифрии Нул-В термостати кардем, то ки нишондиҳии ҳарорат устувор шавад. Сабти ҳарорат ва тағйирёбии он бо истифодаи асбоби потенциометри ПП-63 ташкил карда шуд. Баъд аз ба итмом расидани таҷрибаҳо, системаи санҷишӣ хунук карда шуда, вазни маводи омукташуда бо тигел муайян ва сатҳи таъсири реаксионӣ ҳисоб карда шуд.

Дар рафти кор хатогии таҳқиқот бо истифодаи доимии суръати оксидшавии “К” бо муодилаи зерин муайян карда мешавад:

$$K = g(s \cdot t) \quad (3.1)$$

s - сатҳи реаксия; g - массаи намуна; t - вақт.

Хатогии нисбӣ дар баҳогузорӣ, чамъи хатогихои нисбӣ мебошад:

$$\Delta K/K = (\Delta g/g)^2 + (\Delta s/s)^2 + \Delta t/t \quad (3.2)$$

Ҳар як истилохро алоҳида таҳлил карда, дақиқияти вазнкаширо бо ёрии чунин формула ҳисоб мекунем:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta G}{9,0} \cdot 100 + \frac{0,0001_{ТВ}}{9,0} \cdot 100 + \frac{0,0001_{ТВ}}{100} + \Delta L. \quad (3.3)$$

Бузургии $0,0001_{ТВ}$ - шумораи 2-ум ва 3-ум чамъшавандаҳо буда, нишондиҳандаи хатогии дар раванди баркашидани намуна ба вукӯъ омадаро мефаҳмонад, Δg - дақиқи баркашидани тарозуҳои пуржинавӣ ва ё ҳассосияти онҳоро, ки бо роҳи калибронии тарозу бо овезааш, риштаи платинагӣ ва тигел бо намуна, гузаронида мешавад. Ҳамчунон дар як вақт устувории чандирии пуржинаро (адади печакҳо $W = 20$) санчида шуда буданд.

Муодилаи калибронӣ:

$$\begin{cases} m + a \\ m + a + k\Delta h \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\begin{cases} m + 3a \\ m + 3a - k\Delta h \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\begin{cases} m + na \\ m + na - k\Delta h \end{cases} \quad (3.6)$$

Ин ҷо: m - массаи система дар кулл; Δh - ёзиши пуржина; k - иловаи доимӣ ($0,020 \cdot 10^{-3}$ кг).

Тағйирёбии дарозии пуржинро бо истифодаи катетометри КМ-8 аниқ карда мешавад, ки қадами $0,10 \cdot 10^{-3}$ м-ро дорад. Сабтро ҳангоми ҷойивазкунии нишондиҳанда, ки дар нӯги поёни пуржин насб карда шудааст, сар мекунем. Ҳассосияти тарозуҳои калибровкашуда (ΔG) барои сарбории то

$15 \cdot 10^{-3}$ кг, арзиши $0,0001 \cdot 10^{-3}$ кг-ро дорад; ΔL – хатогие, ки бухоршавии металл дар рафти таҷрибаро бо назар мегирад. Барои ҳар металл ин бузургӣ арзиши худро дошта бо чунин роҳ муайян карда мешавад: металл то ҳарорати додашуда гарм карда мешавад ва дар муҳити гази инертӣ, ки аз оксиген ва намӣ тоза карда шудааст, нигоҳ дошта мешавад. Баъд аз ин амалиёт, бо назардошти тағйироти вазни металлҳо пеш аз гармкунӣ ва баъди он, массаи талафёфта ё ин ки бухоршудаи металлро муайян мекунанд [123-125].

Ҳаҷми сатҳи ба дар таъсирот иштирок кардараро бо асбоби КМ-8 ҳисоб карда мешавад. Ченкунии ин бузургии дорои дақиқияти $\pm 0,00003$ метр буда, ҳатто бо назардошти ноаёниҳо, эҳтимолияти хатогӣ $\pm 1,9\%$ -ро дорад. Дигар арзиш $\Delta t/t$ арзиши хурдро дошта, дар вақти ҳисобкунӣ метавонад ба назар гирифта нашавад:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{3600} \cdot 100 = 0.027\% \quad (3.7)$$

Ҳарорат дар вақти омӯзиш бо истифодаи терморпарай платина-платинародийӣ чен карда мешавад, ки дар сатҳи намуна пайванди гарми он ҷойгир аст. Ченкунии дурустии ҳарорат ± 2 К қабул карда, хатогии ченкуриро чунин ҳисоб мекунем:

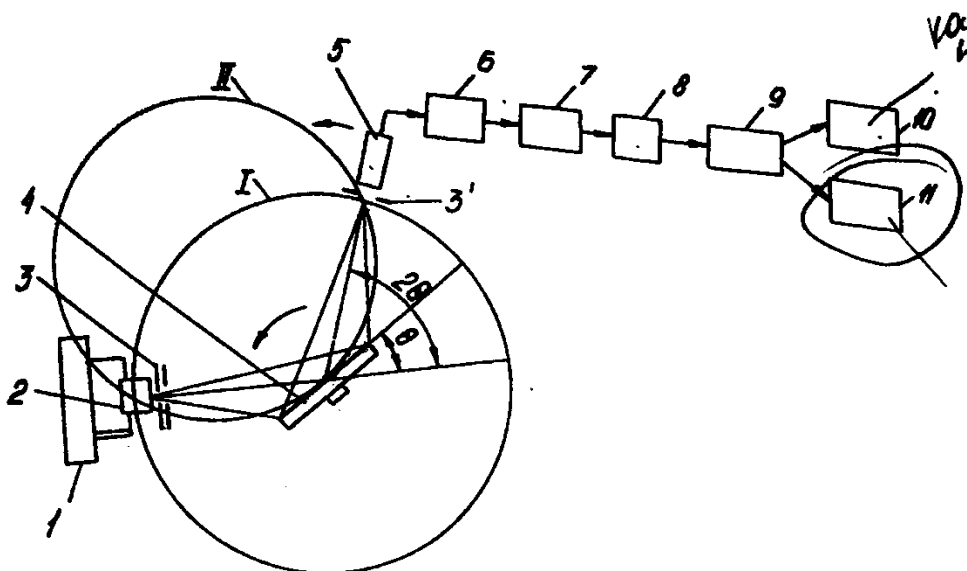
$$\Delta T/T = 2.100/900 = 0.22\% \quad (3.8)$$

Хатогии нисбӣ бо муодилаи (3.2) ҳисоб кардан мумкин аст:

$$\Delta g/g = (2.71)^2 + (1.5)^2 + 0.027 = 9.62\%$$

Таҳқиқи таркиби фазавии оксидҳои ҳосилшуда. Таҳлили рентгенофазавӣ – яке аз роҳҳои асосии таҳқиқоти таркиби мавод ва фазавии кристаллии маводҳои гуногун ба ҳисоб меравад. Бо ин роҳ таркиби сифатӣ ва миқдории маводҳо омӯхта шуда, хусусиятҳои ҳуҷайраи оддии моддаҳои кристаллиро муайян карда, маводу маҳлулҳои саҳт ва тағйироти дар онҳо дар натиҷаи ҳарорати баланд ва фишор гузарандаро, муайян мекунанд. Таҳлили рентгенофазавии маводҳо бо дастгоҳи дифрактометри ДРОН-3М гузаронида мешавад. Таркиби фазавию сифатии маводҳо бо роҳи муқоиса кардани штрих-

кодҳои ба даст омада бо штрих-кодҳои дар “база” буда ва мувофиқати масофаи байниҳамвории $dhkl$ ва шабеҳияти онҳо бо дигар модаҳо муайян карда мешаванд. Сабти рентгенограмма бо нурафкании $CoK\alpha$ ($\lambda=1,7902\text{\AA}$) ва шиддати анодии 30 кВ, кунҷи 2θ аз 5 то 150° ва ҷараёни 30 мА гузаронида шудааст. Нақшаи принсипалии дастгоҳи истифода шуда дар расми 3.2 оварда шудааст.



Расми 3.2. - Нақшаи кории дифрактометри ДРОН-3

Намунаи таҳқиқшавандаи 4 дар маркази давраи I ҷойгир шудааст. Ҳамроҳи ин давра ҳисобкунаки 5 ва найчаи рентгении дар он буда ҳаракат мекунад. Даврзании ҳисобкунак ба тавре иҷро мешавад, ки сатҳи он бояд дар як хат бо давраи фокускунии II, ки дар он фокуси найчаи рентгенӣ, маркази намуна ва сӯроҳии ҳисобкунак ҷойгир ҳастанд [126, 127].

Тафовути потенциалҳо байни электродҳои найчаи рентгении 2 бо генератори 1 сохта мешавад. Афканишоти рентгенӣ аз қабати ду диафрагмаи 3 ва 3* гузашта, то намунаи ҳӯла 4 рафта, аз он инъикос ёфта, ба ҳисобкунаки 5 меравад ва ба шуои минтақаи намоён табдил меёбад. Баъди табдилёбии сигналҳои рӯшноӣ ба электрикӣ ва пурзур кардани он бо истифода аз пурзуркунаки фотоэлектронии 6 ва пурзуркунаки 7 дар дискриминатори 8 импульсҳо ҷудо мешаванд, ки ба шуои тавсифкунанда мувофиқ нестанд. Импульсҳо аз дискриминатор гузашта дар схемаи 9 дубора

ҳисоб шуда, бо дастгоҳи худкори рақамӣ (АЦП) ва компютери 10 (ба лентаи диаграмма худнавис) сабт карда мешаванд. Бо истифода интенсиметри 11 шиддатнокии шуоъҳои инъикосшудаи рентгенӣ, ки ба шумораи квантҳои он муносиб аст, нишон дода мешавад.

Барои мақсадҳои гузашташудаи ин диссертатсия, бо усули тайёр кардани хока барои таҳқиқот, намунаҳо ҳосил карда шуданд. Ин намунаҳо дар ступкаи агатӣ (уғрак) тайёр карда шуданд. Таҳлили фазавии маҳсулотҳои оксидшавӣ бо роҳи муқоиса кардани арзишҳои таҷрибавии масофаи байниқабатӣ, ҳамчунин шиддатнокӣ ва кунҷҳои Береговӣ бо арзишҳои аз рӯи назариявӣ ҳисобшуда, муайян карда шуд.

Барои тадқиқоти таъсири металлҳои ишқорӣ (Li, Na, K) ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар ҳолати сахт, як қатор хӯлаҳо бо таркиби Li, Na, K аз 0,05 то 1,0 % вазн синтез карда шуданд,

3.2. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий, дар ҳолати сахт

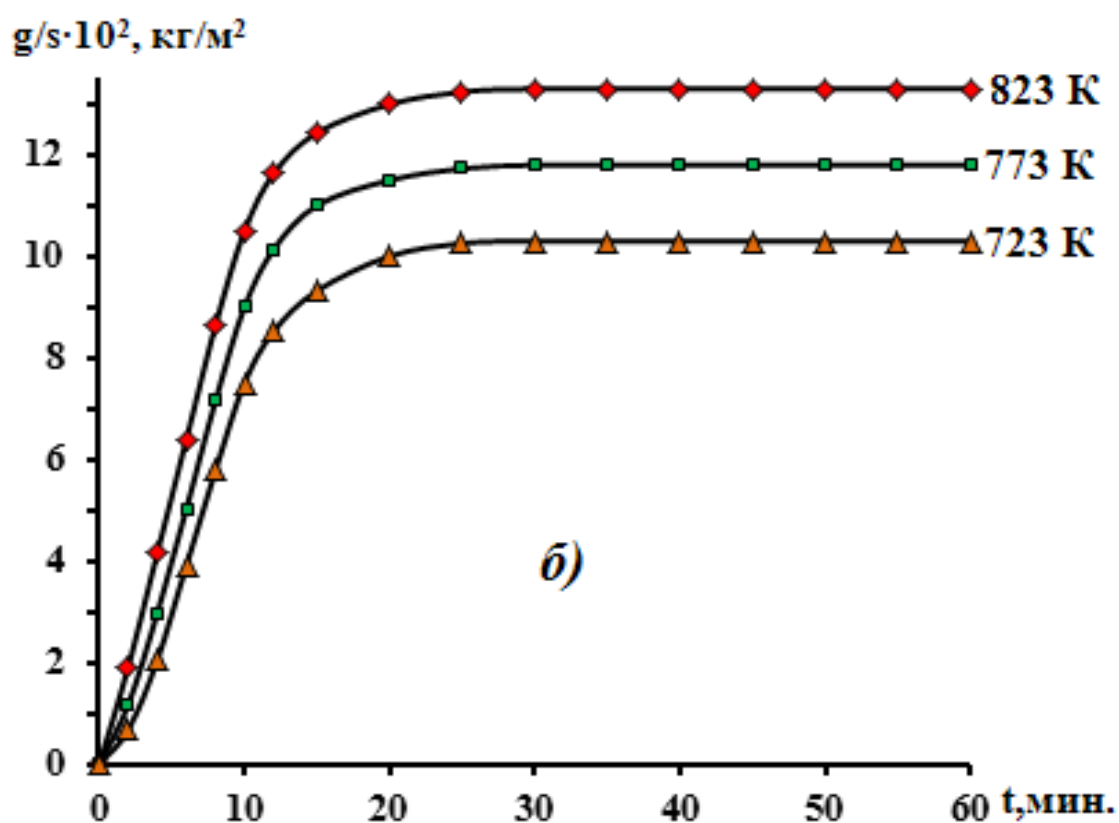
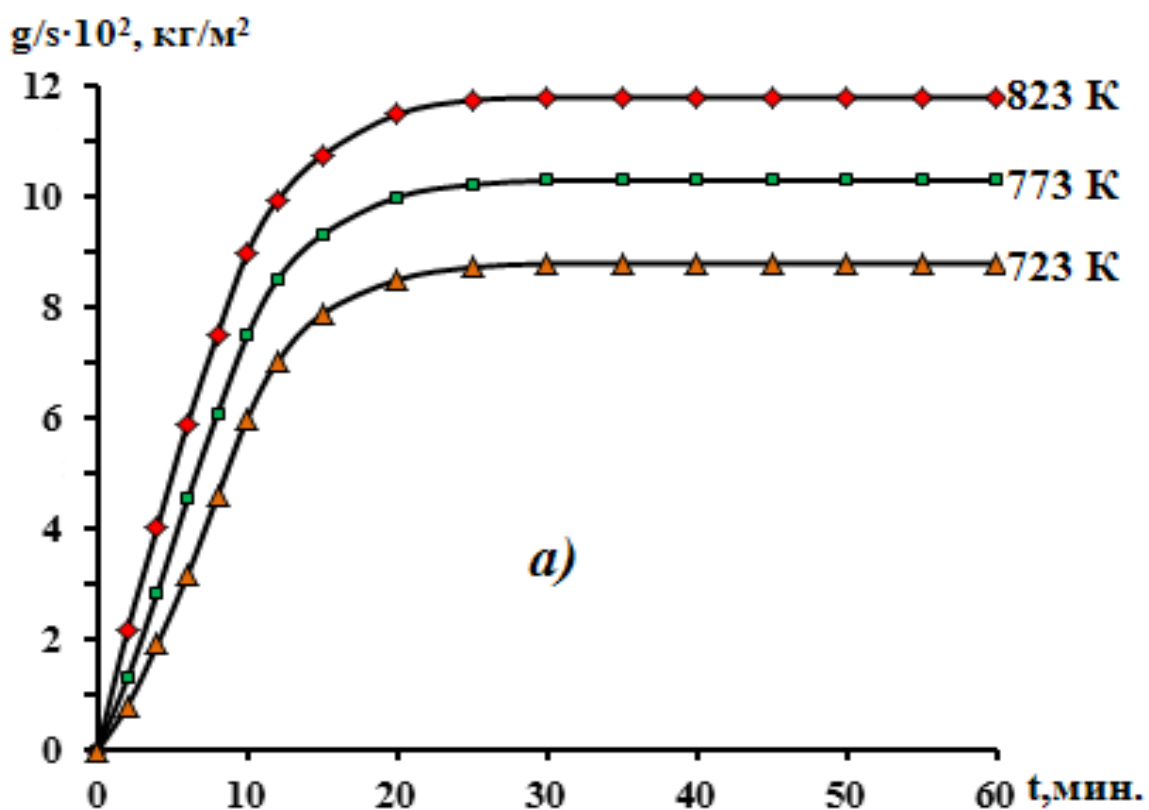
Натиҷаҳои тадқиқотҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий ҷавҳаронида шудааст, дар расмҳои 3.3-3.8 ва ҷадвалҳои 3.1-3.2 пурра оварда шудааст. Қимматҳои ҳисобшудаи хосиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, ки миқдори гуногуни Li дорад, дар ҷадвали 3.1 оварда шудааст.

Качхатиҳои оксидшавии хӯлаҳо нишон медиҳанд, ки аз саршавии омӯзиш ва то 15-20 дақиқа раванди афзудани вазни намунаҳо ба амал меоянд. Дида мешавад, ки иловаи литий ба хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ якчанд маротиба суръати ҳақиқии оксидшавии онро зиёд мекунад. Ҳамаи тарик, агар аз хӯлаи ибтидоӣ суръати ҳақиқии оксидшавии дар 723 К и 823 К $2,26 \cdot 10^{-4}$ ва $2,73 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ -ро ташкил диҳад, онгоҳ барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо 1,0 % вазн литий дар ҳамин ҳароратҳои дар боло нишондода суръати оксидшавии баробари $2,44 \cdot 10^{-4}$ ва $2,89 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ мешавад. Бинобар ин энергияи зоҳирӣ фаъолшави барои хӯлаи ибтидоӣ баробари 118,5

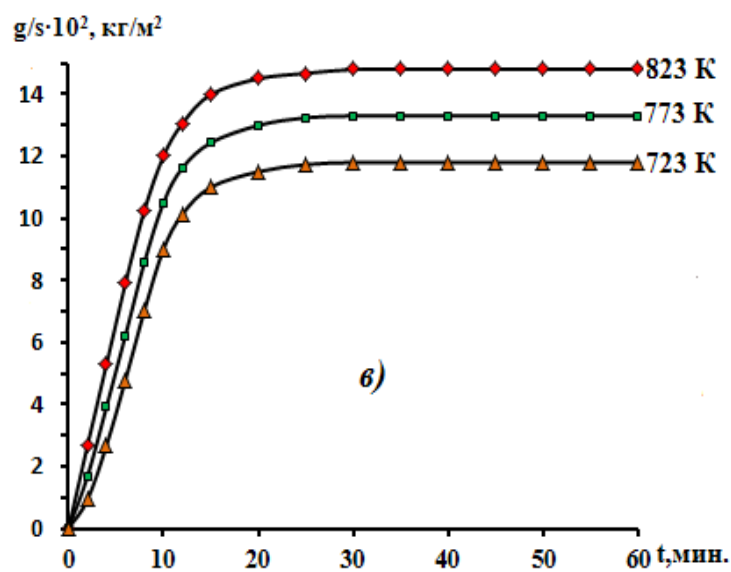
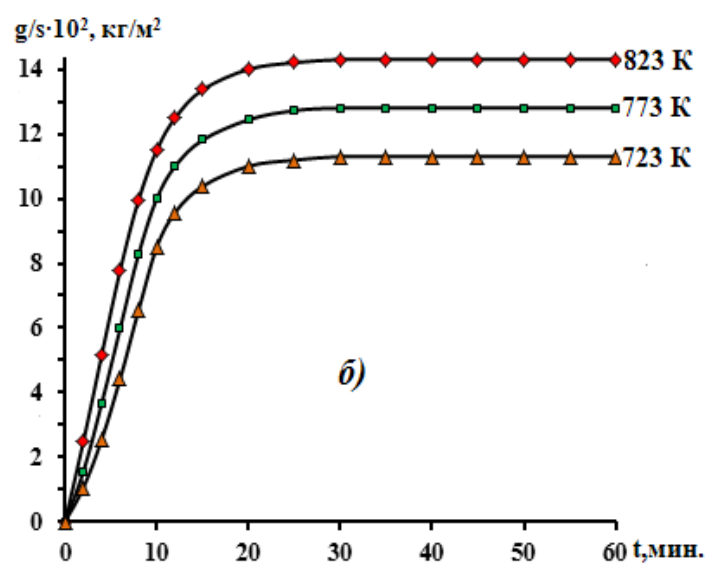
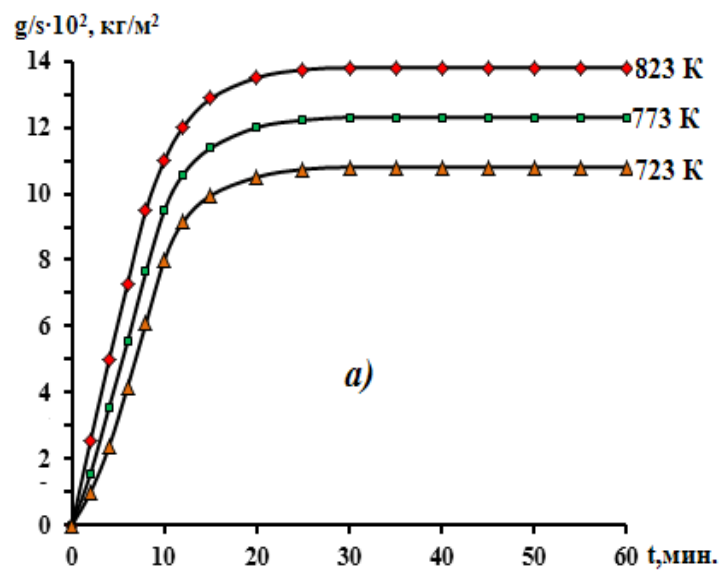
кҶ/мол аст, пас барои хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо 1,0 % вазн литий нишондоди нишондодашуда 106,7 кҶ/молро ташкил медиҳад.

Ҷадвали 3.1. - Параметрҳои раванди оксидшавии хӯлаи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаи Li [128]

Миқдори Li дар хӯла, % вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи зоҳирӣ фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.31	114.9
	773	2.50	
	823	2.77	
0.1	723	2.35	112.0
	773	2.54	
	823	2.81	
0.5	723	2.39	109.1
	773	2.58	
	823	2.85	
1.0	723	2.44	106.7
	773	2.62	
	823	2.89	



Расми 3.3. - Қаҷхатиҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ (а) бо литий, % вазн: 0.01 (б)



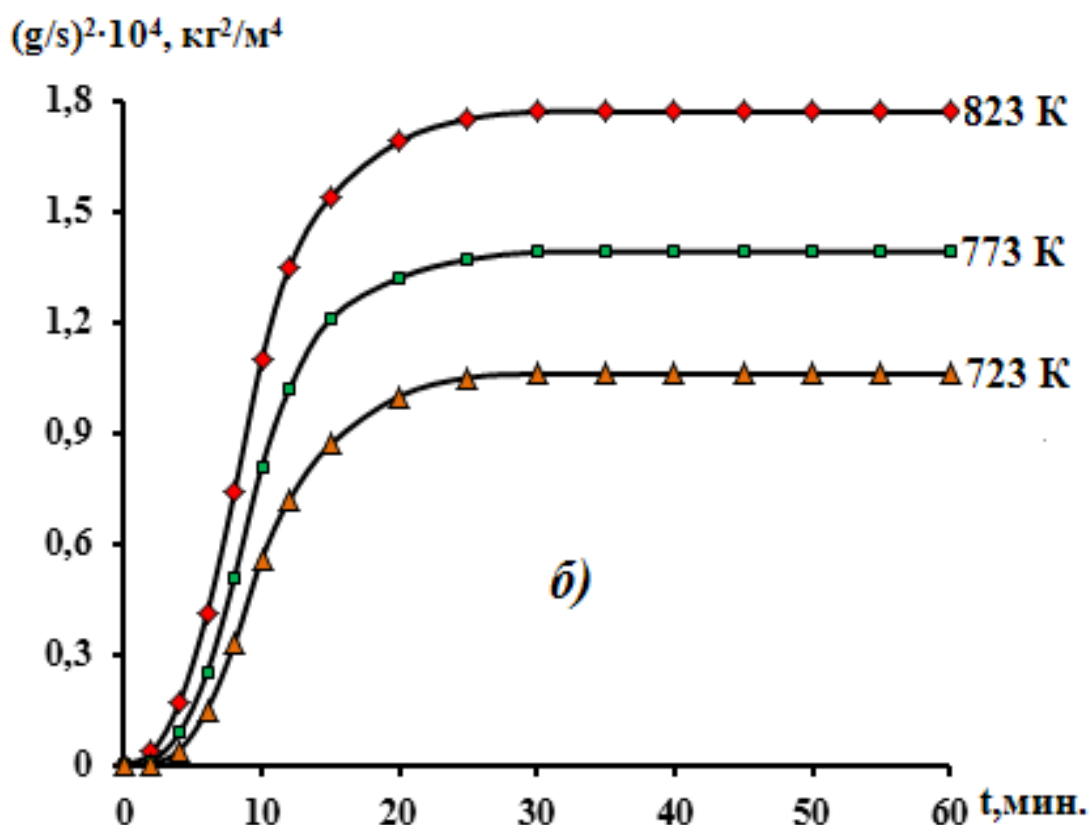
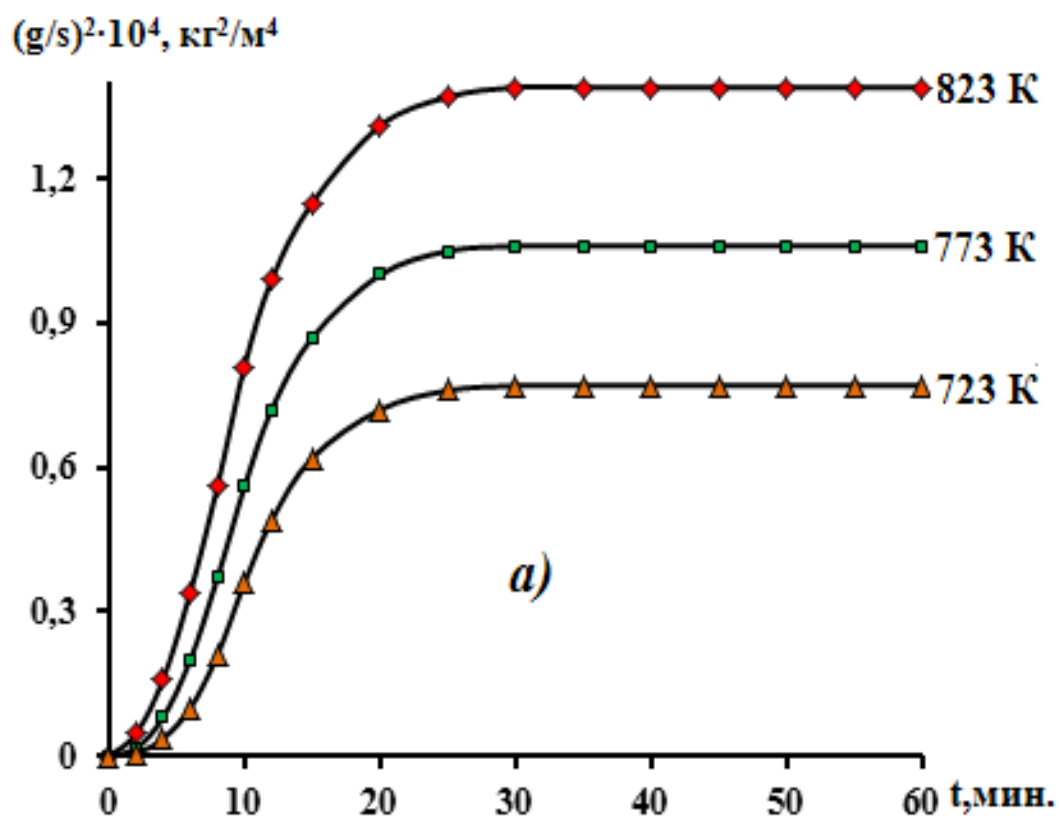
Расми 3.4. - Қаҷхатиҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий, % вазн: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

Качхатиҳои квадрати кинетики раванди оксидшавии алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо литий шакли ростхата надоранд, ки ин хусусияти гайрипараболии оксидшавии хӯлаҳоро нишон медиҳад, дар расми 3.5, 3.6 оварда шудааст. Дар қадвали 3.2 полиномаҳои качхатиҳои квадрати кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшаванда, пурра оварда шудааст. Ин полиномаҳо шакли муодилавии $y = k \cdot x^n$ -ро доранд, ки қиммати n метавонад аз 1 то 4 бошад. Ҳамчунин аз ин ҷо метавонем гуем, ки ин качхатиҳои квадратӣ шакли муодилаи полиномии 4ум дараҷаро доранд [128].

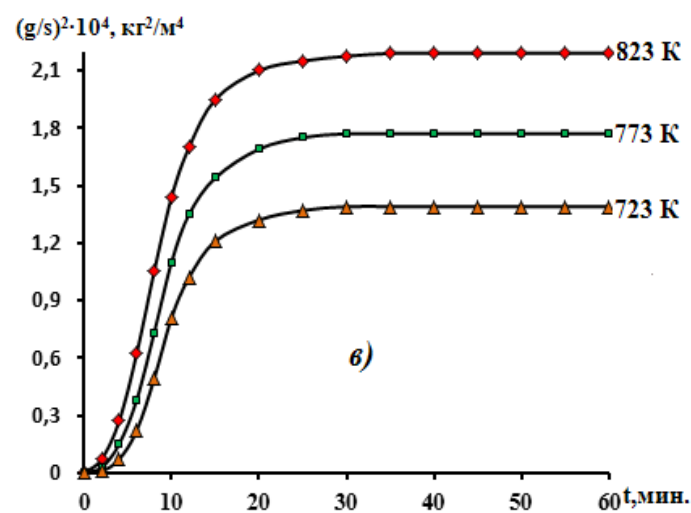
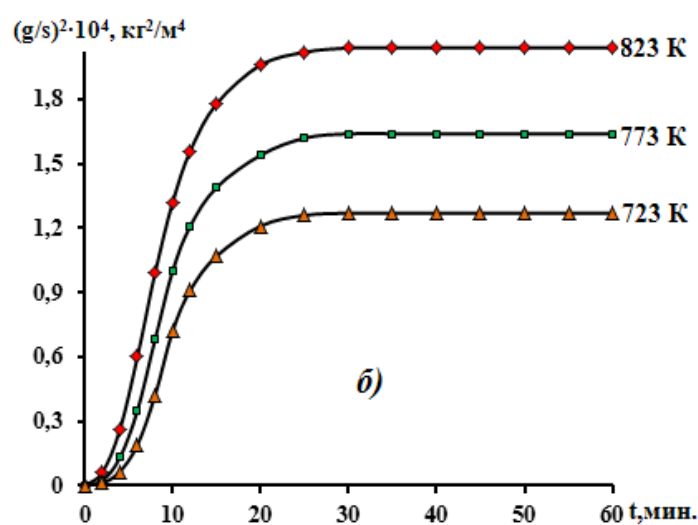
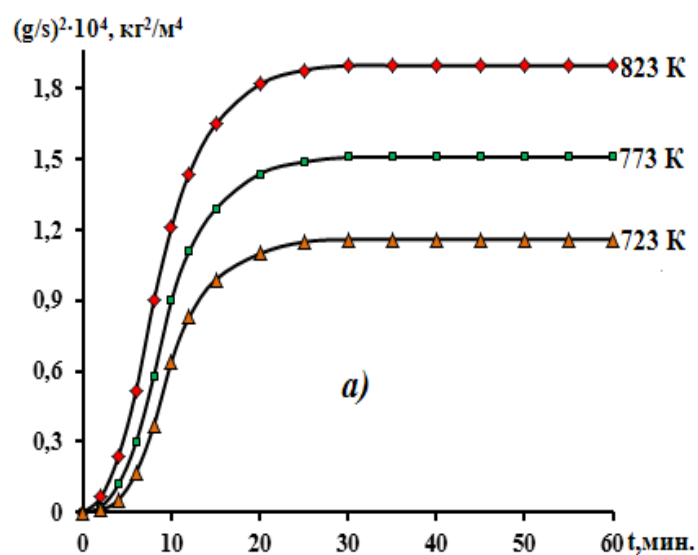
Қадвали 3.2. - Полиномаҳои качхатиҳои квадрати кинетики оксидшавии намунаҳо аз хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1 + \text{Li}$

Микдори иловаи Li, % вазн	Ҳарорати оксидкунӣ, К	Полиномҳои качхатиҳои квадрати кинетики оксидшавӣ	Коэфф. регрессии R^2
0.0	723	$y^* = -0,7 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,7584x^{**}$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0238x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3014x$	0,997
0.05	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 2,18 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,9358x$	0,977
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,18 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1958x$	0,982
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,75 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4761x$	0,990
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,22 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0184x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,77 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2953x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,74 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,6243x$	0,996
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,53 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,0847x$	0,978
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,18 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,3744x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,14 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,703x$	0,995
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 3,88 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,1613x$	0,976
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3}x^3 - 5,25 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,4497x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3}x^3 - 7,42 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,7679x$	0,996

Эзоҳ: y^* - зиёдшавии вазни намунаҳо, (кг/м²); x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t, дак.).

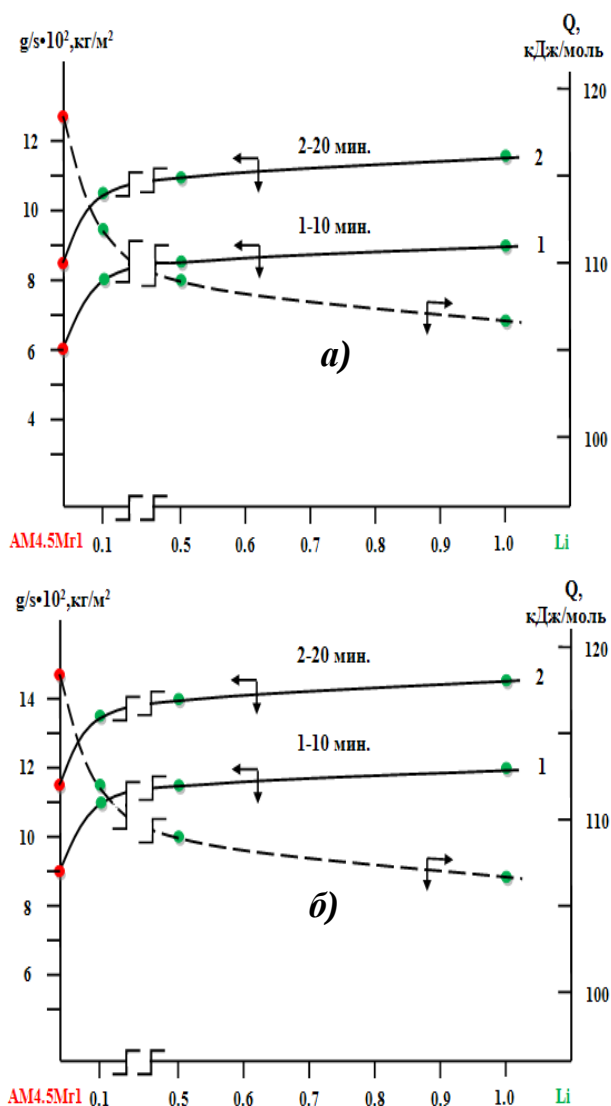


Расми 3.5. - Қаҷхатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ (а) бо литий, % вазн : 0.05(б)



Расми 3.6. - Қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо литий, % вазн : 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

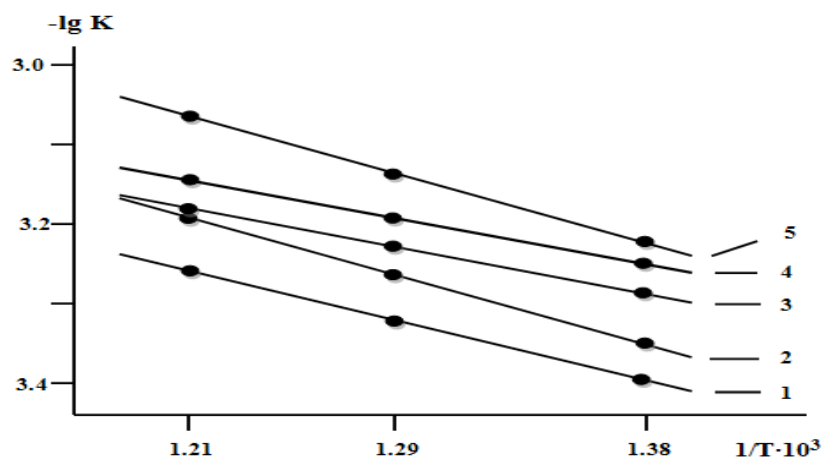
Изохронҳои оксидшавии ҳӯлаи алюминии AlCu4.5Mg1 , бо литий ҷавҳаронидашуда, дар расми 3.7. метавонед бинед. Мувофиқа бо ин расм, бо афзудани миқдори Li , суръати оксидшавӣ дар ҳарду озмоиш (10 дақиқа ва 20 дақиқа) меафзояд. Инро ҳангоми ҳарорати 823K хубтар дидан мумкин аст, чунки коҳиш ёфтани энергияи фаъолшавӣ бо зиёдшавии миқдори Li инро тасдиқ мекунад [128].



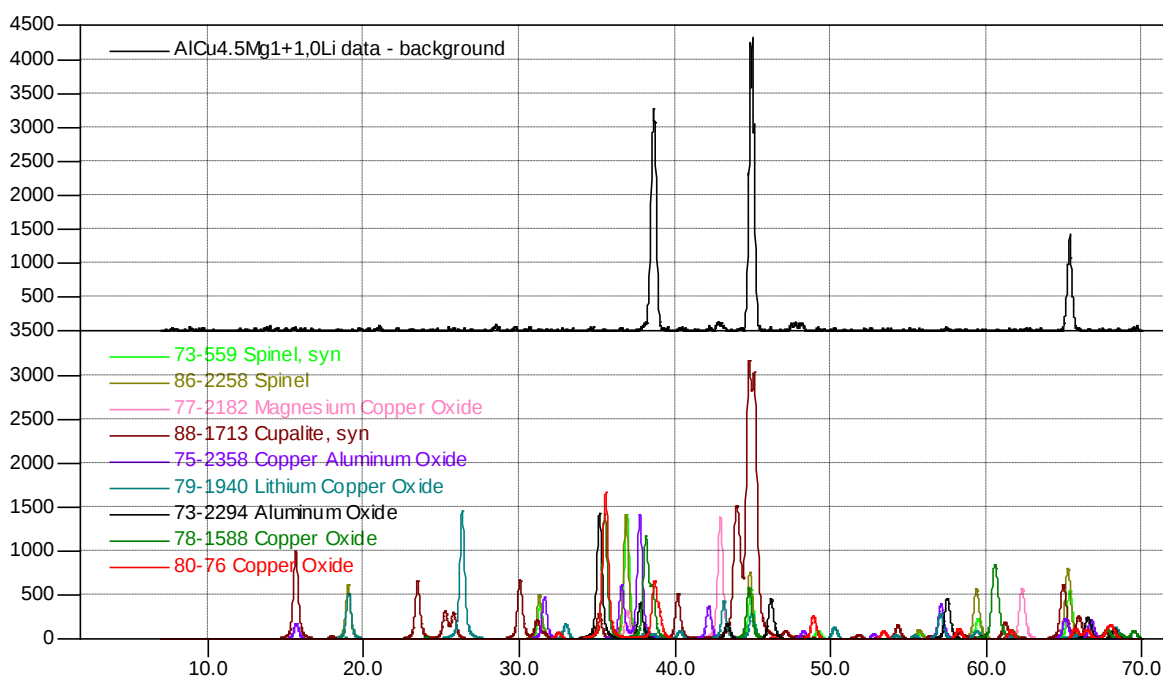
Расми 3.7. - Изохронҳои оксидшавии ҳӯлаи алюминии AlCu4.5Mg1 бо литий дар 723 K (а) ва 823 K (б) [128].

Дар расми 3.8. вобастагии $-\log K = f(1/T)$ барои ҳӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 , таркибаш 0,05 – 1,0 % вазн литий, ки табиати хаттӣ доранд нишон дода шудааст. Бо нишебии тангенсии маълумотҳои хатҳои рост,

бузургиҳои энергияи зохирии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳо муайян карда шуд [128].



Расми 3.8. - Вобастагӣ $-\log K = f(1/T)$ барои хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий (1), % вазн: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) [128]



Расми 3.9. - РФ дифрактограммы маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий

Аз рӯи натиҷаҳои таҳлили рентгенофазагии маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий (расми 3.9.) муқаррар карда шуд, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо оксидҳои зерин ҳосил мешавад: Al_2MgO_4 ; MgAl_2O_4 ; $\text{Mg}_{0.85}\text{Cu}_{1.15}\text{O}$; CuAlO_2 ; Li_2CuO_2 ; Al_2O_3 ; Cu_8O ; CuO [128].

Ҳангоми оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий оксидҳои ягона ва оксидҳои навъи шпинел ($(\text{Li}_2\text{CuO}_2, \text{Mg}_{.85}\text{Cu}_{.15}\text{O}$ ва ғ.) ҳосил мешаванд, ки онҳо хосияти муҳофизатиашон заиф буда, сабаби паст шудани оксидшавӣ намешаванд, бинобар ин бояд қайд кунем, ки ҳангоми зиёд шудани ҳарорат ва иловаҳои метали Li хосияти оксидшавии ин хӯлаҳо зиёдтар мешавад.

Иловаҳои Li дар хӯла агар ҳаҷми тақрибан 0.05 - 1.0 % вазиро дошта бошанд, пас суръати оксидшавии хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ баландтар мешавад. Ва барои ҳамин ҳам сохтани конструкцияҳо, ҷузъҳо ва қисмҳои эҳтиётӣ, ки аз ин хӯла сохта мешавад, ғайримақсаднок ҳисобида шуда барои истифода зери ҳарорати баланд мувофиқат намекунад.

Дар вақти омӯзиши таъсири иловаи Li ба суръати оксидшавии хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ маълум шуд, ки ин илова ҳангоми оксидшавӣ оксидҳои бисёркомпонентаи навъи шпинели ҳосил мекунад ва ин пайвастагӣҳо дар навбати худ хусусияти муҳофизатии хубро надоранд. Аз ин рӯ, оксидшавии хӯлаҳо боз ҳам зиёдтар мешавад. Иловаҳои ками Li дар хӯлаи ибтидоӣ метавонад қобили қабул бошад, танҳо дар суръати истифодаи қисмҳои аз ин хӯла, дар ҳароратҳои на он қадар баланд [128].

3.3. Таъсири натрий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, дар ҳолати сахт

Натиҷаҳои энергетикӣ ва кинетикии раванди омӯзиши термогравиметрӣ дар ҳолати сахт, хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, ки бо натрий ҷавҳаронида шудааст дар ҷадвали 3.3 пурра оварда шудааст. Ба назар афзудани суръати миёнаи оксидшавӣ мерасад, ки аз ҳарорат ва миқдори иловаҳои Na дар ҳудудҳои 0,05 - 1,0 % вазн мегузарад. Дар ҳароратҳои 723 К ва 823 К суръати миёнаи оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ Na мутаносибан ба $2,26 \cdot 10^{-2}$ ва $2,73 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ва дар хӯлаҳо бо иловаи 1,0 % вазн Na ба $2,49 \cdot 10^{-2}$ ва $2,94 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробаранд. Арзиши энергияи фаъолшавии оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшаванда аз 118,5 то 102,9 кҶ/мол

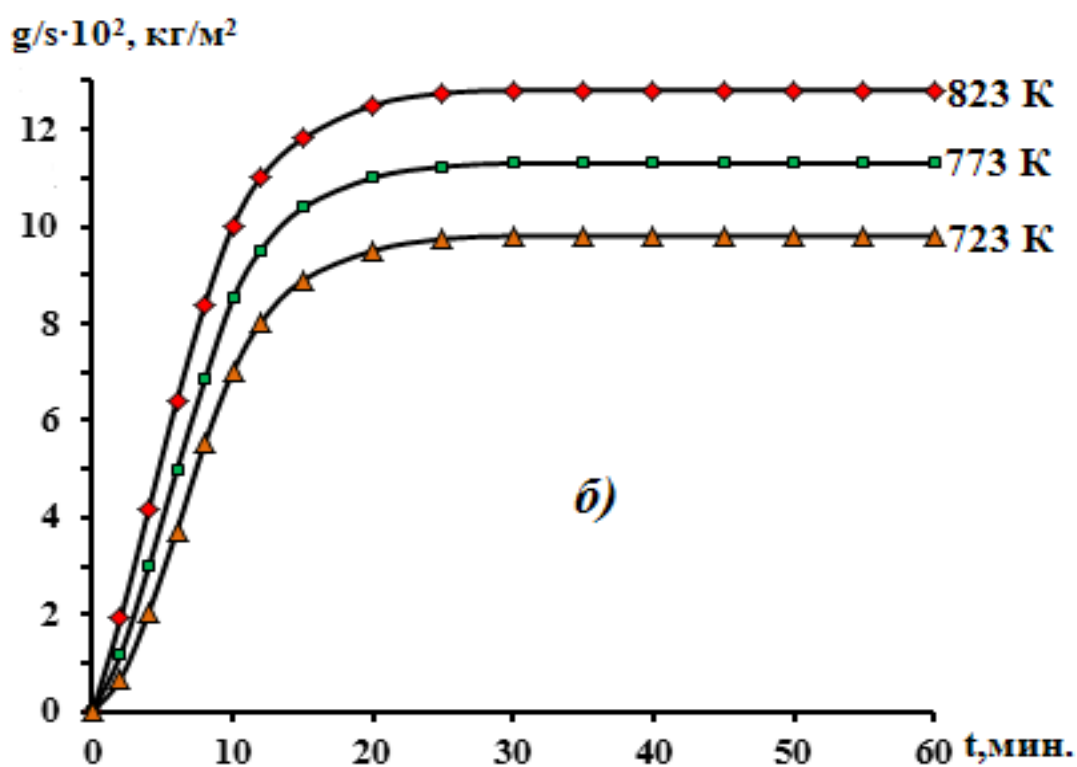
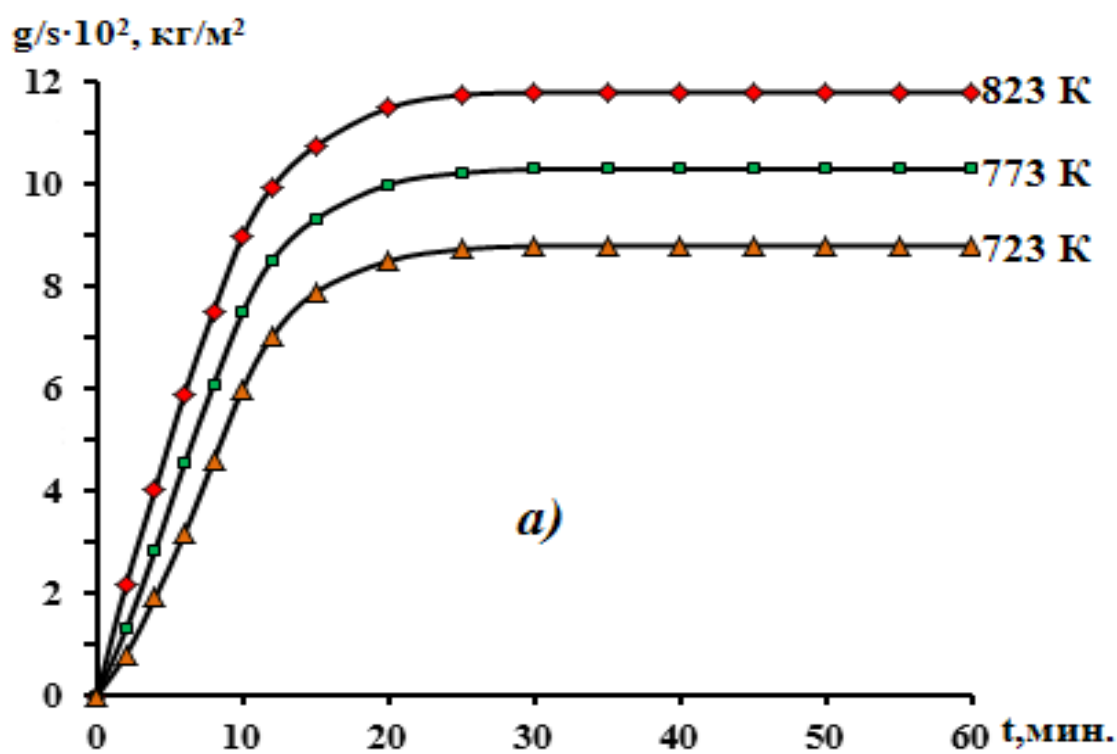
коҳиш меёбад, ки ин маънои онро дорад, ки раванд шиддатноктар мегузарад.

Бо мақсади хубтар фаҳмидани равандҳо, дар расмҳои 3.8.-3.11. қатъиҳои кинетикии оддӣ ва қатъиҳои квадратии кинетикии оксидшавӣ, ки нишондиҳандаи ивазшавии вазни намунаҳо бо гузашти вақт мебошанд, барои намунаҳо аз ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаи элементҳои Na ба миқдорҳои 0.05, 0.1, 0.5, 1.0% вазн оварда шудаанд. Бояд қайд кунем ки ин таҳқиқотҳо дар ҳароратҳои 723, 773, 823 К гузаронида шуда буданд.

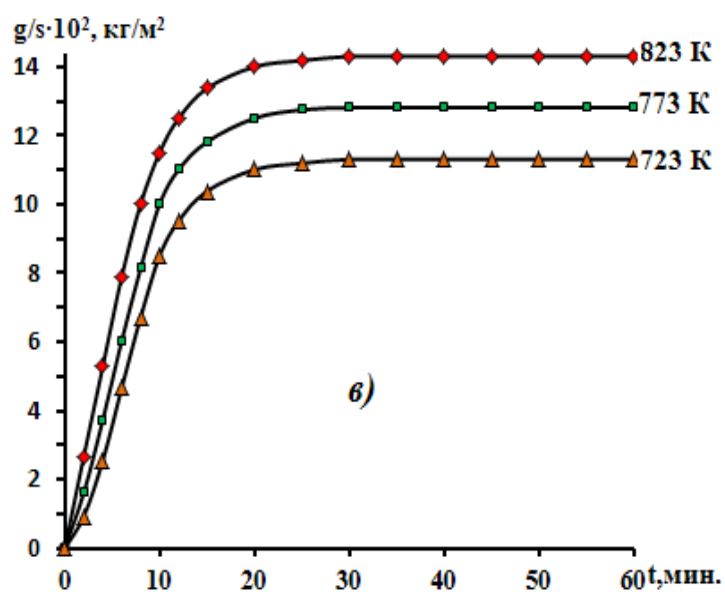
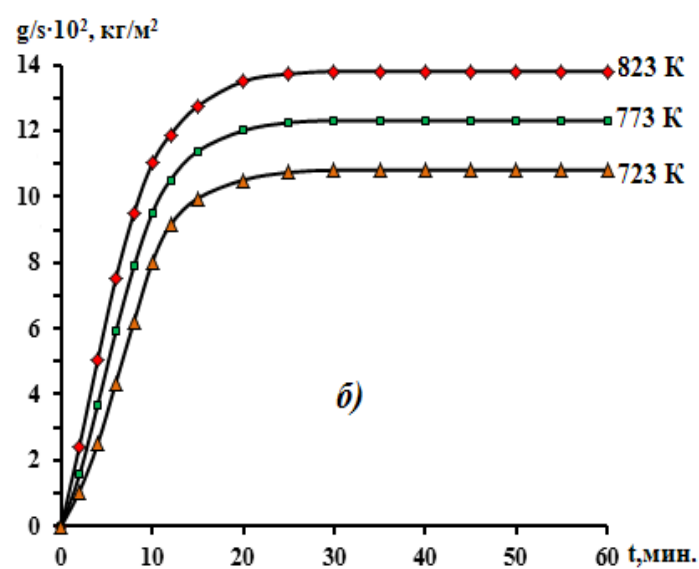
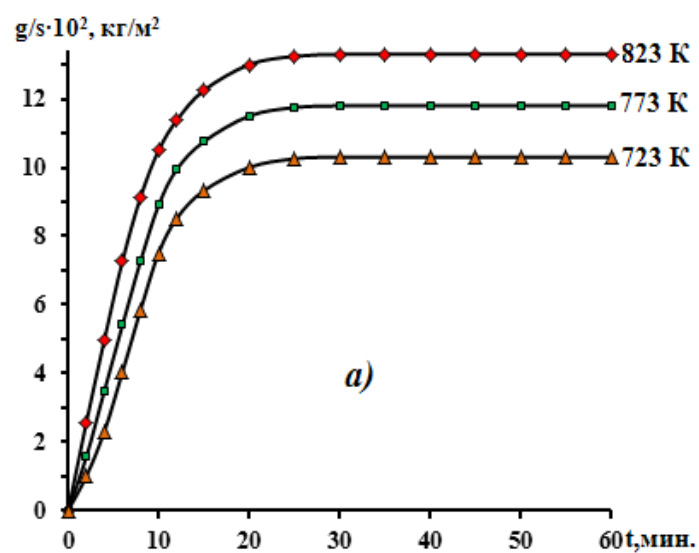
Ҷадвали 3.3. – Арзишҳои энергетикӣ ва кинетикии раванди оксидшавии ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1 + \text{Na}$, дар ҳолати сахт [129]

Миқдори натрий дар ҳӯла, % вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, $\text{К} \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи зоҳирӣ фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.36	111.5
	773	2.55	
	823	2.81	
0.1	723	2.39	108.7
	773	2.60	
	823	2.85	
0.5	723	2.44	105.0
	773	2.63	
	823	2.89	
1.0	723	2.49	102.9
	773	2.66	
	823	2.94	

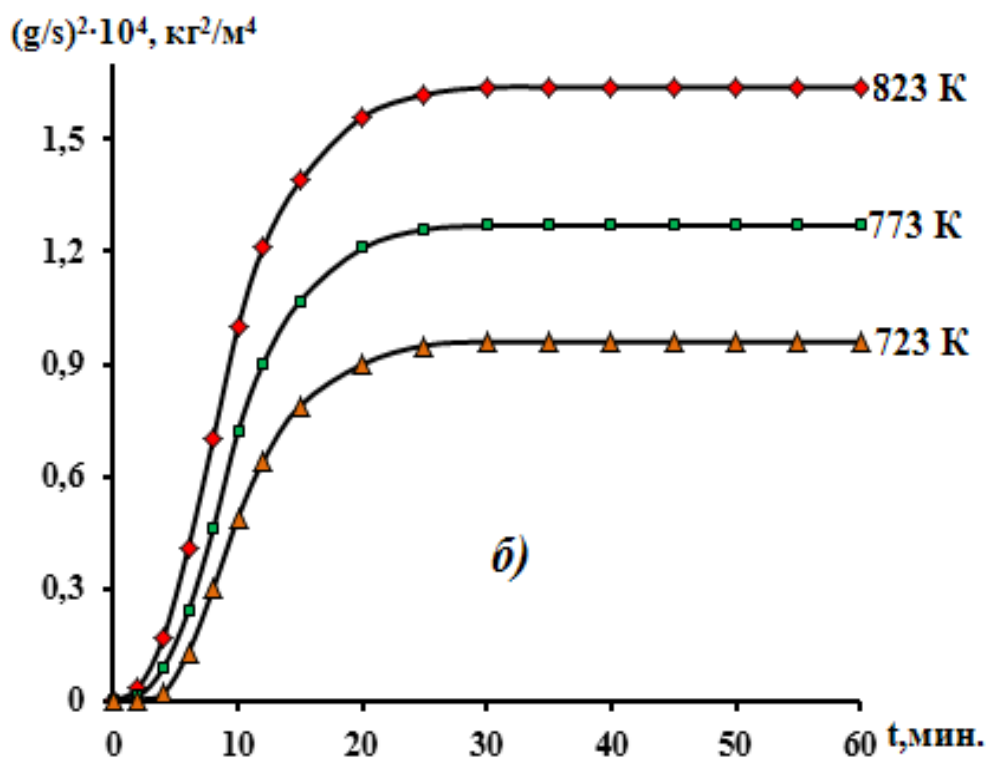
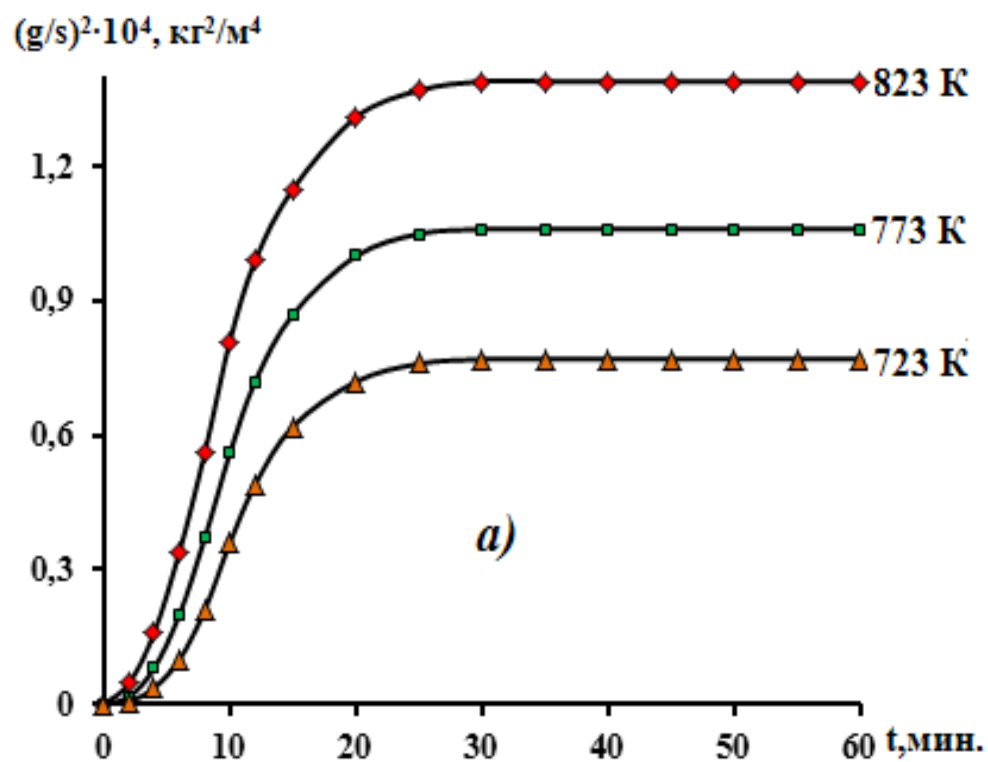
Оксидшавии намуна тақрибан аз 15 то 20 дақиқаро ташкил дода, дар ин раванд роли калонро диффузияи гази оксиген ва таъсири он бо металл, мебозад [129].



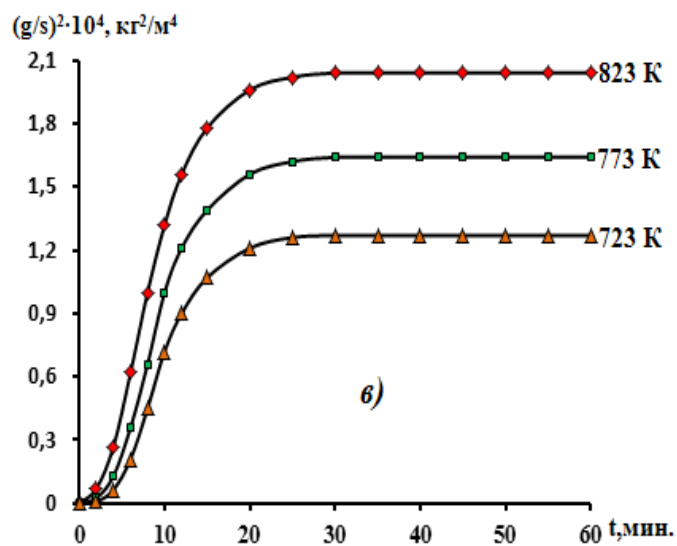
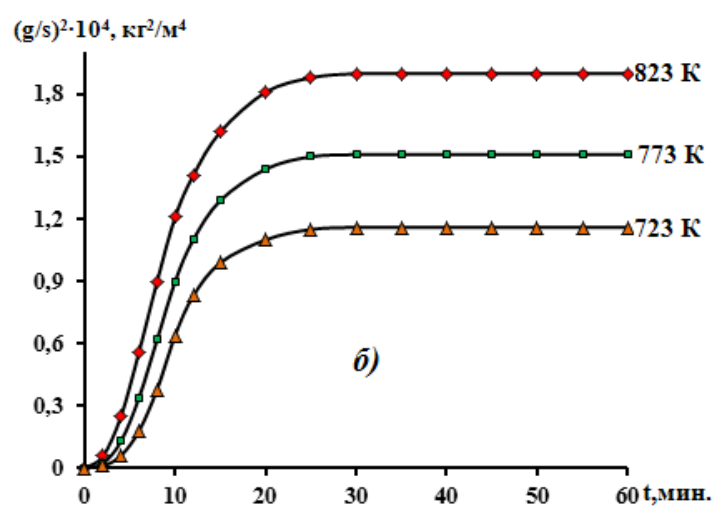
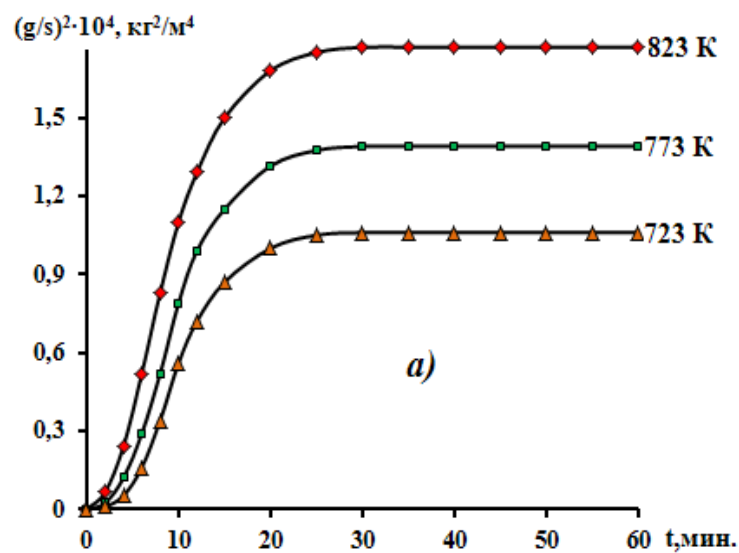
Расми 3.8. - Қаҳатиҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ (а) бо натрий, % вазн: 0.05 (б)



Расми 3.9. - Қаҳаатиҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий, % вазн: 0.1(а); 0,5(б); 1.0 (в)



Расми 3.10. - Қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий AlCu_{4,5}Mg₁ (а) бо натрий, % вазн: 0,05 (б)



Расми 3.11. - Качхатихои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ бо натрий, % вазн: 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

Вобастагии арзишҳои бузургиҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳо пеш аз ҳама аз он иборат аст, ки дар рафти ин реаксия оксидҳои кадом намуд ҳосил мешаванд ва намунаи таҳқиқшавандаро аз оксидшавӣ дар кадом сатҳ эмин медоранд. Агар пардаи оксидӣ яклухт набошад ва ковокиҳои зиёд дошта бошад, ин ба гузаштани оксигени ҳаво боис мешавад ва суръати оксидшавӣ метавонад баланд шавад. Ба вучуд омадани пардаи зичи яклухт, намунаро пурра ихота карда, намегузорад, ки оксигени ҳаво бо хӯла ба реаксия равад ва бо ин роҳ ба сушт шудани ҳуди реаксия ва пастравии суръати оксидшавӣ оварда мерасонад. Натиҷаҳои таҳқиқотҳо коркард шуда, дар ҷадвали 3.4. пурра оварда шудаанд [129].

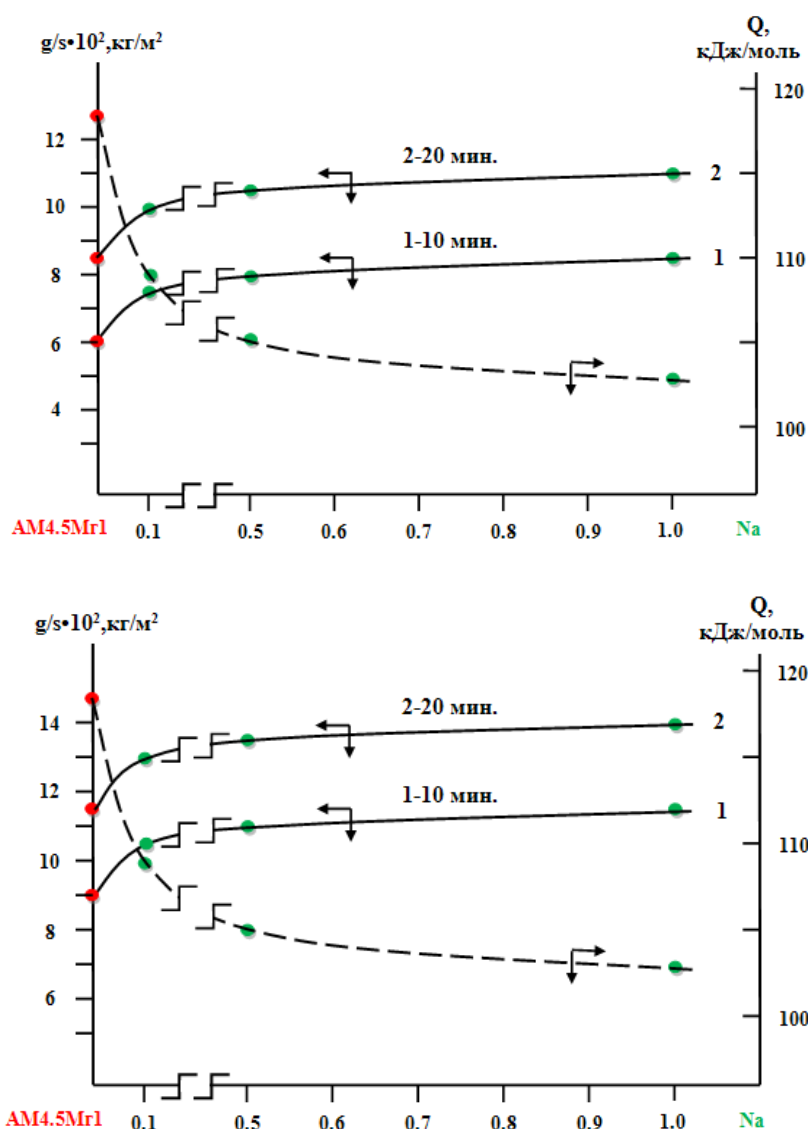
Ҷадвали 3.4. - Полиномҳои қачхатиҳои квадратии кинетикӣ
баландҳарорати хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ иловаҳои Na

Миқдори иловаи Na, % вазн	Ҳарорати оксидкунӣ,	Полиномҳои қачхатиҳои квадратии кинетикӣ	Коэфф. регрессия R
0.0	723	$y^* = -0,7 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,7584 x^*$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0238 x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3014 x$	0,997
0.05	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1} x^4 + 0,3 \cdot 10^{-3} x^3 - 2,66 \cdot 10^2 x^2 + 0,8878 x$	0,979
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3} x^3 - 4 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,1409 x$	0,986
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6} x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,62 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,4269 x$	0,994
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,02 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,9608 x$	0,982
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3} x^3 - 4,48 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,2275 x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7} x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 6,56 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,5692 x$	0,998
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,39 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0388 x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,02 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3255 x$	0,990
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8} x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 6,79 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,6274 x$	0,996
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,65 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0997 x$	0,979
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,18 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3748 x$	0,989
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8} x^4 + 1,3 \cdot 10^{-3} x^3 - 7,3 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,7211 x$	0,996

Эзоҳ: y^* - зиёдшавии вазни намунаҳо, ($\text{кг}/\text{м}^2$); x^* - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t, дақ.).

Механизми раванди оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаи Na бо истифода аз муодилаҳои каҷхатҳои квадратии кинетикии оксидшавии намунаҳо аз бастаи программавии Microsoft Excel, бо қиммати коэффисиенти коррелятсия $R = 0,979 \div 0,997$ (ҷадвали 3.4) муқаррар карда шуданд.

Дар расми 3.12. изохронҳои оксидшавии хӯлаҳо, мутаносиб ба ҳарорати 723 ва ҳарорати 823 К оварда шудааст. Аз рафти ин каҷхатҳо метавонем хулоса кунем, ки бо зиёдшавии иловаи элементи легиркунанда, яъне Na, суръати раванди оксидшавӣ бо шуда, ин ба кам шудани энергияи фаъолшавӣ дар ин раванд оварда мерасонад.



Расми 3.12. - Изохронҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий дар 723 К (а) ва 823 К (б)

Қаҷхатиҳои вобастагии $-\lg K = f(1/T)$ барои хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо Na -ро метавонем дар расми 3.13. мушоҳида кунем. Дар ҳудудҳои додашуда, ҳамаи хатҳо ба таври ростхатта мераванд ва қаҷхатиҳои ба хӯлаҳои бо иловаи Na тааллуқ дошта, нисбати хати хӯлаи ибтидоӣ болотар ҷой гирифтаанд. Оиди суръати оксидшавии хӯлаҳо гуфтан мумкин аст, ки хӯлаҳо бо иловаи Na нисбат ба хӯлаи ибтидоӣ арзиши калонтари суръати оксидшавиро дарад. Пешгӯйии ин арзишҳо мумкин буд, зеро суръати оксидшавӣ аз ҳосилиҷамъи равандҳо ва таъсиротҳои гуногун пайдо мешавад. Новобаста аз ин, метавонем қонуниятҳои мавҷудаи, ки ба оксидшавии ҷисмҳои саҳт зери ҳарорати баланд дахлдоранд, метавонем пай барем.

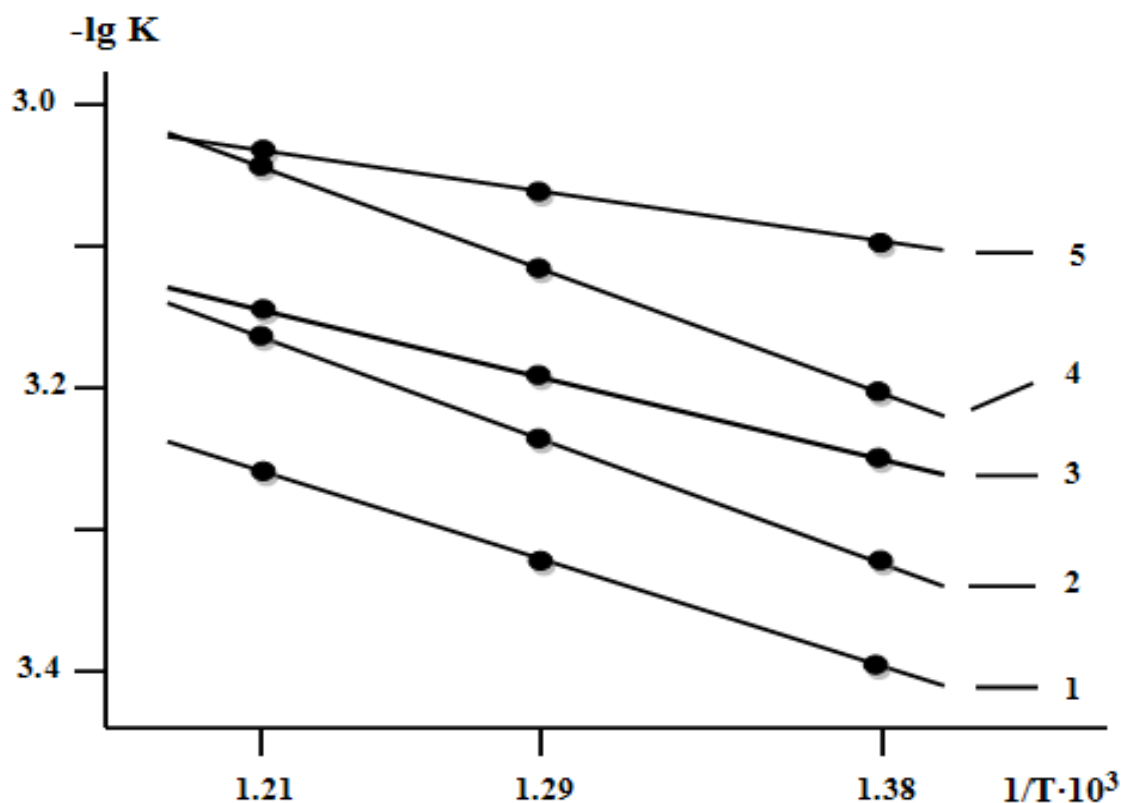
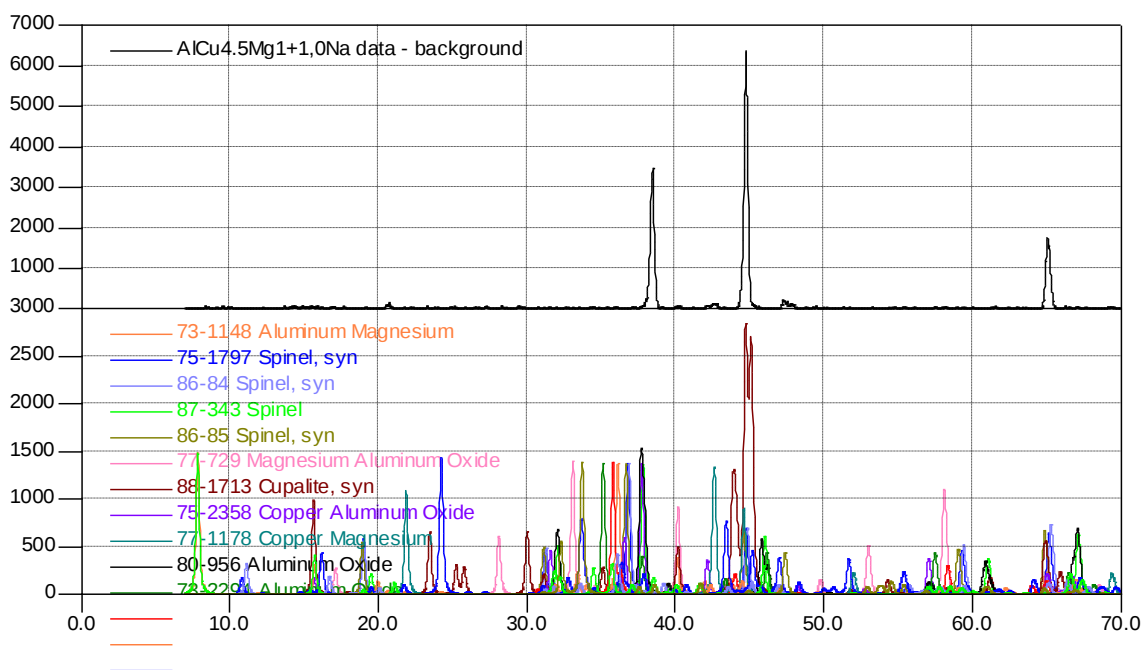


Рисунок 3.13. - Вобастагии $-\lg K = f(1/T)$ барои намунаҳо аз хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо натрий, % вазн: 0.0 (1); 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) [129]

Пеш аз ҳама бояд қайд кард, ки бо баланд шудани ҳарорат дар муҳити корӣ, суръати оксидшавӣ низ меафзояд. Ҳангоми ҳамроҳ кардани Na ба хӯлаи ибтидоӣ, энергияи фаъолшавӣ кам шуда суръати таъсири металл бо оксигени ҳаво баланд мешавад. Доимии суръати ҳақиқии оксидшавӣ ҳангоми ҳароратҳои якхела барои хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо метали Na (0.05; 0.1; 0.5; 1.0 % вазн), нисбати хӯлаи ибтидоӣ зиёдтар буда дараҷаи 10^{-4} –ро дорад. Барои муайян кардани омилҳои, ки ба суръати оксидшавӣ метавонанд таъсир кунанд, таҳлили сохтор ва морфологияи онҳо гузаронида шуд [129].

Аз рӯи натиҷаҳои таҳлили рентгенофазавии маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо 1,0 % вазн натрий муқаррар карда шуд, ки ҳангоми оксидшавӣ оксидҳои зерин ҳосил шуд: MgAl_2O_4 , $(\text{Al}_{0.94}\text{Mg}_{0.06})_2\text{O}_4$, $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$, $(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$, $\text{Mg}_{0.36}\text{Al}_{2.44}\text{O}_4$, CuAlO_2 , $\text{Al}_{10.666}\text{O}_{16}$, Al_2O_3 (расми 3.14.) [129]. Дар маҷмӯъ, иловаи натрий дар ҳудуди 0,05 - 1,0 % вазн ба хӯлаи ибтидоии алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ оксидшавии онро зиёд мекунад.



Расми 3.14. - Дифрактограммаи таҳлили маҳсулоти оксидшавӣ

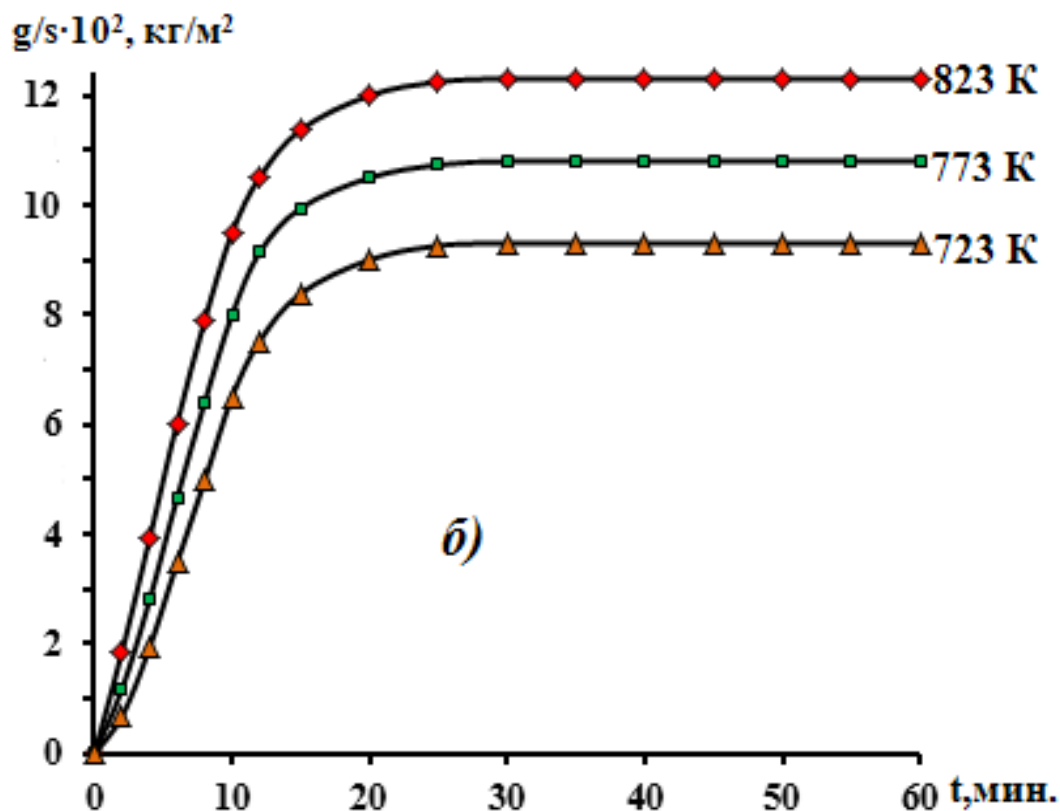
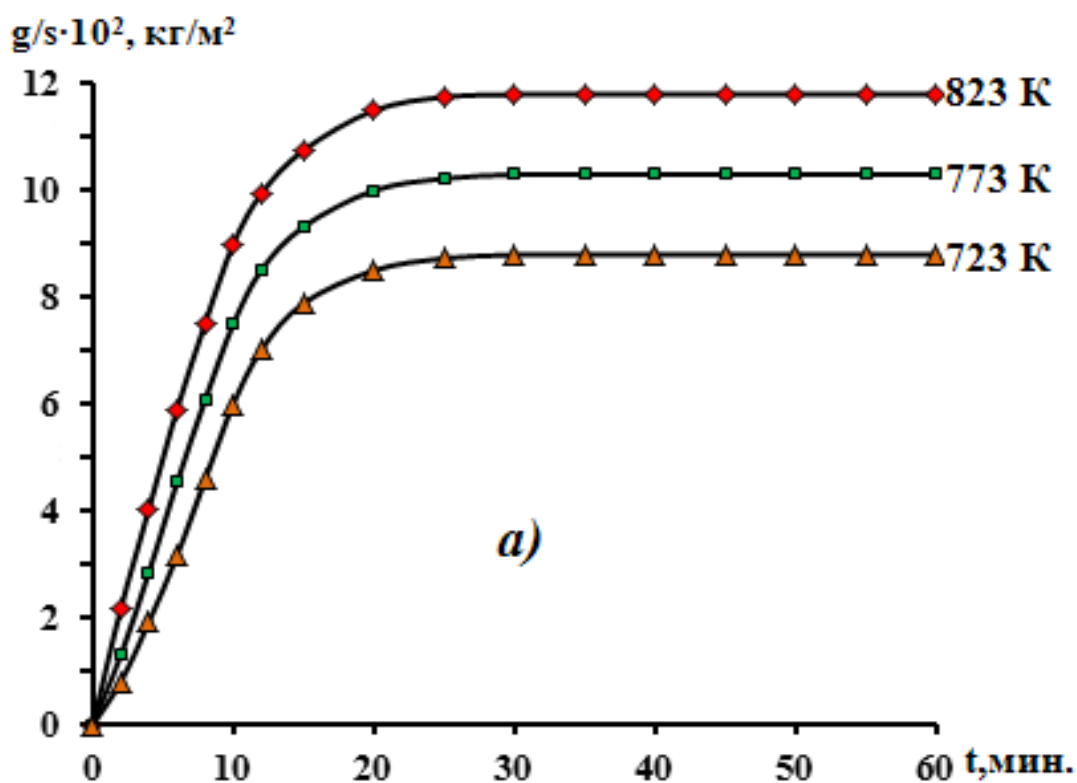
3.4. Таъсири калий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи

$\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, дар ҳолати сахт

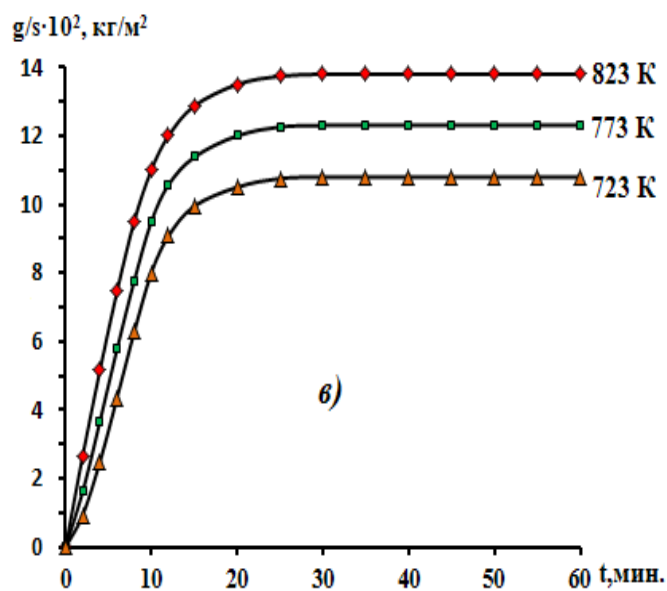
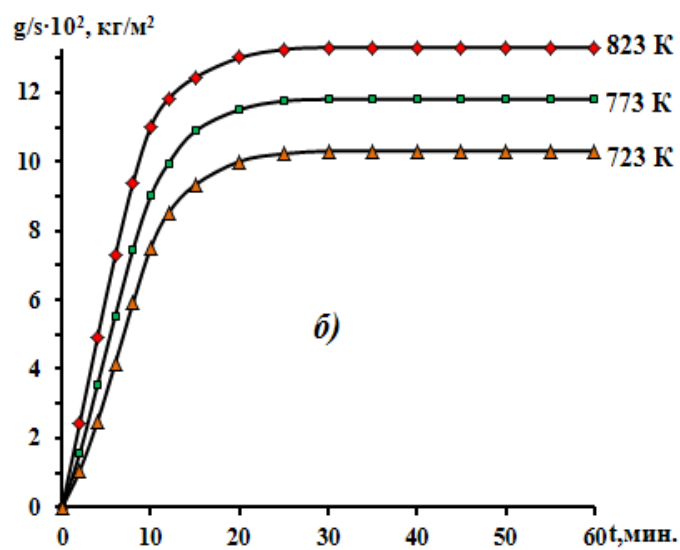
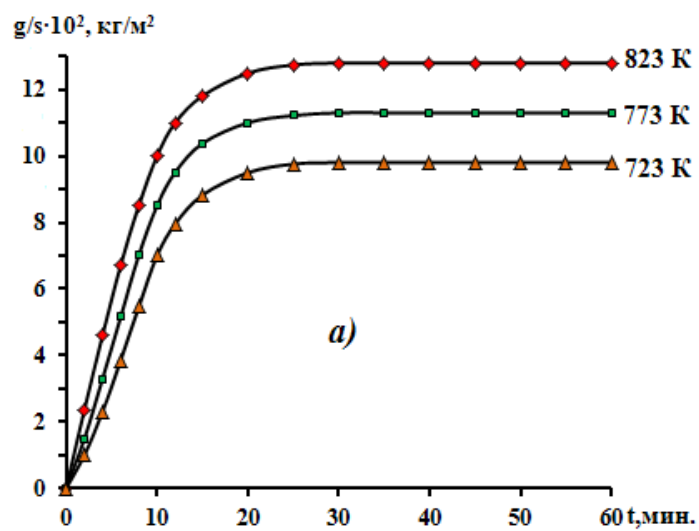
Таҳқиқотҳои дар ин қисм гузаронидашуда пурра аз рӯйи усуле, ки дар қисмати 3.1. оварда шудааст, гузаронида шуданд. Ин қисми кор бахшида шудааст ба омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, бо иловаҳои хурди метали К дар ҳудуди 0,05-1,0% аст.

Як қатор корҳои илмӣ таҳқиқотӣ оид ба омӯзиши суръати оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои К гузаронида шуда, натиҷаҳои ба даст омада дар ҷадвалҳои 3.11. 3.12. ва расмҳои 3.15. 3.20. нишон дода шудаанд. Мувофиқи раванди қатъатҳо дида мешавад, ки оксидшавӣ давоми 15-20 дақиқа аз саршавии омӯзиш бо суръати баланд гузашта, намунаҳо вазни худто ба таври назаррас зиёд мекунанд. Дар ин раванд қабати оксидӣ гирди намуна ҳосил шуда, барои расидани оксигена ҳаво ба намуна монеагӣ мекунад, ки ин сабаби устуворшавии раванд шуда, он дар як арзиш қарор мегирад. Дар расми 3.15. қатъатҳои ин равандҳо оварда шудаанд.

Дар расми 3.15. қатъатҳои кинетикии тағйирёбии вазни хоси намунаҳои хӯлаи (g/s) дар вобастагӣ аз вақти таъсири мутақобила (t) бо фазаи гази оксиген ва ҳарорат нишон дода шудааст. Дар расмҳои 3.15. 3.21. оварда шудааст, ки аз сонияи якуми таъсири мутақобилаи оксигени ҳаво ва намуна ташаккулёбии пардаи оксидӣ сар шуда, то тақрибан 20 дақиқа ин раванд давом меёбад. Бояд гуфт, ки дар сония ва дақиқаҳои аввали рафти оксидшавӣ, пардаи ҳосилшуда тунук ва сӯрохидор буда, намунаро аз оксидшавӣ ҳифз карда наметавонад. Бинобар ҳамин, чуноне, ки дар расм мебинем, баландшавии суръати оксидшавиро мо қайд кардем.



Расми 3.15. - Качхатҳои раванди оксидатсии ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$
(а) бо калий, % вазн: 0.05 (б)



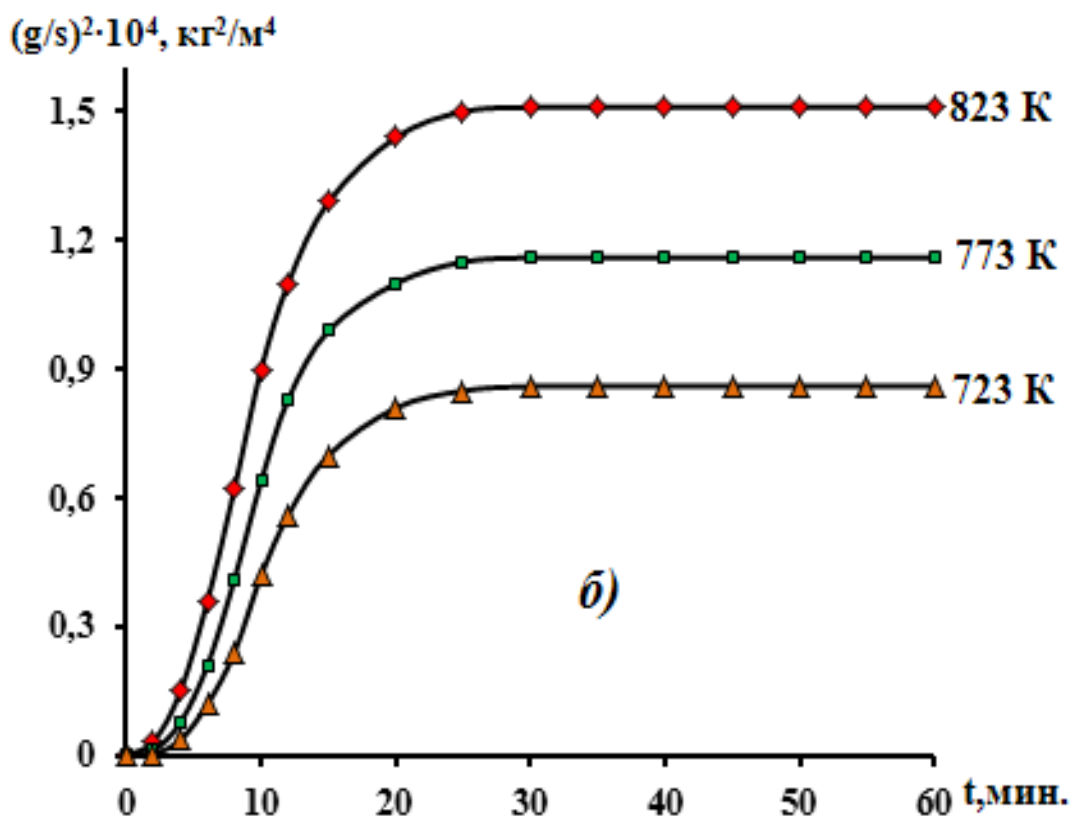
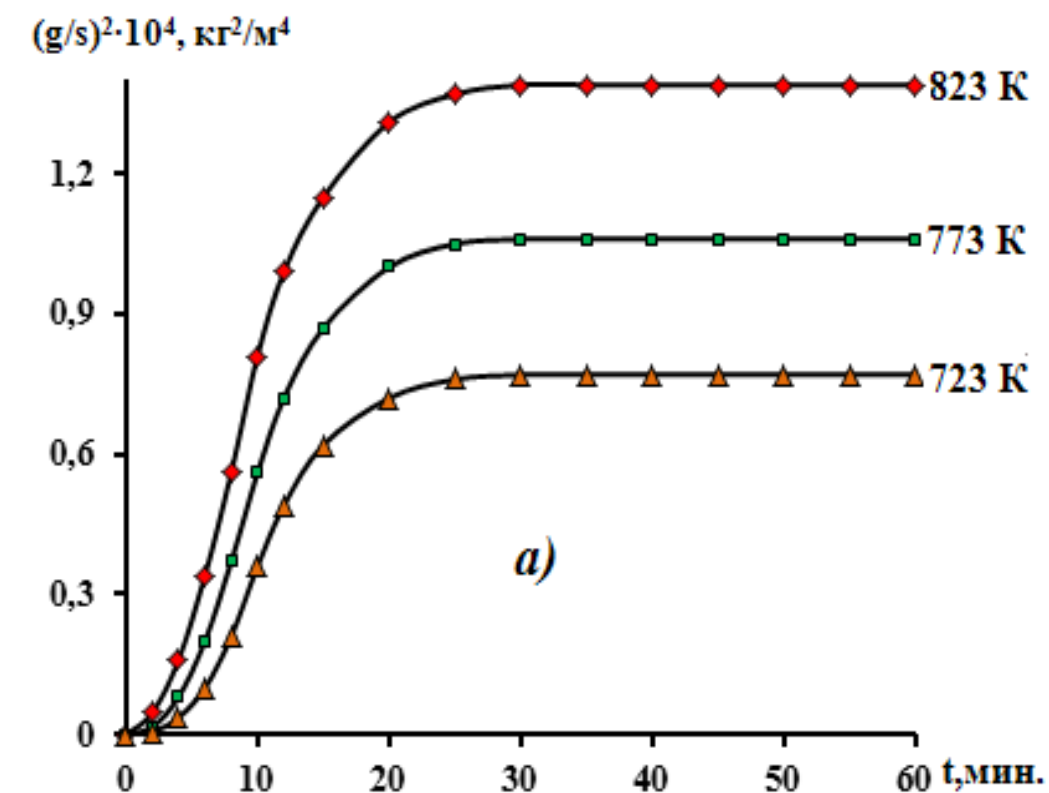
Расми 3.16. - Қаҳхатиҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий, % вазн: 0,1 (а); 0,5 (б); 1.0 (в)

Суръати миёнаи оксидшавии хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ дар ҳароратҳои 723 К ва 823 К мутаносибан $2,26 \cdot 10^{-2}$ ва $2,73 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ва барои хӯла бо илова 1,0 % вазн калий дар ҳамин ҳароратҳо ба $2,53 \cdot 10^{-2}$ и $2,99 \cdot 10^{-2}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ баробар мешаванд. Самараноки энергияи зоҳирии фаъолшавии раванди оксидшавии ҳарорати баланди хӯлаи тадқиқотшуда аз 118,5 то 98,5 кҶ/мол тағйир меёбад (ҷадвали 3.11.).

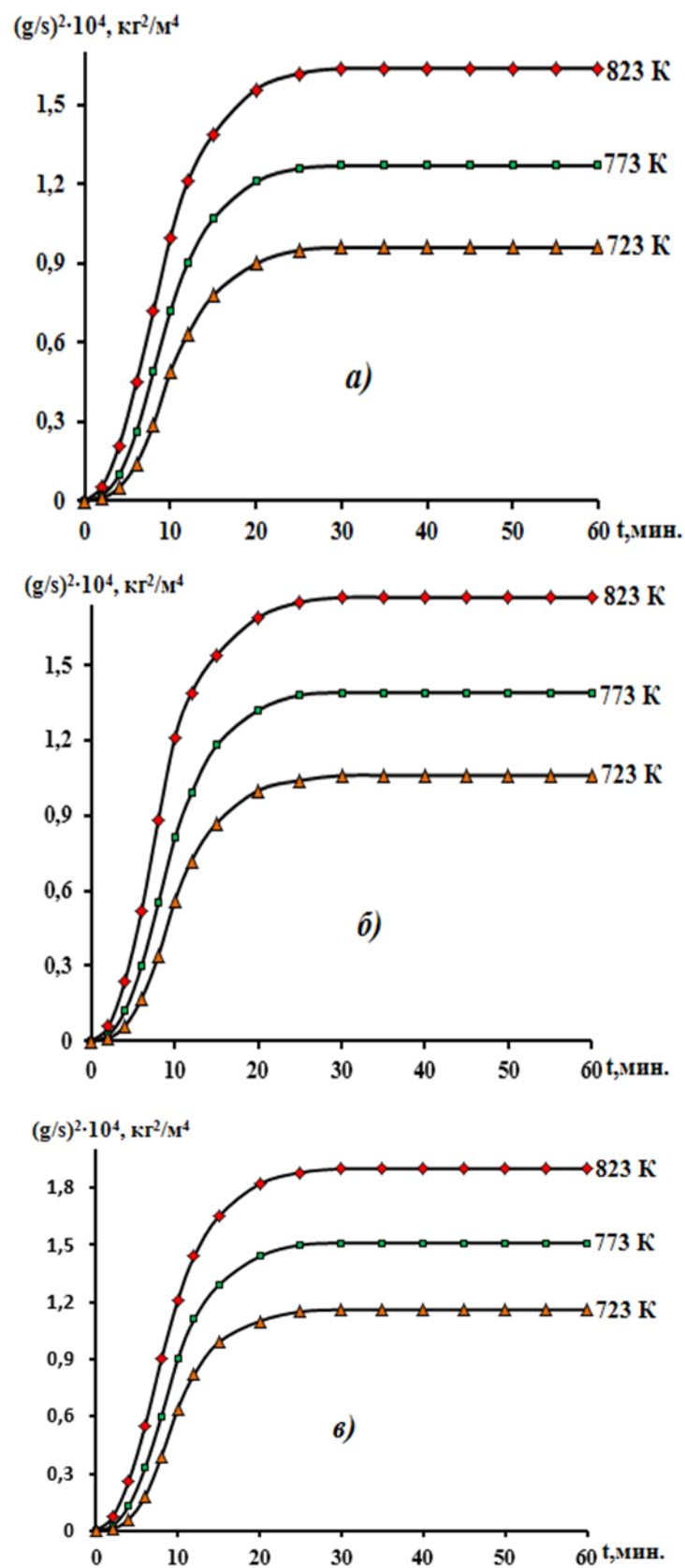
Ҷадвали 3.11. - Параметрҳои энергетикӣ ва кинетикӣ оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои К

Миқдори Li дар хӯла, % вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, $\text{К} \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи зоҳирӣ фаъолшавӣ,
0.0	723	2.26	118.5
	773	2.45	
	823	2.73	
0.05	723	2.40	109.0
	773	2.59	
	823	2.85	
0.1	723	2.44	106.1
	773	2.64	
	823	2.89	
0.5	723	2.48	101.9
	773	2.68	
	823	2.94	
1.0	723	2.53	98.5
	773	2.70	
	823	2.99	

Қаҷхатиҳои квадрати кинетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи алюминий шакли ростхата нестанд, ки гувоҳии он аст, ки раванди оксидшавӣ хусусияти ғайрипараболӣ дорад (расми 3.17 ва 3.18).



Расми 3.17. - Қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ (а) бо калий, % вазн: 0.01(б)



Расми 3.18. - Қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи алюминийи AlCu_{4,5}Mg₁ бо калий, % вазн : 0,1(а); 0,5(б); 1.0 (в)

Дар ҷадвали 3.12. полиномҳои қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавиро метавонем бинем, ки шакли муодилаи $y = k \cdot x^n$ -ро дорад. Дар ин муодила қимати “n” аз 1 то 4 – ро дорад. Ҳамчунин метавонем бинем, ки қачхатиҳои квадратӣ қонунияти гиперболиро доранд.

Ҷадвали 3.12. - Полиномҳои қачхатиҳои квадрати кинетикӣ барои оксидшавии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо калий

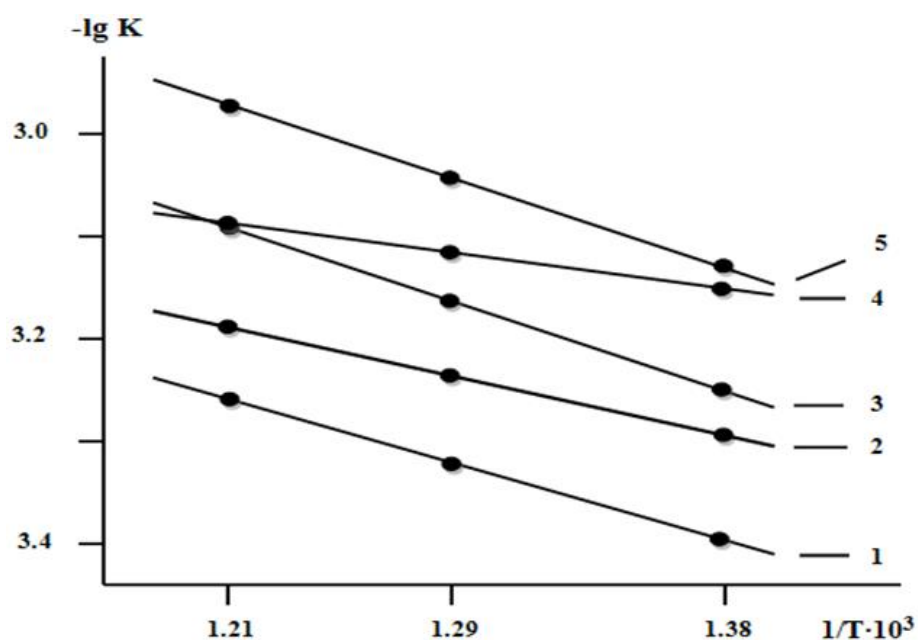
Микдори иловаи К, % вазн	Ҳарорати оксидкунӣ, К	Полиномҳои қачхатиҳои квадрати кинетикӣ	Кэфф. регрессия R ²
-	723	$y^* = -0,7 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 2,11 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,7584 x^{**}$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,55 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0238 x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,11 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3014 x$	0,997
0.05	723	$y = -0,7 \cdot 10^{-6} x^4 + 0,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 2,32 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,8159 x$	0,988
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,5 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,7 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0761 x$	0,989
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,9 \cdot 10^{-3} x^3 - 5,21 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3477 x$	0,994
0.1	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-1} x^4 + 0,3 \cdot 10^{-3} x^3 - 2,8 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,9027 x$	0,989
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3} x^3 - 4,31 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,1772 x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6} x^4 + 1 \cdot 10^{-3} x^3 - 6,01 \cdot 10^{-2} x^2 + ,4732 x$	0,997
0.5	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,17 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,9784 x$	0,985
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^4 + 0,7 \cdot 10^{-3} x^3 - 4,67 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,2518 x$	0,991
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8} x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 6,92 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,6196 x$	0,994
1.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,4 \cdot 10^{-3} x^3 - 3,37 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,0361 x$	0,980
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3} x^3 - 4,95 \cdot 10^{-2} x^2 + 1,3177 x$	0,990
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8} x^4 + 1,2 \cdot 10^{-3} x^3 - 6,9 \cdot 10^{-2} x^2 + ,6428 x$	0,997

Эзоҳ: y^* - зиёдшавии вазни намунаҳо, (кг/м²); x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ, (t, дақ.).

Таъсири мутақобилаи хӯлаи алюминийи AlCu4,5Mg1 бо калийи концентратсияҳои гуногун бо фазаи газии оксиген дар ҳароратҳои тадқиқотшуда аз оксидшавии хӯлаи ибтидоии AlCu4,5Mg1 хеле фарқ мекунад. Тақрибан то 15-ум дақиқа ин раванд ба назар расида, баъди 20-ум

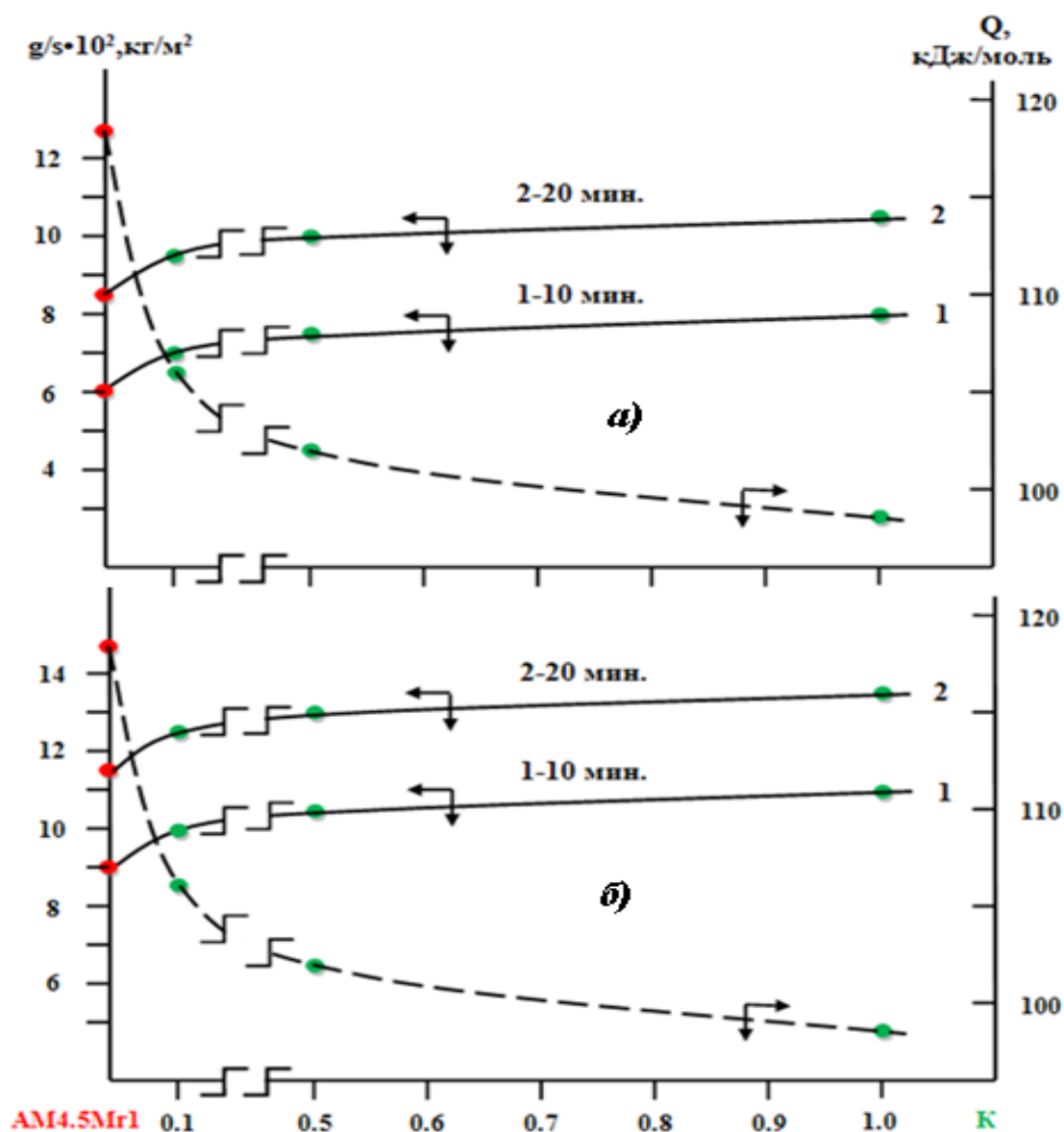
дақиқа, бо ба вуҷуд омадани пардаи оксидӣ суръати оксидшавӣ суст шуда, шакли гиперболикиро қабул карда, ҳуди раванд ба ҳолати оромӣ меояд (расми 3.19).

Дар координатҳои $-\log K$ аз $1/T$ қатъаҳои раванди оксидшавӣ зери ҳарорати баланд бо хатҳои рост нишон дода мешавад (расми 3.19), ки бо кунҷи майли онҳо самаранокии энергияи фаъолшавии оксидшавии ҳулаҳо ҳисоб кардан мумкин аст. Ҳангоми муқоисаи натиҷаҳои ҳулаҳои таҳқиқкардашуда дида шуд, ки ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо иловаи 1,0 % вазн метали К, суръати баландтарини оксидшавиро аз байни ҳама намунаҳо дошта, энергияи фаъолшавии 98,5 кҶ/мол-ро дорад, ки барои ҳулаи ибтидоӣ арзиши 118,5 кҶ/мол буд. Ин ҳама қиматҳо дар ҷадвали 3.11 пешниҳод шудааст.



Расми 3.19. - Вобастагии $-\log K$ аз $1/T$ барои ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 (1) бо калий, % вазн: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5)

Қаҷхатиҳои кинетикии суръати оксидшавӣ дар ҳарорати баланд ҳулаи алюминий AlSi4.5Mg1 бо афзоиши якхела суръати воқеии оксидшавӣ ва камшавии самаранокии энергияи фаъолкунӣ дар ҳолати то 1,0 вазн.% будани миқдори компоненти иловашуда дар ҳулаи аслий тавсиф карда мешавад. (расми 3.20.).

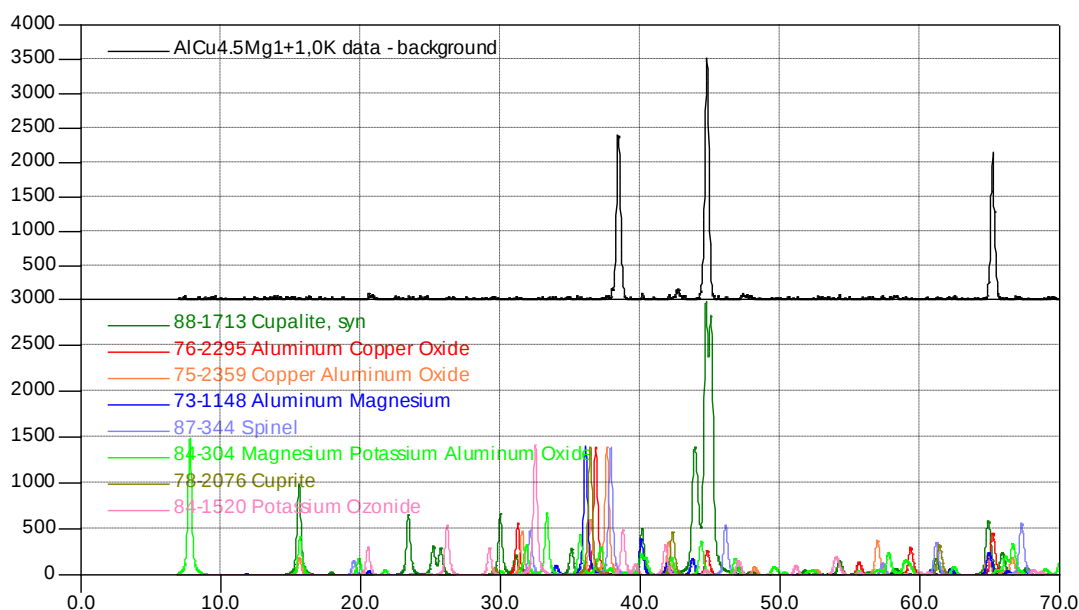


Расми 3.20. - Изохронҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий дар 723 К (а) ва 823 К (б)

Бо мақсади пурра фаҳмидани ҳама раванд ва таъсиротҳое, ки дар намунаи хӯлаҳо, дар натиҷаи таъсири ҳарорати баланд ва гази оксиген мегузарад, бояд таҳлил ва омӯзиши маводҳои ҳосили раванди оксидшавиро анҷом диҳем. Аниқтараш, мо бояд омӯзем, ки дар сатҳи хӯла чӣ пайвастагиҳо ва дар кадом шакл пайдо мешаванд, ки ин пайвастагиҳо роли калонро барои муҳофизат кардани хӯла мебозанд.

Пайвастагиҳое, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо калий ба вуҷуд омадаанд, бо истифода аз таҳлили дифраксионии рентгенӣ омӯхта шуданд. Дар натиҷаи гузаронидани таҳлили рентгенӣ маълум карда шуд,

ки таъсири ҳарорати баланд ва гази оксиген ҳўларо қисман оксид мекунад ва сатҳи болоии он пайвастагиҳои зеринро дорост: Al_2CuO_4 ; $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$; CuAlO_2 ; $\text{Al}_{10.38}\text{Mg}_{0.62}\text{K}_{1.62}\text{O}_{17}$; Cu_2O , KO_3 дар расми 3.21 тасвир карда шудааст.



Расми 3.21. - Дифрактограммаи таҳлили рентгении маҳсулотҳо пас аз оксидкунии ҳўлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо 1 % вазн калий

Дар маҷмуъ, бо маълумотҳои тадқиқотҳои таҷрибавии кинетикаи оксидшавии баландҳароратии ҳўлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$, бо иловаи калий, дар фазои атмосферавӣ бо таъсири оксиген муайян карда шуда, ки ҳўлаҳои дорои 0,5 ва 1,0 % вазн калий, нисбат ба ҳўлаи миқдори иловаашон камтар (0,05-0,1 ваз.%) арзиши баландтари суръати оксидшавӣ ва пасттарин самаранокии энергияи фаъолшавиро доранд. Муайян карда шуд, ки илова кардани метали калий ба миқдори 0,05-1,0 % вазн ба баланд шудани хосияти оксидшавии ҳўлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ оварда мерасонад.

3.5. Хулоса оид ба боби 3

Пешравии техника ва технология, талаботи саноати муосир аз олимон ва мутахассисон маводҳои навро металабанд, ки хосияти хуби муқовимат ба зангзанӣ ва оксидшавиро дошта бошанд. Барои ҳосил намудани материалҳои нави ба зангзанӣ устувор ва беҳтар намудани хусусиятҳои

зангзании материалҳои мавҷуда, равандҳои ҷавҳаронидан нақши калон мебозанд. Аз сабаби муҳим будани маълумотҳо оид ба рафтори ҳулаҳо дар муҳити оксидкунанда, зарурати ба шакли мухтасар ва дар асоси таҷрибаҳо ҷамъ ва ба низом даровардани ин навъи маълумотҳо ба миён меояд.

Ин қисми кор бахшида шудааст ба натиҷаҳои ба даст омадаи омӯзиши оксидшавии ҳулаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо миқдори муайяни литий, натрий ва калий ҷавҳаронида шуда, дар атмосфераи газӣ ва дар ҳарорати баланд. Аз рӯйи маълумоти дар ҷадвали 3.7 оварда шуда, метавон гуфт, ки дар байни металлҳои дар ин таҳқиқот ҳамроҳ карда шуда, калий аз ҳама камтарин қиммати энергияи фаъолшавиро дорад ва литий бошад бараъқс, зиёдтарин бузургии энергияи фаъолшавиро дорад.

Ҷадвали 3.7. – Арзишҳои самараноки энергияи фаъолшавии оксидшавии ҳулаҳо дар асоси алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$

Илова ва миқдори он дар ҳула, % вазн	Энергияи зоҳирии фаъолшавӣ, кҶ/мол				
	Илова, % вазн				
	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
Литий	178,0	170,3	159,7	142,2	120,8
Натрий	178,0	161,8	149,9	134,5	110,1
Калий	178,0	147,5	131,3	118,8	98,5

Дар маҷмӯъ, ҳангоми тадқиқоти таҷрибавии раванди оксидшавии ҳулаҳо дар асоси алюминийи тамғаи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои литий, натрий ва калий, муайян карда шуд, ки суръати калонтарини оксидшавиро ҳулаҳо бо калий дошта, қиматҳои пасттаринро ҳула бо иловаи литий дорад. Ҳулаҳои ба даст омада бо иловаи натрий бошад, аз байни ин 3 метал мавқеи миёнаро дорад. Метавонем гӯем, ки дар натиҷаи илова кардани металлҳои зикршуда, суръати оксидшавии ҳулаи ибтидоии алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ ба таври назаррас зиёд шуд.

Дар асоси натиҷаҳои омӯзиши характеристикаҳои раванди оксидшавии баландҳарорати хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li , Na , K метавонем чунин хулосаҳоро баён созем:

- суръати миёнаи оксидшавӣ тартиби 10^{-4} $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ -ро дорад ва оксидшавии намунаҳо ба қонуни гиперболий итоат мекунад;
- хӯлаҳои дорои иловаи калий назар ба дигар хӯлаҳо, ки иловаи натрию литий доштанд, суръати баландтари оксидшавиро доранд;
- дақиқ карда шуд, ки иловаҳои хурди литий, натрий ва калий (0,05—1,0 % вазн) оксидшавии хӯлаи ибтидоии алюминийро каме зиёд мекунад.

Тадқиқоти таҳлили рентгенофазавии маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ бо литий, натрий ва калий нишон дод, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳо оксидҳои зерин ҳосил мешаванд: Al_2MgO_4 , MgAl_2O_4 , $\text{Mg}_{0,85}\text{Cu}_{0,15}\text{O}$, CuAlO_2 , Li_2CuO_2 , Al_2O_3 , Cu_8O , CuO , MgAl_2O_4 , $(\text{Al}_{0,94}\text{Mg}_{0,06})_2\text{O}_4$, $(\text{Mg}_{0,4}\text{Al}_{0,6})\text{Al}_{1,8}\text{O}_4$, $(\text{Al}_{0,885}\text{Mg}_{0,115})_2\text{O}_4$, $\text{Mg}_{0,36}\text{Al}_{2,44}\text{O}_4$, CuAlO_2 ; $\text{Al}_{10,666}\text{O}_{16}$, Al_2O_3 , Al_2CuO_4 ; CuAlO_2 , $(\text{Mg}_{0,4}\text{Al}_{0,6})\text{Al}_{1,8}\text{O}_4$, $\text{Al}_{10,38}\text{Mg}_{0,62}\text{K}_{1,62}\text{O}_{17}$, Cu_2O ; KO_3 .

Миқдори иловаҳо ҷавҳарикунанда ва ғашҳои дохили хӯла ба кинетикаи оксидшавӣ ва таркиби пардаи оксидии ҳосилшаванда, ки аз хосиятҳои физикави-механикӣ, химиявии ин элементҳо ва миқдори онҳо дар хӯла таъсири калон мерасонад. Дар сурати мо, оксидҳои Li , Na ва K , ки дар маҳсулоти оксидшавии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4,5}\text{Mg}_1$ мавҷуданд, ки яклухтии пардаи оксидиро вайрон карда, сабаби дастрасии оксигени ҳаво ба металлҳои чуқуртар буда мешаванд, ки ба баландшавии суръати коррозия оварда расонида, хӯларо вайрон мекунад.

БОБИ 4. ЗИЁДНАМУДАНИ УСТУВОРИИ КОРРОЗИОНИИ ХЎЛАИ АЛЮМИНИЙИ $AlCu_{4.5}Mg_1$ НАВЪИ ДЮРАЛЮМИНӢ БО ЛИТИЙ, НАТРИЙ ВА КАЛИЙ ҶАВҲАРОНИДАШУДА

4.1. Дастгоҳ ва усули тадқиқоти хосиятҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳо

Яке аз масъалаҳои муҳими соҳаи маводшиносӣ ҳамчун илм ва саноати мошиносозӣ ин масъалаи зангзанӣ ё ин ки коррозия металлҳо ва хӯлаҳо ба ҳисоб меравад. Зарари коррозия ба сохт ва сохтори ҷисмҳои метали бениҳоят калон буда, бо сабаби коррозия ҷисм ё конструкция метавонад қисман ё пурра вайрон ва бекор шавад. Новобаста аз он, ки коррозия раванди на он қадар тез аст, ӯ метавонад тӯли муҳлати дарози истифодабарии ҷисмҳо ба онҳо зарар расонда, дар охир ба гум шудани хосияти онҳо, ивазшавии андозаи онҳо, паст кардани устуворӣ ва сахтии онҳо ва дигар ҳодисаҳои номатлуб оварда расонад. Одатан, раванди коррозионӣ аз рӯйи механизми электрохимиявӣ мегузарад. Бо ҳамин сабаб, омӯхтани рафтори анодии хӯлаҳо дар шароитҳои гуногуни агрессивӣ барои олимон дар вақти баҳодии устувории маводҳо, хеле муҳим аст.

Омӯзиши устуворӣ ба коррозияи хӯлаҳоро бо усулҳои электрохимиявӣ, аниқтараш бо роҳи потенциостатикӣ мuddати зиёд истифода мебаранд. Бо истифодаи ин роҳ метавонем маълумотҳоеро ҳосил кунем, ки барои пурзӯр кардани муҳофизати электрохимиявии қисмҳои метали истифода карда шуда, дар амал муҳлати истифодакунии техника ва қисмҳои онро дароз кунем. Яке аз факторҳои муҳим дар роҳи ҳимояи ҷисмҳо аз коррозия ин дониستاني вобастагии мутақобилаи суръати ҳалшавӣ ва потенциалҳо ба ҳисоб меравад. Агар мо ин бузургӣҳоро донем, метавонем дар асоси онҳо роҳи ҳимояи металлҳо дар шароити гуногунро аниқ карда, технологияи ҳифзро интихоб кунем [130-139].

Роҳҳои ҳосили намунаҳо барои гузаронидани таҳқиқотҳо мухтасар дар боби 2.1. оварда шудааст. Пас аз ҳосили худӣ хӯла, бо усули рехтагарӣ

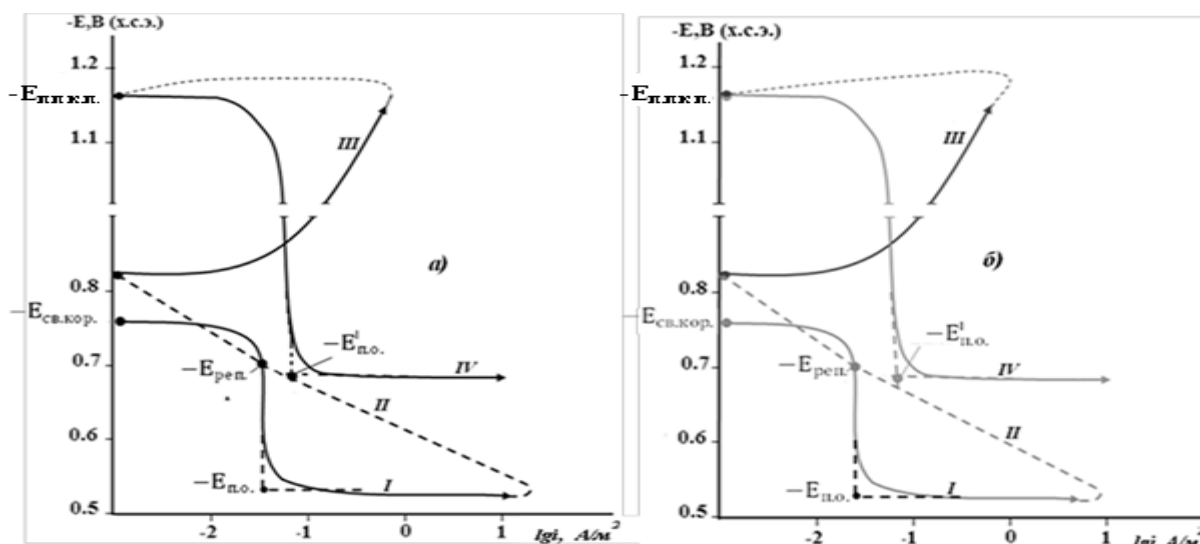
дар қурраи графитӣ, намунаҳои шакл ва сохти муайян рехта шуд, ки барои таҳқиқот истифода бурда шуданд. Қисми поёнии ин намунаҳо ҳамчун электроди корӣ дар вақти санҷидани хосиятҳои коррозионӣ электрохимиявии хӯлаҳо, истифода мешаванд. Пеш аз сар кардани санҷишҳо, ин қисмҳои намунаҳо бо қоғази сангрездор (наждак) коркард карда, тоза карда шуданд. Ҳамин тавр, бо усулҳои механикӣ намунаҳо барои гузаронидани омӯзишҳо тайёр карда шуданд. Сатҳи электрод бо маҳлули спирти тоза карда мешаванд, ки ин марҳилаи охирон ба ҳисоб меравад. Ду тарафи намуна, ки дар рафти кор набояд иштирок кунанд, бо омехтаи маводҳо (50% парафин ва 50% канифол) молида шуда, бо ин роҳ, изолятсия карда мешаванд. Дурустии таркиби хӯлаҳо бо роҳи вазнашӣ маводҳо ва хӯлаҳои ҳосилшуда, назорат карда мешаванд. Барои муқаррар намудани потенциали корозионии бе қувваи ҷараён, намунаи омӯхташаванда тоза ва зери коркарди механикӣ гирифта мешавад. Баъди ин, намуна аз равған бо истифода аз маҳлули спирти тоза карда, дар муҳити нейтралӣ NaCl якчанд вақт нигоҳ дошта шуданд.

Омӯзишҳои мазкур дар муҳитҳои электролитии нейтралӣ гузаронида шуданд, ки миқдори гуногуни NaCl дошта, тибқи талаботҳои ГОСТ 9.017 – 74 ҳамчун муҳити ба оби баҳр наздик ҳисобида мешавад. Дар рафти ин омӯзиш таъсири миқдори хлорид ионҳо ба рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи AlCu4.5Mg1 бо иловаҳои Li , Na , K муайян карда мешаванд.

Корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ бо мақсади муайян кардани рафтори электрохимиявии намунаҳои мо, ки дар асоси хӯлаи алюминии AlCu4.5Mg1 бо иловаҳои металлҳои Li , Na , K бо вазнҳои хурди гуногун, бо истифода аз дастгоҳи потенциостат ПИ-50.1-1 гузаронида шуданд. Таҳқиқотҳо дар речаи потенциодинамикӣ ва усули потенциостатикӣ гузаштанд. Дар вақти кор суръати паҳншавии потенциал ба 2 мВ/с баробар буд. Ҳамчунин бояд қайд кунем, ки барои ҳосил кардани арзишҳои дуруст

ва рух надодани хатогихо, маҳлули таҳқиқоти дар ҳарояти якхела нигоҳ бояд дошта шавад. Барои ҳамин мо бо истифодаи термостати МЛШ-8 ҳароратро доимӣ $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ нигоҳ доштем. Ячейка аз якчанд электрод ташкил шуда, яктои он аз платина – электроди ёрирасон ва дигараш, муқоисавӣ – аз хлориди нуқра сохта шуда аст [140, 141].

Омӯзиши хосиятҳои электрохимиявии намунаҳо ба самти мусбати потенциал дар маҳлули моеъгии муқаррар кардаи ($E_{\text{корр.оз.}}$ - потенциали коррозияи озод ё статсионарӣ) то қимати потенциалие, ки дар натиҷа якбора афзоиши зичии ҷараён ба амал меояд, поляризатсия карда шуданд, дар натиҷа пittingҳосилшавӣ (расми 1, қатъати I) сурат мегирад. Аз ин қатъати, бузургии потенциали пittingҳосилшавӣ ($E_{\text{п.х.}}$) пеш аз коркарди катодӣ муайян карда шуд. Баъд аз ин, поляризатсиякунии намунаи санҷиши ба тарафи муқобил оғоз мешавад (расми 1, қатъатиҳои II ва III) то қимати потенциалии $-1,2\text{ В}$, ки дар натиҷа ҳалшавии пардаи оксид мегузарад. Намунаҳои хӯлаҳо ба самти мусбат аз нав поляризатсия карда шуда (расми 1, қатъати IV), ҳангоми гузаштан аз самти катодӣ ба самти анодӣ поляризатсияи катодӣ потенциали ($E'_{\text{п.о.}}$) ба қайд гирифта мешавад. Барои муқоиса, дар расми 4.1. қатъатҳои пурраи поляризатсияи хӯлаи AlCu4.5Mg1 бо суръати гардиши потенциалии $1\text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ и $2\text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ нишон дода шудааст. Таҳқиқоти минбаъда бо суръати гардиши потенциалии $2\text{ мВ}\cdot\text{с}^{-1}$ гузаронида шуданд. Хатогихои ченкунӣ бо истифода аз ин усул аз $\pm 1\text{ мВ}$ зиёд набуданд. Хӯлаҳои алоҳидаи таркиби оптималии литий $0,5\text{-}1,0\text{ \%}$ вазн, бо усули гравиметрӣ дар маҳлули обии NaCl дар давоми як моҳ омӯхта шуданд. Қиматҳои бадастомада бо натиҷаҳои, ки тавассути ҳисоб кардани зичии ҷараёни зангзанӣ дар доираи $5\text{-}7\%$ ба даст оварда шудаанд, мувофиқат мекунанд.



Расми 4.1. - Качхатиҳои пурраи поляризатсияи ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо суръати гардиши потенциалии 1 мВ/с (а) ва 2 мВ/с (б) дар ҳолати миқдори 3% NaCl

Сипас, аз ин качхатиҳои поляризатсионӣ истифода карда, арзиши ҳамаи потенциалҳои электрохимиявиро метавонем муайян кард, ба мисли: $E_{\text{ст.}}$ - потенциали статсионарӣ, $E_{\text{корр. оз.}}$ - потенциали коррозияи озод; $E_{\text{реп.}}$ потенциали репассиватсия; $E_{\text{п.х.}}$ потенциали питингҳосилшавӣ пеш аз поляризатсияи катодӣ; $E'_{\text{п.х.}}$ потенциали питингҳосилшавӣ пас аз поляризатсияи катодӣ; $E_{\text{п.п.к.п.}}$ потенциал пас аз поляризатсияи катодӣ; $i_{\text{корр.}}$ чараёни коррозия.

Раванди зангзанӣ бо истифода аз качхатиҳои катодӣ ҳисоб карда шуд, зеро чараёни зангзании алюминий ва ҳӯлаҳои он дар муҳити бетараф аз реаксияи катодии ионизатсияи оксиген вобаста аст. Дар навбати худ, суръати зангзанӣ ба функсияи чараёни зангзанӣ ҳисобида мешавад ва бо чунин муодила аниқ карда мешавад:

$$K = i_{\text{корр.}} \cdot k$$

ин ҷо $k = 0,335$ г/А·с эквиваленти электрохимиявии алюминий.

Аз сабаби он, ки миқдори иловаҳои чавҳаронида ҳангоми истехсоли ҳӯлаҳо аз 5% зиёд набуд, ҳангоми ҳисоб кардани чараёни зангзанӣ эквиваленти электрохимиявии алюминий гирифта шуд.

Талафоти коррозионии намунаҳо бо истифодаи формулаи зерин ҳисоб карда мешавад (г/м^2):

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

ин ҷо: m_0 - вазни намунаҳо пеш аз омӯзиш,

m - вазни намуна пас аз тоза кардани намуна аз оксидҳо,

S - сатҳи умумии намуна пеш аз омӯзиш, м^2 .

Суръати коррозияи намунаҳо, ки воҳиди $\text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$ -ро дорад, бо формулаҳои зерин ҳисоб карда мешавад:

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

ин ҷо: t - давомнокии омӯзиш, соат.

Фактори асосии идоракунии суръати зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 ин гузашти реаксияи катодии ионизатсияи гази оксиген дар муҳити омӯзишӣ мебошад. Арзиши чараёни коррозия бо назардошти доимии Тафел, ки ба $b_k = 0.12 \text{ В}$ баробар аст, аз қачхатиҳои потенциодинамикӣ ва аз шохҳои катодии он муайян карда мешавад [144].

Рафтори анодии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 , ки бо металлҳои ишқорӣ ҷавҳаронидашудааст, дар электролити NaCl бо концентратсияҳои 0,03; 0,3 ва 3,0 % (бо вазн) омӯхта шудааст.

Қимати муайяншудаи зичии чараёни коррозия ба $(0,0010,005) \cdot 10^{-2} \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$ баробар буда, такроршавандагии омӯзиши потенциалҳои электрохимиявӣ арзиши аз ± 5 то ± 10 ($\pm 1 \text{ мВ}$) мВ-ро дорад. Муфассалтар оиди ин усули таҳқиқи электрохимиявии хӯлаҳо дар адабиёти [149] оварда шудааст.

4.2. Таъсири иловаи литий ба рафтори коррозионӣ - электрохимиявии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 навъи диюралюминӣ дар муҳити электролити NaCl

Талаботи муосир ба маводҳои сохтории баландсифат, аз ҷумла муқовимат ба зангзанӣ, ба таври назаррас афзоиш ёфтааст. Соҳаи саноат аз мо талаб мекунад, ки хӯла ва маводҳои мо рӯз а рӯз пурзӯр гардида, сарбории баландтар, устуворӣ ба коррозия дар муҳитҳои агрессивӣ, вазни сабук, сахтӣ ва

муштаҳкамии баладнро доро бошанд. Хусусан коррозияшавии конструксияҳо ва қисмҳои таҷҳизотҳо худ як мамоният дар пешрафти саноат буда, яке аз сабаҳои асосии аз кор баромадани таҷҳизотҳо мебошад. Зарари иқтисодӣ аз зангзании металлҳо хеле калон аст. Бинобар ҳамин, корҳои бисёри илмӣ-таҳқиқоти дар ин самт, аз ҷумла, пурзур кардани хӯлаҳо ва бардоштани устувории онҳо ба коррозия гузаронида шуда истодааст [145, 146].

Таҳлили маводҳо ва адабиёт нишон доданд, ки дар саноат, тақрибан 15 ғоизи металлҳо ва хӯлаҳои истеҳсолӣ аз сабаби зангзанӣ ба талаф мераванд. Агар мо тавонем, ки ин миқдорро кам кунем, ба саноат ғоидаи калонро метавонад расонад. Яке аз роҳҳои асосии пурзур кардани хӯлаҳо ин илова кардани дигар элемент мебошад, ки ба хосиятҳои асосии коррозионӣ-электрохимиявии он таъсири комплексӣ мерасонанд [145].

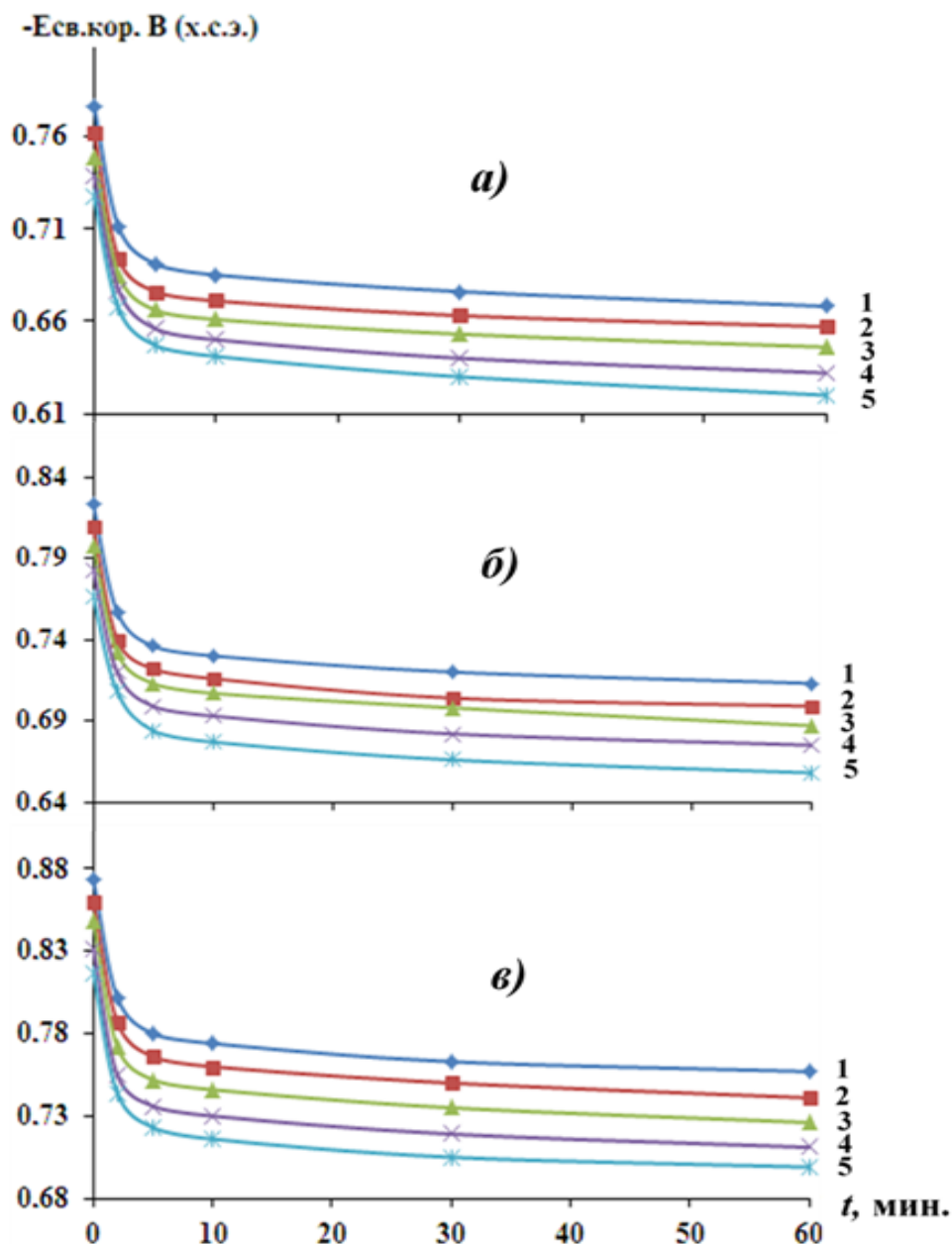
Дар ин баҳши рисола натиҷаҳои тадқиқоти зангзанӣ-электрохимиявии таъсири иловаи литий ҳамчун тағйирдиҳандаи сохтор ба рафтори анодии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар муҳити электролитии NaCl оварда шудааст. Иловаи литий ба хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ $0,05 \div 1,0\%$ вазнро ташкил медиҳанд.

Ҳангоми омӯзиши рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаҳо, потенциали коррозияи озод ва вобастагии вақт ба ин бузургӣ, ҳангоми нигоҳ доштани намунаҳо дар маҳлули NaCl дар давоми 60 дақиқа, омӯхта шуд (ҷадвали 4.1.).

Натиҷаҳои тадқиқотҳои потенциали зангзании озоди хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо литий дар се муҳити электролитии NaCl дар расми 4.2. оварда шудаанд.

Ҷадвали 4.1 - Вобастагии вақтии потенциали коррозияи озоди ($E_{\text{корр.оз.}}$, В) барои хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, дар муҳити электролитии NaCl [145, 146]

Муҳит NaCl	Миқдори литий дар хӯла	Вақт, дақ.							
		0,15	0,5	2	5	10	20	40	60
% вазн									
0,03	0,0	0,776	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,762	0,709	0,694	0,676	0,671	0,667	0,660	0,657
	0,1	0,749	0,700	0,685	0,666	0,661	0,657	0,650	0,646
	0,5	0,738	0,691	0,677	0,656	0,650	0,645	0,636	0,632
	1,0	0,727	0,683	0,667	0,647	0,641	0,635	0,626	0,620
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,726	0,715	0,712
	0,05	0,795	0,757	0,741	0,721	0,716	0,711	0,703	0,699
	0,1	0,786	0,747	0,732	0,713	0,707	0,702	0,694	0,687
	0,5	0,770	0,736	0,720	0,699	0,693	0,687	0,678	0,675
	1,0	0,751	0,724	0,708	0,684	0,677	0,671	0,662	0,658
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,847	0,805	0,787	0,766	0,760	0,755	0,746	0,741
	0,1	0,835	0,789	0,772	0,752	0,746	0,740	0,728	0,726
	0,5	0,815	0,770	0,755	0,736	0,730	0,724	0,715	0,711
	1,0	0,803	0,760	0,744	0,723	0,716	0,710	0,702	0,699



Расми 4.2. - Потенциали зангзании озоди хӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ (1) бо литий, %-и вазнӣ: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5), вобаста ба вақт, дар муҳити электролитӣ 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0% (дар) NaCl [145]

Натиҷаҳои тадқиқоти зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминий AlCu_{4.5}Mg₁ бо литий, дар электролит NaCl бо консентратсияҳои 0,03; 0,3 ва 3,0 %-и вазни дар ҷадвали 4.2. метавонед мушоҳида кунед.

Ҷадвали 4.2. – Арзиши нишондаҳандаҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ
барои хӯлаи AlCu4.5Mg1 бо иловаи Li

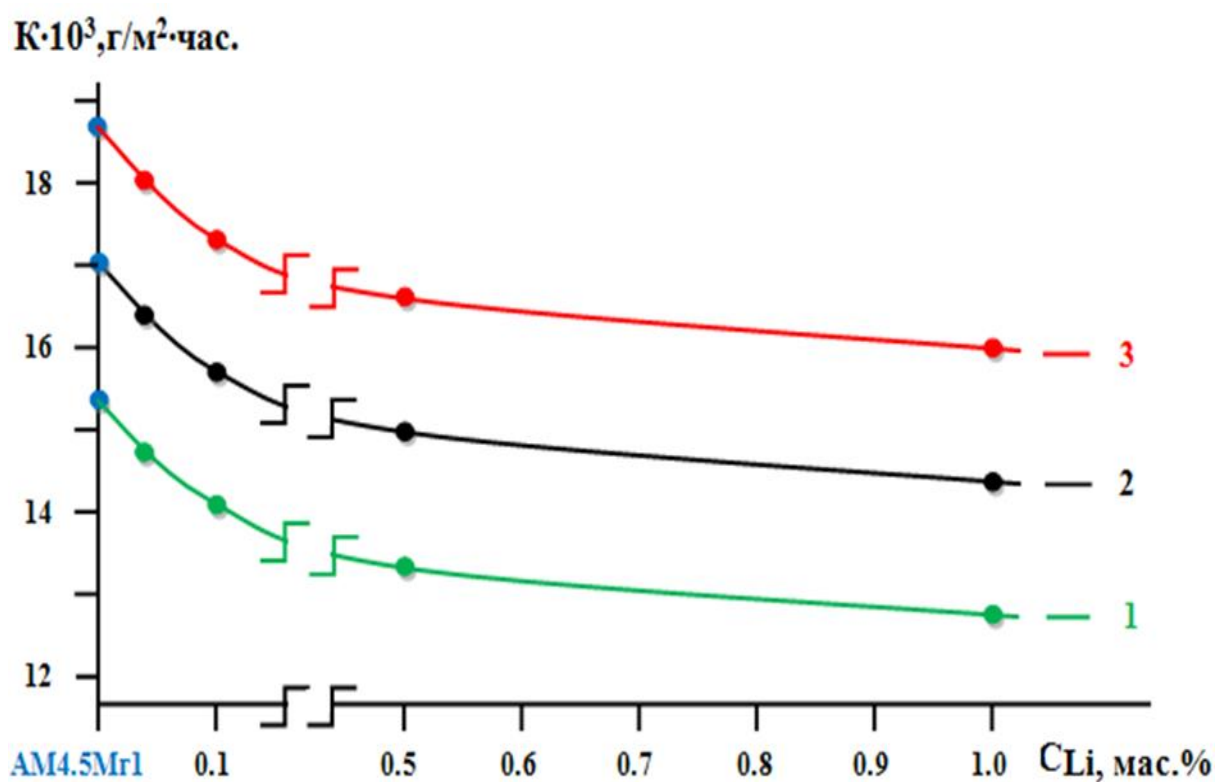
Миқдор и NaCl, % вазн	Миқдори Li дар хӯла	Потенсиали электрохимиявӣ, В (э.х.н)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{\text{корр.оз}}$	$-E_{\text{корр.}}$	$-E_{\text{п.х.}}$	$-E_{\text{реп.}}$	$i_{\text{корр}} \cdot 10^2,$ А/м ²	$K \cdot 10^3,$ г/м ² ·с
0,03	0,0	0.667	1.090	0.601	0.681	4.6	15.41
	0,05	0.657	1.079	0.593	0.671	4.4	14.74
	0,1	0.646	1.070	0.583	0.662	4.2	17.07
	0,5	0.632	1.060	0.574	0.651	4.0	13.40
	1,0	0.620	1.049	0.565	0.642	3.8	12.73
0,30	0,0	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0,05	0.699	1.110	0.630	0.699	4.9	16.41
	0,1	0.687	1.099	0.619	0.690	4.7	15.74
	0,5	0.675	1.088	0.610	0.681	4.5	15.07
	1,0	0.658	1.076	0.600	0.672	4.3	14.40
3,0	0,0	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0,05	0.741	1.154	0.674	0.720	5.4	18.09
	0,1	0.726	1.144	0.665	0.711	5.2	17.42
	0,5	0.711	1.135	0.653	0.700	5.0	16.75
	1,0	0.699	1.124	0.644	0.692	4.8	16.08

Чуноне, ки оварда шудааст, ҳангоми афзудани миқдори иловаи Li дар хӯлаи ибтидоии алюминийи AlCu4.5Mg1 потенциалҳои коррозия, пitting-хосилшавӣ ва репассиватсия ба диапазони қиматҳои мусбат мегузаранд ва аз концентратсияи ионҳои хлорид кам мешаванд. Тағйир додани хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий суръати зангзании онро 10-15% кам мекунад [145, 146].

Вобастагии графикаи суръати зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, дар муҳити электролитии NaCl бо концентратсияҳои гуногун, дар расми

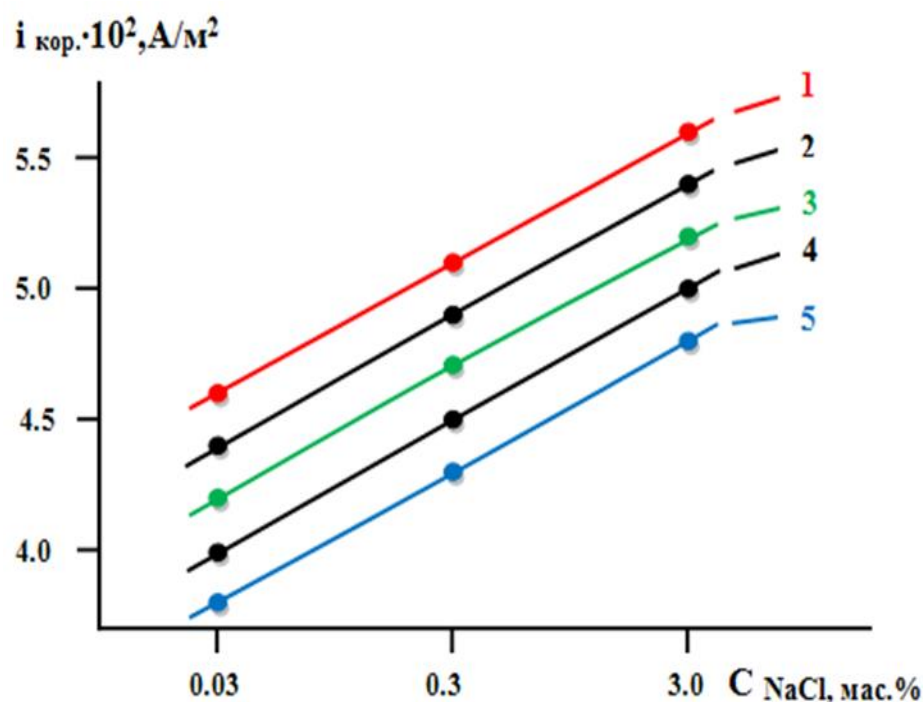
4.3 нишон дода шудааст. Иловаи литий дар ҳамаи муҳитҳои омехташавандаи электролити NaCl, ба паст кардани суръати зангзании хӯлаи ибтидоии алюминий AlCu4.5Mg1 мусоидат мекунад.

Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий дар расми 4.4. нишон дода шудааст. Иловаи литий бузургии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ибтидоии алюминийи AlCu4.5Mg1-ро коҳиш медиҳад. Дида шуд, ки дар вақти афзудани миқдори ионҳои Cl⁻ дар маҳлули омӯзишӣ, зичии ҷараёни коррозияи низ меафзояд.



Расми 4.3 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 бо литий, % вазн: 0.03(1); 0,3(2); 3,0 (3), дар муҳити электролити NaCl [145]

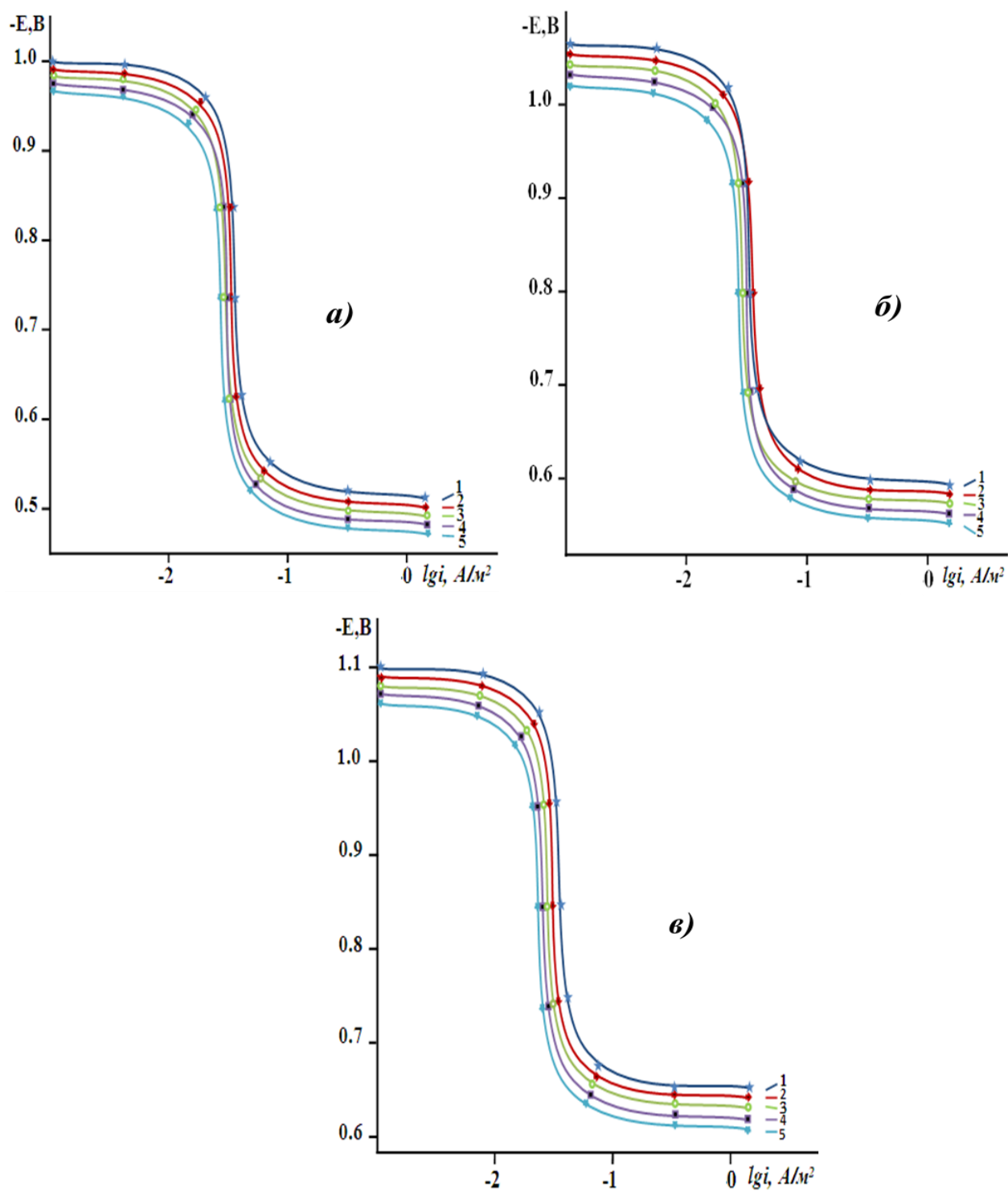
Дар расми 4.5. шохаҳои анодии қатъиҳои потенсиодинамикии хӯлаҳои таҳқиқшаванда нишон дода шудаанд. Дида мешавад, ки зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ибтидоӣ бо зиёд шудани консентратсияи литий кам мешавад, аз ин лиҳоз потенсиалҳои коррозияи озод ($E_{\text{корр.оз.}}$) ва пitting-хосилшавӣ ($E_{\text{п.х.}}$) ба самти мусбӣ мегузаранд.



Расми 4.4. - Вобастагии зичии чараёни коррозии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ (1) бо иловаи Li, % вазн: 0,01 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) аз консентратсияи NaCl [145]

Ворид намудани литий то 1,0 % вазн дар хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ дар муҳити электролити NaCl устувори ба зангзании онро зиёд мекунад. Минбаъд зиёдшавии миқдори литий дар хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ ба якбора пастшавии устувории электрод оварда, дар натиҷа зангзании байникристаллӣ рӯй медиҳад [145].

Ҳамин тариқ, суръати коррозияи хӯлаи ибтидоии $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ ҳангоми чавҳаронидан бо литий то 1.0 % вазн, дар ҳама муҳитҳои дар ин таҳқиқот омӯхта шуда 10-15% коҳиш меёбад. Ҳамчунин маълум карда шуд, ки хосиятҳои коррозий-электрохимиявии хӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо миқдори муайяни Li дар вақти 100 маротиба кам кардани миқдори ионҳои Cl^- дар маҳдуди электролит, ба коҳиш ёфтани суръати коррозия тақрибан ба 70% оварда расонида, гузариши потенциалҳои омӯхташуда ба самти арзишҳои мусбӣ дида мешавад (ҷадвали 4.2) [145].



Расми 4.5. - Поляризатсияи потенциодинамикии анодӣ (2 мВ/с) хатҳои ҳулаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ (1) дорои литий, %-и вазн: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) дар муҳити электролитии 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0%-и (в) $NaCl$ [145].

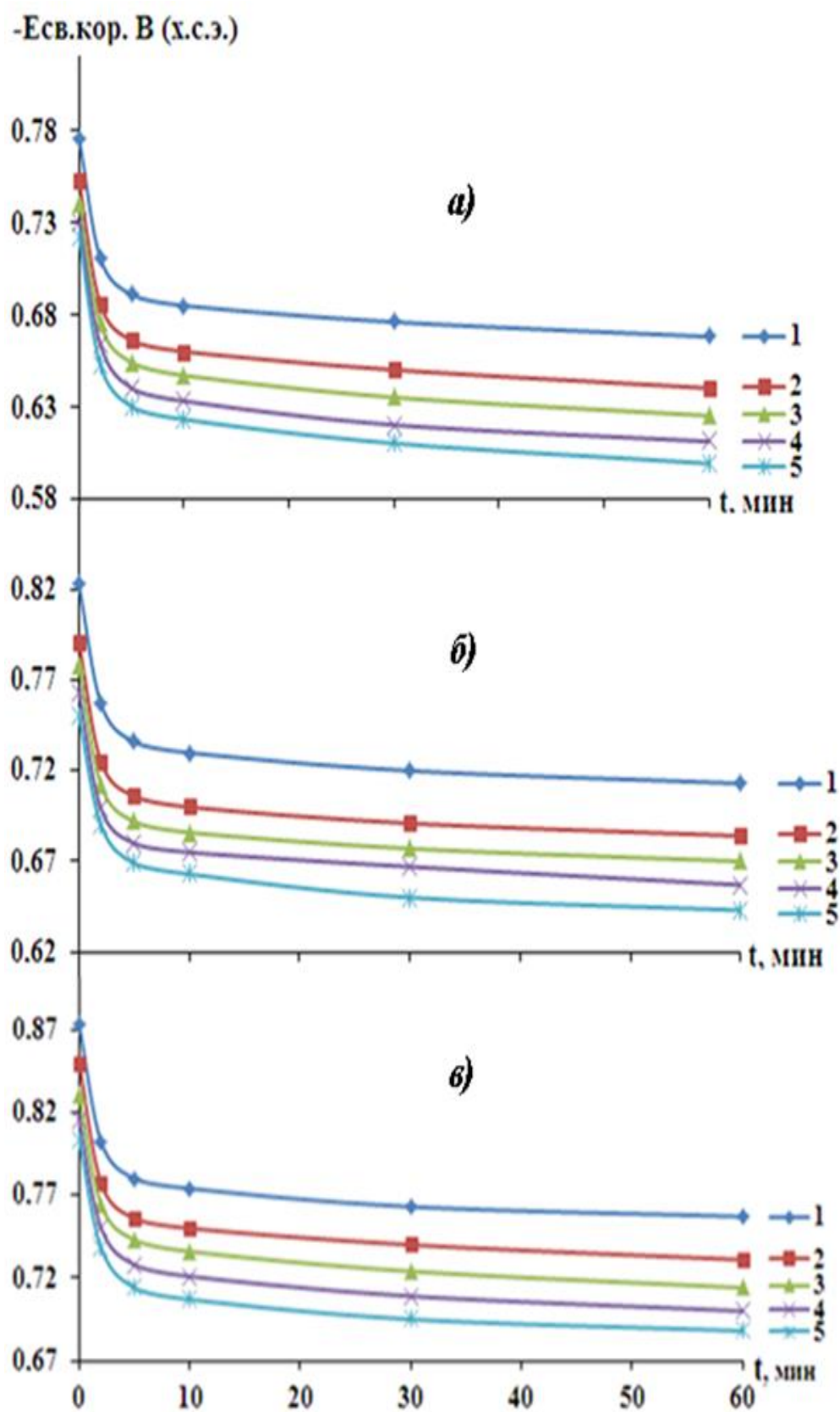
4.3. Тадқиқоти потенциодинамикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ навъи дюралюминӣ бо натрий дар муҳити электролити $NaCl$

Ин қисми кори илмӣ бахшида шудааст ба тадқиқоти потенциостатикии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$, ки бо миқдори муайяни металли Na ҷавҳаронида шудааст. Ин омӯзишҳо дар маҳлули моеъгии электролити $NaCl$ ҳангоми суръати гардиши потенциалии 2 мВ/с пешниҳод карда шудааст. Иловаи натрий ба хӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ аз 0,05 то 1,0 % вазн аст. Миқдори $NaCl$ дар маҳлули электролит 0,03 0,3 ва 3,0 %-и вазниро ташкил медед [147-148, 152].

Дар ҷараёни тадқиқоти потенциодинамикии хӯлаи синтезшуда арзиши потенциали коррозияи озод бо гузашти вақт дар маҳлули моеъгии $NaCl$ муайян карда шуд (табл. 4.3).

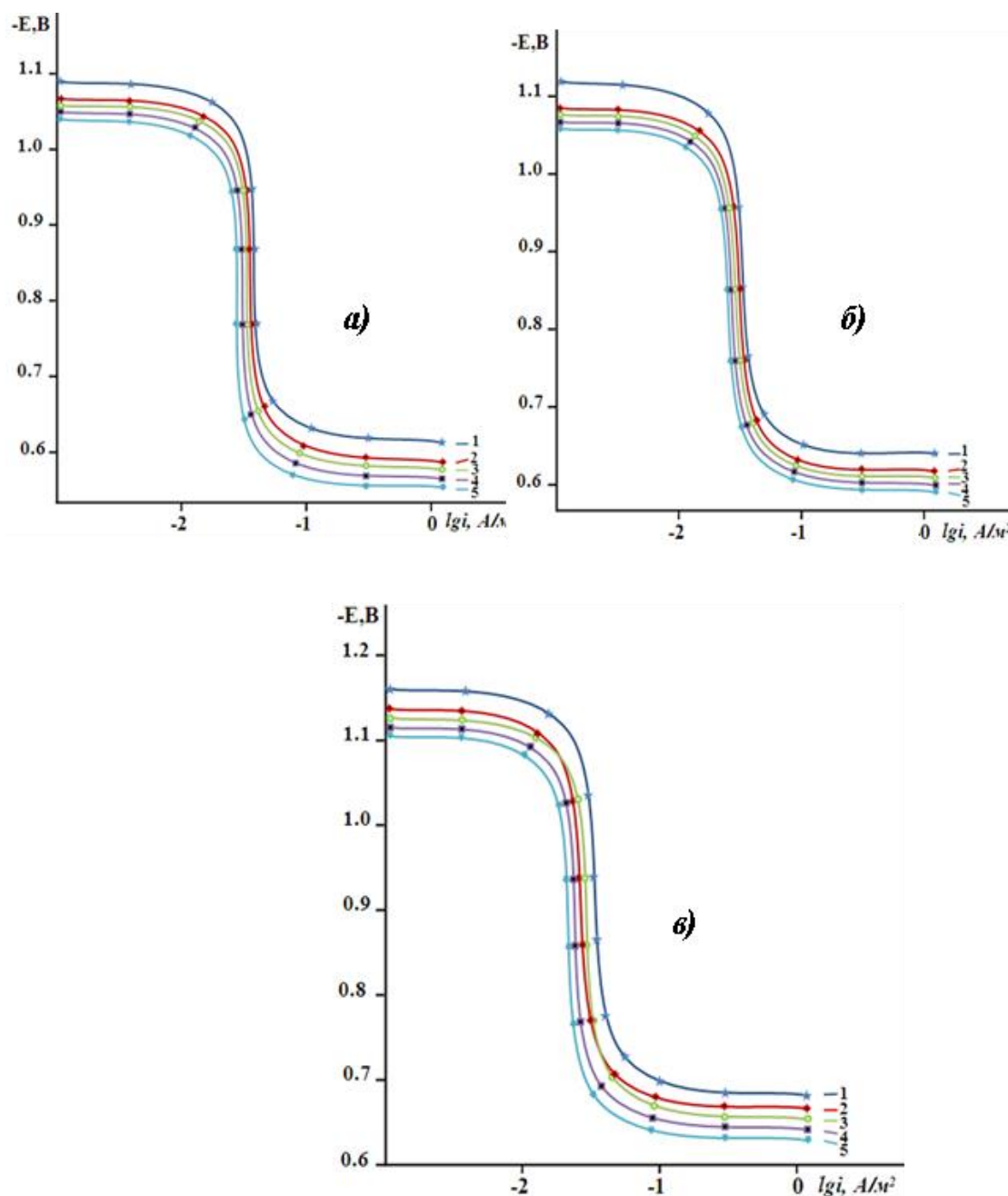
Ҷадвали 4.3. - Вобастагии вақтии тавсифи потенциалии коррозияи озоди ($E_{корр.оз.}$, В) хӯлаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg_1$ аз миқдори натрий, дар муҳити электролитии $NaCl$ [147]

Муҳит $NaCl$ % вазн	Миқдори натрий дар хӯла	Вақт, дақиқа							
		1/4	1/2	2	5	10	20	40	60
0,03	0,0	0,763	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,741	0,700	0,686	0,666	0,660	0,655	0,646	0,640
	0,1	0,730	0,691	0,675	0,654	0,647	0,641	0,630	0,625
	0,5	0,722	0,682	0,664	0,640	0,633	0,626	0,615	0,611
	1,0	0,711	0,670	0,653	0,630	0,623	0,616	0,604	0,599
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,725	0,716	0,713
	0,05	0,780	0,740	0,725	0,706	0,700	0,695	0,688	0,684
	0,1	0,766	0,728	0,712	0,692	0,686	0,681	0,673	0,670
	0,5	0,752	0,713	0,699	0,680	0,675	0,670	0,663	0,657
	1,0	0,738	0,706	0,690	0,669	0,663	0,656	0,645	0,643
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,838	0,795	0,777	0,756	0,750	0,745	0,736	0,731
	0,1	0,816	0,780	0,764	0,743	0,736	0,730	0,718	0,714
	0,5	0,806	0,768	0,750	0,728	0,721	0,714	0,705	0,700
	1,0	0,892	0,754	0,738	0,714	0,707	0,700	0,690	0,688



Расми 4.6. - Вобастагии вақт аз потенциали коррозияи озоди ($E_{\text{корр.оз.}}$, В) ҳулаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ (1) бо натрий, % вазн: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0%-и (в) NaCl [147].

Натиҷаҳои тадқиқот дар расмҳои 4.6. – 4.9. ва дар ҷадвали 4.4. пешниҳод карда шудаанд. Дар асоси қатъхатиҳои расми 4,6, метавонем қайд кунем, ки дар вақти нигоҳдории намунаҳо дар муҳити моеъгии 0,03; 0,3 ва 3,0%-и NaCl, ивазшавии потенциали коррозияи озод ($-E_{\text{корр.оз.}}$) ба тарафи афзоиш ба назар мерасад.



Расми 4.7. - Қатъхатиҳои поляризатсияи пурраи ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 (1) дорои натрий, % вазн 0,05(2);0,1(3);0,5(4);1,0(5), дар муҳити электролитии 0,03% (а) 0,3% (б) ва 3,0%-и (в) NaCl [147].

Параметрҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ раванди зангзании анодии алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий дар қадвали 4.4 оварда шудаанд. Аз ин қадвал метавонем бинем, ки иловаҳои метали Na потенциалҳои коррозия, репассиватсия ва пittingҳосилшавиро ба самти арзишҳои калонтар мебаранд. Ин қонуният дар ҳама муҳитҳои моеъгии омӯхташуда 0,03; 0,3 ва 3,0%-и электролити NaCl хос аст.

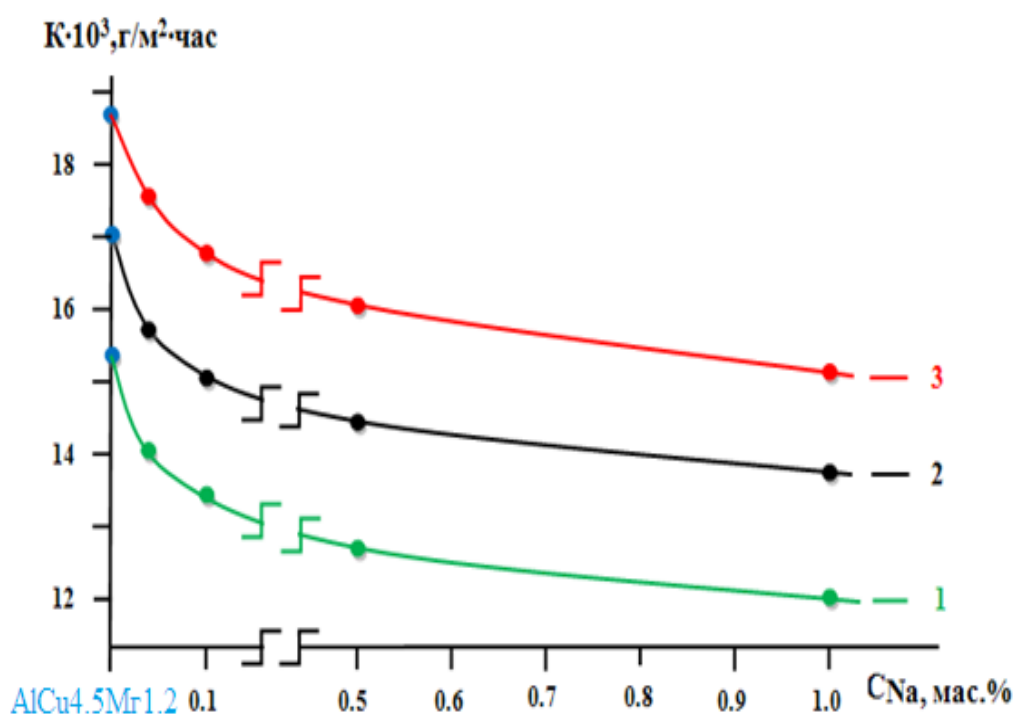
Қадвали 4.4. - Хусусиятҳои коррозионӣ-электрохимиявӣ ҳулаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий дар муҳити электролити NaCl [147].

Муҳит NaCl , % вазн	Миқдори Na дар хӯла	Потенциали электрохимиявӣ, В (э.х.н)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{\text{корр.оз}}$	$-E_{\text{корр.}}$	$-E_{\text{п.х.}}$	$-E_{\text{реп.}}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2$, А/м^2	$K \cdot 10^3$, $\text{г/м}^2 \cdot \text{с}$
0,03	-	0.667	1.091	0.601	0.683	4.6	15.41
	0,05	0.640	1.071	0.580	0.660	4.2	14.07
	0,1	0.625	1.060	0.571	0.651	4.0	13.40
	0,5	0.611	1.050	0.562	0.643	3.8	12.73
	1,0	0.599	1.040	0.553	0.632	3.6	12.06
0,3	-	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0,05	0.684	1.091	0.620	0.690	4.7	15.74
	0,1	0.670	1.079	0.609	0.681	4.5	15.07
	0,5	0.657	1.068	0.600	0.670	4.3	14.40
	1,0	0.643	1.059	0.590	0.661	4.1	13.73
3,0	-	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0,05	0.731	1.140	0.666	0.710	5.2	17.42
	0,1	0.714	1.129	0.655	0.701	5.0	16.75
	0,5	0.700	1.118	0.645	0.691	4.8	16.08
	1,0	0.688	1.107	0.636	0.682	4.6	15.41

Суръати коррозияи хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 баробар бо зиёд шудани миқдори иловаи легиркунандаи Na тақрибан ба аз 10 то 15% суст мешавад. Ин қонуният дар ҳар се муҳити таҳқиқшуда ба назар мерасанд (расми 4.8). Сустшавии суръати коррозия баробар бо гузариши каҷхатҳои

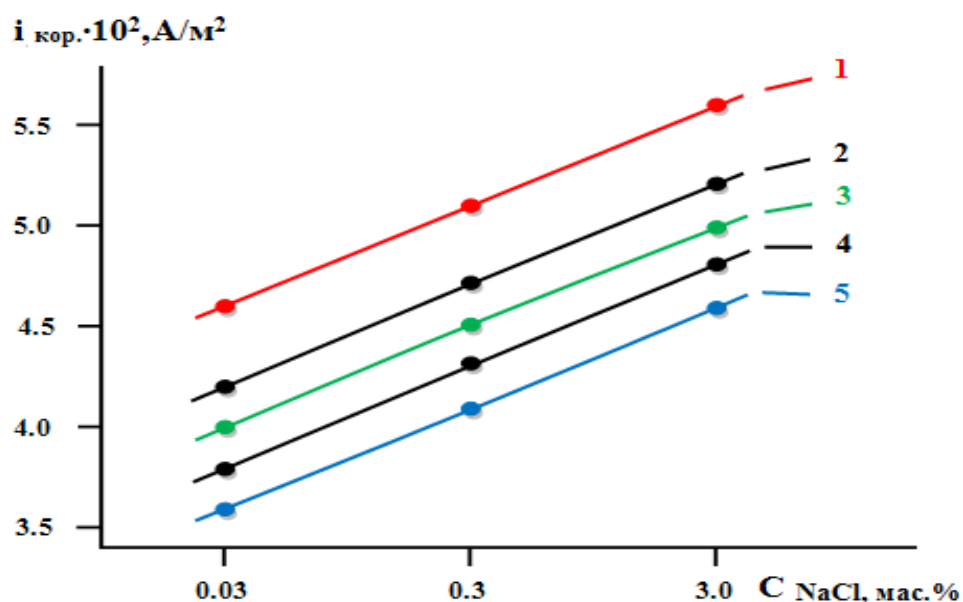
потенсидинамикии анодии хӯлаҳо ба самти мусбӣ амалӣ мешавад (расми 4.9). Ҳангоми зиёд шудани концентратсияи ионҳои хлорид дар электролити NaCl, зичии ҷараёни зангзании хӯлаҳо новобаста аз таркиби онҳо зиёд мешавад дар расми расми 4.10 оварда шудааст [147].

Дар расмҳои 4.8. ва 4.9. вобастагии суръати коррозия ва зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 дар муҳити моеъгии маҳлули хлориди натрий нишон дода шудааст. Маълумотҳо аз ин расмҳо нишон медиҳанд, ки бо зиёд шудани миқдори иловаи Na, суръати коррозия суст мешавад. Ҳамчунин, арзишҳои потенциалҳои коррозия, пitting-ҳосилшавӣ, репассиватсияи пассиватсия баландтар мешаванд.



Расми 4.8. - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 бо натрий, % вазн: 0,03 (1); 0,3 (2); 3,0 (3), дар муҳити электролити NaCl [147].

Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 миқдори хлорид-ионҳо дар маҳлули муҳити омӯзишӣ дар расми 4.8. пешниҳод карда шудааст.



Расми 4.10. - Вобастагии зичии чараёни коррозсионии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 (1) бо натрий, % вазн: 0,01 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) аз консентратсияи электролитҳои NaCl [147].

Илова намудани натрий то 1,0 % вазн дар хӯла дар муҳитҳои нишондодашуда устувори ба зангзании онро зиёд мекунад. [147]. Агар гап дар бораи хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо натрий сахтшуда аз сабаби ҳалшавандагии баланди натрий дар маҳлули саҳти алюминий бо магний ва мис меояд, ки ҳангоми ба зангзании хӯлаи аслӣ дар илова кардани натрий то 1% вазн дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl зиёд шудан мегирад. [147].

4.4. Таъсири иловаҳои калий ба устувории анодии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1

Муҳофизат кардани ҷисмҳои металлӣ аз зангзанӣ дар шароити имруза, яке аз мақсадҳои олимону коршиносон ба ҳисоб меравад. Зангзанӣ дар натиҷаи таъсири атмосфераи ҳаво яке аз мушкилиҳои илмӣ ва иқтисодии соҳаҳои саноат ба ҳисоб меравад. Тақрибан аз 10 то 15%-и ҳамаи металлҳои ҳосил карда шуда, аз сабаби зангзанӣ талаф меёбанд [153].

Дар бисёр корхонаҳои саноатӣ, коррозияи металлҳо то ҳол мушкилоти ҳалношуда буда, яке аз сабабҳои суғур будани пешравии онҳо мебошад. Дар мамлакатҳои захираҳои бузурги металлӣ дошта низ ин проблема мубрам мебошад, бо сабаби он ки дар саноат на фақат металлҳои мустаҳкамаш баланд,

балки маводҳо ва хӯлаҳои дорои хосиятҳои дигар дар шароитҳои агрессивӣ истифода мешаванд. Дар ин ҳолат талафоти металлҳо бо сабаби намудҳои хатарноки коррозия, ба мисли, коррозияи шикастани (растрескивание), коррозияи байникриссталӣ, коррозияи питтингӣ ва ғайра ба таври назаррас афзоиш ёфт [154, 155].

Яке аз роҳҳои баланд бардоштани муқовимати металл ва хӯлаҳо ба коррозия, ин легиркунӣ ё ки чавҳаронидан мебошад. Чавҳаронидан яке аз роҳҳои пурмаҳсули баланд бардоштани устувории металл ба коррозия мебошад. Ҳангоми чавҳаронидан, ба металл ё хӯла, элементе дохил карда мешавад, ки суръати коррозияи хӯларо паст мекунад. Масалан метали калий яке аз намунаҳои чунин элементҳое мебошад, ки ба хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ дохил карда, бо ҳамин роҳ суръати коррозияи хӯлаи ибтидоиро баланд мекунад [153, 154].

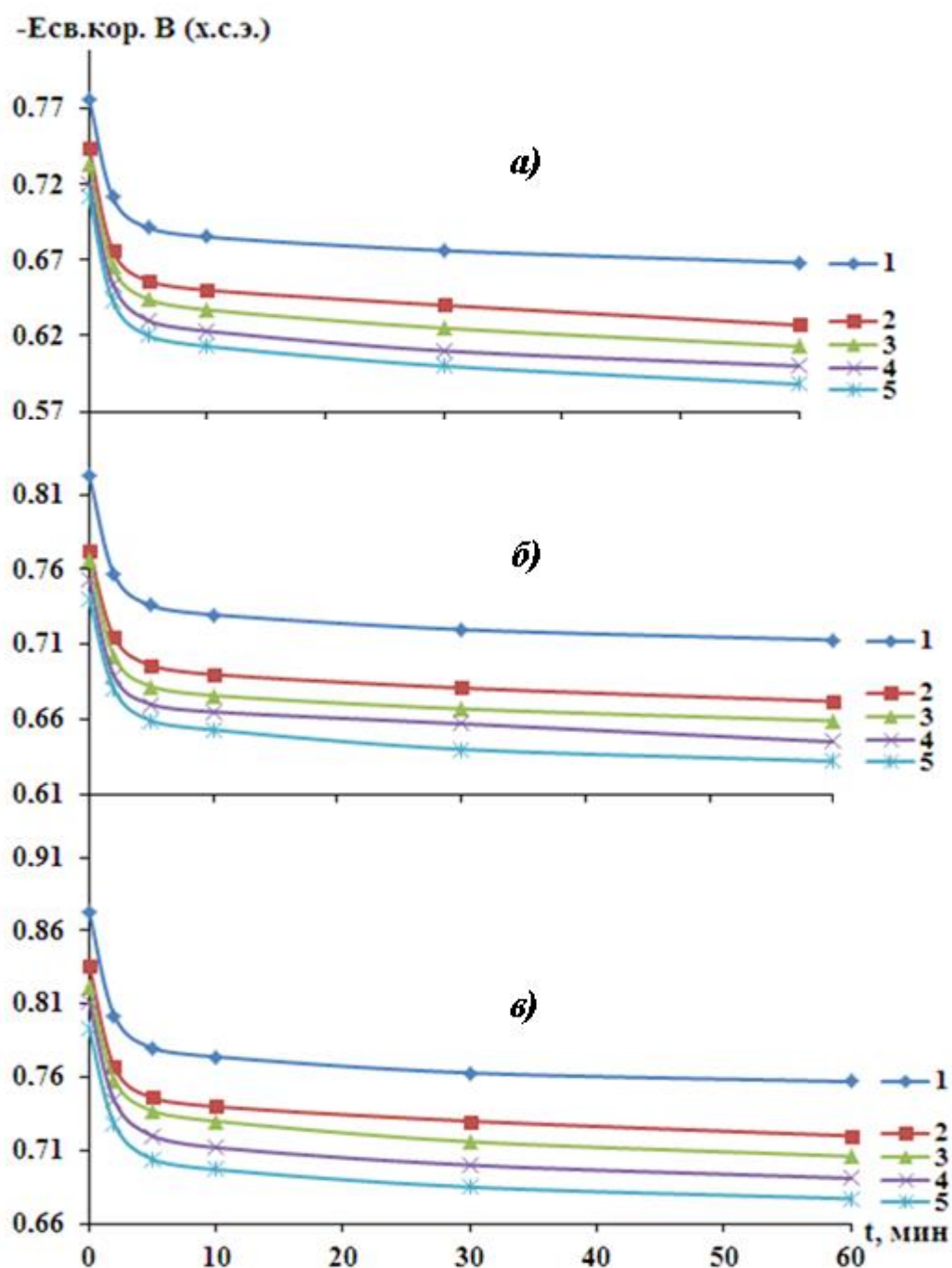
Таҳқиқоти рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо иловаҳои калий, дар муҳити маҳлули моеъгии электролити $NaCl$, ки аз рӯйи ГОСТ ҳамчун муҳити ивазкунандаи оби баҳр қабул шудааст, гузаронида шуд [153].

Дар рафти таҳқиқоти рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаҳои ба даст омада, омӯзиши тағйирёбии потенциали коррозияи озод аз вақт, ки ҳар як омӯзиш тӯли 60 дақиқа гузаронида мешуд, дар муҳити моеъгии $NaCl$ гузаронида, арзишҳои ба даст омада дар ҷадвали 4.5 мухтасар оварда шуд.

Дар ибтидоӣ таҳқиқот, барои ҳамаи намунаҳои омӯхташаванда, болоравии потенциали коррозияи озод дида мешавад. Арзишҳои ба даст омадаи натиҷаҳои омӯзиши потенциали коррозияи озоди хӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$ бо калий чавҳаронидашуда дар се муҳити электролити $NaCl$ дар расми 4.10. пешниҳод карда шудаанд [154, 155].

Ҷадвали 4.5. - Вобастагии вақт аз потенциали (э.х.н.) коррозияи озоди ($E_{\text{корр.оз.}}$, В) хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 аз миқдори калий, дар муҳити электролитии NaCl

Муҳит NaCl % вазн	Миқдори калий дар хӯла	Вақт, дақиқа							
		1/4	1/2	2	5	10	20	40	60
0,03	0,0	0,763	0,727	0,711	0,691	0,685	0,680	0,672	0,668
	0,05	0,731	0,690	0,676	0,656	0,650	0,645	0,635	0,627
	0,1	0,722	0,681	0,665	0,644	0,637	0,631	0,620	0,613
	0,5	0,712	0,672	0,654	0,630	0,623	0,616	0,605	0,600
	1,0	0,701	0,660	0,643	0,620	0,613	0,606	0,594	0,588
0,30	0,0	0,812	0,773	0,757	0,736	0,730	0,725	0,716	0,713
	0,05	0,763	0,730	0,715	0,696	0,690	0,685	0,678	0,672
	0,1	0,756	0,718	0,702	0,682	0,676	0,671	0,663	0,659
	0,5	0,741	0,703	0,689	0,670	0,665	0,660	0,653	0,645
	1,0	0,728	0,695	0,680	0,659	0,653	0,646	0,636	0,632
3,0	0,0	0,860	0,819	0,802	0,780	0,774	0,768	0,759	0,757
	0,05	0,828	0,785	0,767	0,746	0,740	0,735	0,726	0,720
	0,1	0,807	0,772	0,758	0,737	0,730	0,723	0,710	0,706
	0,5	0,800	0,760	0,744	0,720	0,712	0,706	0,696	0,691
	1,0	0,782	0,744	0,728	0,704	0,697	0,690	0,680	0,677



Расми 4.10. - Вобастагии потенциали коррозияи озоди ($E_{\text{корр.оз.}}$, В) хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 (1), дорои калий, % вазн: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5), дар муҳити электролити 0,03% (а), 0,3% (б) ва 3,0%-и (в) NaCl аз вақт [153].

Хусусиятҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 дар муҳити электролити NaCl дар ҷадвали 4.6 оварда шудаанд.

Потенциалҳои зангзанӣ, питтингҳосилшавӣ ва репассиватсия бо зиёдшавии концентратсияи калий дар ҳӯлаи AlCu4.5Mg1 ба минтақаи мусбат мегузарад.

Ҷадвали 4.6 - Характеристикаҳои коррозионӣ-электрохимиявии ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо иловаи К.

Муҳит NaCl , % вазн	Миқдори иловаи К дар ҳӯла	Потенциали электрохимиявӣ, В (э.х.н)				Суръати коррозия	
		$-E_{\text{корр.оз}}$	$-E_{\text{корр.}}$	$-E_{\text{п.х.}}$	$-E_{\text{реп.}}$	$i_{\text{корр.}} \cdot 10^2$, А/м^2	$K \cdot 10^3$, $\text{г/м}^2 \cdot \text{с}$
0.03	-	0.668	1.090	0.602	0.680	4.6	15.41
	0.05	0.627	1.061	0.569	0.652	4.0	13.40
	0.1	0.613	1.052	0.560	0.641	3.8	12.73
	0.5	0.600	1.041	0.551	0.630	3.6	12.06
	1.0	0.588	1.030	0.542	0.621	3.4	11.39
0.3	-	0.713	1.121	0.640	0.711	5.1	17.08
	0.05	0.672	1.080	0.609	0.680	4.5	15.07
	0.1	0.659	1.070	0.600	0.670	4.3	14.40
	0.5	0.645	1.060	0.591	0.661	4.1	13.73
	1.0	0.632	1.050	0.581	0.650	3.9	13.06
3.0	-	0.757	1.165	0.685	0.730	5.6	18.76
	0.05	0.720	1.130	0.657	0.700	5.0	16.75
	0.1	0.706	1.120	0.648	0.690	4.8	16.08
	0.5	0.691	1.110	0.639	0.680	4.6	15.41
	1.0	0.677	1.101	0.630	0.671	4.4	14.74

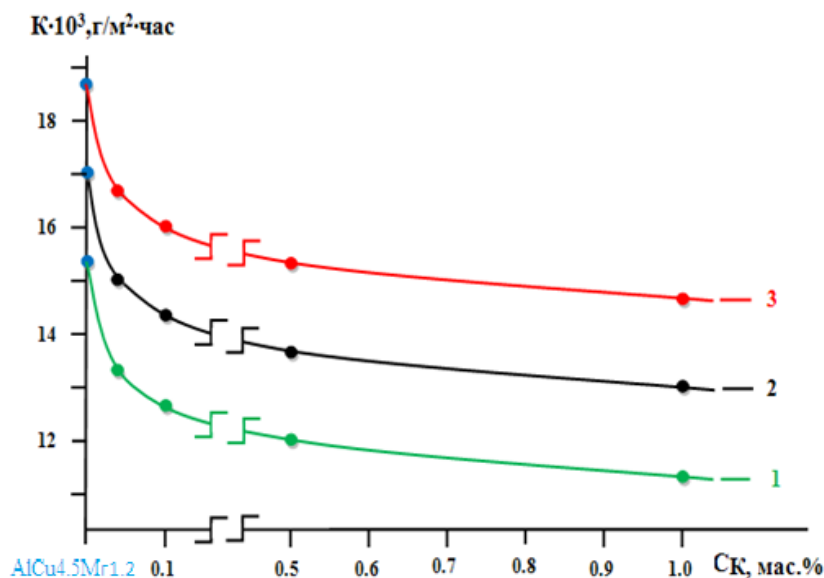
Ин таносуб дар ҳама муҳитҳои таҳқиқшудаи 0,03; 0,3 ва 3,0%-и муҳити электrolити NaCl мавҷуд аст. Иловаҳои калий суръати зангзании ҳӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 -ро дар муҳити омӯзиш қариб 15% паст мекунад. Ҳангоми баланд бардоштани концентратсияи калий то 1,0 % вазн суръати зангзании дар ҳӯлаи AlCu4.5Mg1 хеле кам мешавад. Аз маълумоти ҷадвал

бармеояд, ки консентратсияи баланди ионҳои хлор дар муҳити омӯзишӣ, ба афзудани суръати коррозияи ҳамаи хӯлаҳои омӯхташуда, новобаста аз миқдор ва элементи иловашуда сабаб мешавад ва тамоюли ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаи арзишҳои манфӣ табдил меёбад [153].

Аз маълумотҳои дар ҷадвал нишон дода шуда бармеояд, ки баландшавии миқдори ионҳои Cl^- дар муҳити омӯзишӣ, ба баланд шудани суръати коррозияи намунаҳо, новобаста аз таркиби кимиёвӣ, ки ба тамоюли ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаи арзишҳои манфӣ оварда мерасонад [153].

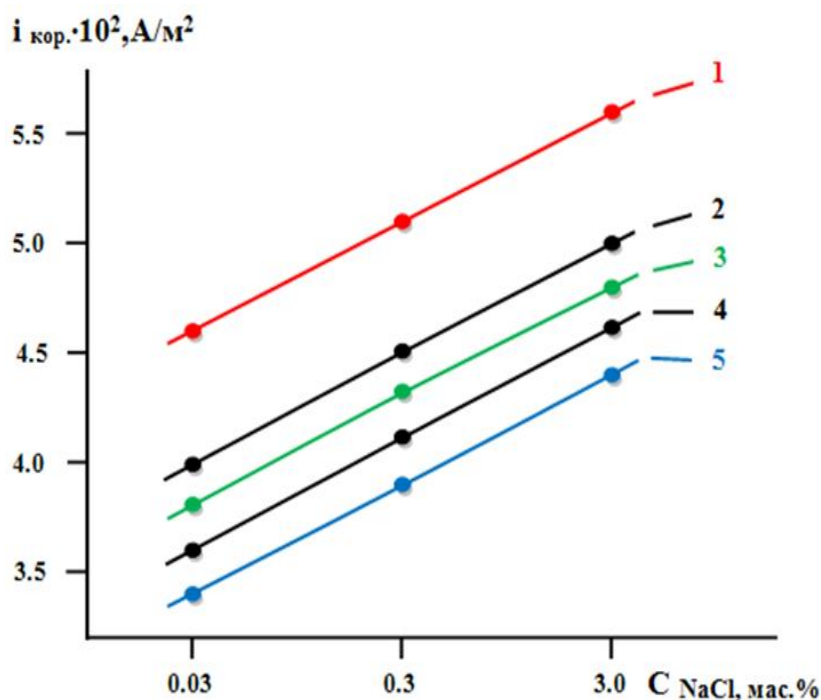
Дар расми 4.11. вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 аз миқдори калий пешниҳод карда шудааст. Дида мешавад, ки бо зиёд шудани миқдори калий суръати зангзании хӯлаи ибтидоӣ дар ҳар се муҳитҳои тадқиқотшуда якхела кам мешавад.

Беҳтаршавии устуворӣ ба коррозияи хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 дар вақти илова кардани калий бо тағйирёбии сохтори маҳлули саҳти алюминий фаҳмонида мешавад. Ҳамчунин, бо афзоиши сатҳи ҳақиқии анод ва ё ғафшавии қабати муҳофизатӣ аз оксидҳои камҳалшаванда шарҳ дода мешавад.



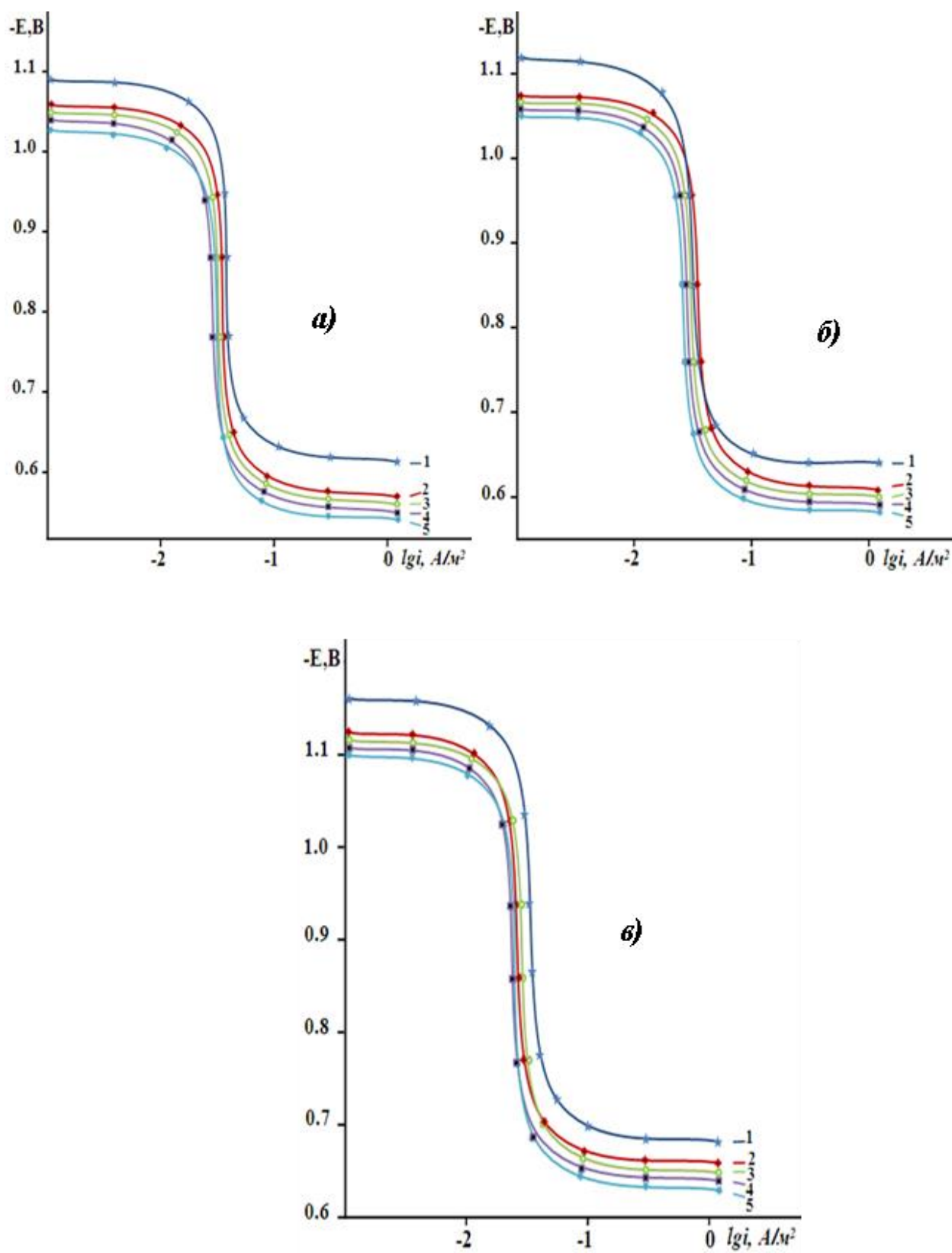
Расми 4.11. - Вобастагии суръати коррозияи хӯлаи AlCu4.5Mg1 бо иловаҳои К, дар муҳити моеъгии электролитии 0,03 (1); 0,3 (2); 3,0 (3) NaCl [153].

Дар расми 4.12. вобастагии зичии чараёни коррозияи хӯлаи AlCu4.5Mg1 аз миқдори электролити NaCl барои хӯлаҳои ибтидоӣ бо миқдори гуногуни иловаи K тасвир карда шудааст. Аз ин натиҷаҳо бармеояд, ки бо зиёд шудани дараҷаи фаъолии муҳит, зичии чараёни коррозияи хӯлаҳо ҳам меафзояд [153].



Расми 4.12. - Зичии чараёни коррозияи хӯлаи алюминий AlCu4.5Mg1 (1) бо калий, % вазн: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) ва тағйирёбии он аз консентратсияи NaCl [153].

Шохаҳои анодии қатъхатҳои потенциостатикӣ хӯлаҳо бо иловаи металли K бо миқдори гуногун дар расми 4.13 тасвир карда шудаанд. Ҳангоми афзудани миқдори K , потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ($E_{\text{п.о.}}$) ва коррозияи озод ($E_{\text{корр.оз.}}$) ба самти қиматҳои мусбӣ гузашта зичии чараёни коррозияи хӯлаҳо кам мешавад. Дар муқоиса нисбат ба хӯлаи ибтидоӣ лағжиши тағйиротҳои нишондодашуда ба минтақаи қиматҳои мусбати шохаҳои анодии қатъхатҳои потенциодинамикӣ хӯлаҳои бо калий ҷавҳаронидашуда яққоя рӯй медиханд [153].



Расми 4.13. - Поляризация анода потенциодинамически (2 мВ/с) качающихся хвостов алюминия $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ (1) в растворах калий, % вазн: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) в растворе электролита 0,03% (а) 0,3% (б) и 3,0%-и (в) NaCl [154].

Пас, нишондиҳандаҳои асосии коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо иловаҳои метали К бо истифода аз усули потенциостатикӣ бо арзиши суръати паҳншавии гардиши 2 мВ/с дар муҳити маҳлули моеъгии электролити $NaCl$ таҳқиқ шуд. Ин тадқиқотҳо нишон доданд, ки ҳангоми илова кардани К аз 0,05 то 1% вазн муқовимат ба коррозияи хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ то 15% зиёд мешавад ва ҳамаи потенциалҳо ба тарафи мусбӣ ҳаракат мекунанд [153].

4.5. Хулоса оид ба боби IV

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои ҷамъбастии хосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ бо металлҳои ишқорӣ (Li, Na, K) дар ҷадвали 4.7 оварда шудаанд. Мушоҳида, мешавад, ки дар иловаҳои литий, натрий ва калий бо консентрасияи 0,05-1,0 вазн.% ба хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ дар се муҳити электролити $NaCl$, ки омӯхта карда шудаанд, потенциалҳои репассиватсия, коррозионӣ ва питтингҳосилшавӣ ба доираи қиматҳои мусбат мегузаранд, ки ин гувоҳи зиёд шудани хосияти устувории хӯла ба коррозия мебошад.

Аз қимматҳое, ки дар ҷадвали 4.7. оварда шудаанд ва дар расми 4.14. нишон дода шудаанд, метавонем дар бораи суръати коррозияи хӯлаи алюминийи $AlCu_{4,5}Mg_1$ инро фаҳмем, ки иловаҳои металлҳои литий, натрий, калий дар доираи консентрасияи 0,05-1,0 % вазнӣ ба гузариши потенциалҳои озоди коррозионӣ ($E_{корр.оз.}$), питтингҳосилшавӣ ($E_{п.х.}$) ва репассиватсия ($E_{рп.}$) ба ҳудуди арзишҳои мусбати хӯлаҳо (ҷадвали 4.7.) мусоидат мекунад, ки ба коҳиши суръати зангзании хӯлаҳо ва зичии раванди зангзании хӯлаҳо 10-15% оварда мерасонад.

Механизми таъсири металлҳои ишқорӣ ба зиёдшавии устувории зангзании хӯлаи ибтидоии $AlCu_{4,5}Mg_1$ ва натиҷаи лағжиши потенциалҳои электрохимиявии системаи омӯхташуда, ба самти афзоишӣ ва пастравии зичии ҷараёни коррозия мебошад.

Чадвали 4.7. - Вобастагии суръати коррозияи ($K \cdot 10^3$, г/м²·с) хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, натрий ва калий дар муҳити NaCl

Миқдори литий, натрий и калий дар хӯла, % вазн	Муҳит NaCl, % вазн					
	0.03%		0.3%		3.0%	
	$I_{\text{корр.}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	$I_{\text{корр.}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с	$I_{\text{корр.}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·с
0,0	4.6	15.41	5.1	17.08	5.6	18.76
0,05Li	4.4	14.74	4.9	16.41	5.4	18.09
0,1Li	4.2	17.07	4.7	15.74	5.2	17.42
0,5Li	4.0	13.40	4.5	15.07	5.0	16.75
1,0Li	3.8	12.73	4.3	14.40	4.8	16.08
0,05Na	4.2	14.07	4.7	15.74	5.2	17.42
0,1Na	4.0	13.40	4.5	15.07	5.0	16.75
0,5Na	3.8	12.73	4.3	14.40	4.8	16.08
1,0Na	3.6	12.06	4.1	13.73	4.6	15.41
0,05K	4.0	13.40	4.5	15.07	5.0	16.75
0,1K	3.8	12.73	4.3	14.40	4.8	16.08
0,5K	3.6	12.06	4.1	13.73	4.6	15.41
1,0K	3.4	11.39	3.9	13.06	4.4	14.74

Тадқиқотҳои гузаронида шуда, оид ба муқарар намудани характеристикаҳои анодии хӯлаи алюминийи AlCu4.5Mg1 бо литий, натрий ва калий, ба мо имконият медиҳад, ки онҳоро ҳамчун хӯлаи асосӣ дар истеҳсоли масолеҳи конструктивӣ тавсия диҳем, бинобар ин аз ҳисоби кам кардани ғунҷоиши масолеҳи самараназарраси иқтисодӣ ба дастоварда муҳлати хизматрасонӣ ва эътимоднокии онҳоро зиёд намоем.

ХУЛОСАҶО

1. Бо таҳлили амиқи манбаъҳои адабӣ, қарор шуд, ки хӯлаи нав дар асоси $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ синтез карда шавад. Бо илова кардани Li, Na, K рафтори коррозияи электрохимиявӣ, раванди оксидшавӣ дар шакли саҳт, функцияҳои термодинамикӣ ва тағйиротҳои онҳоро омӯхта ҳосил кардани хӯлаҳои нав, ки барои истифода дар соҳаҳои гуногуни саноат ва шароитҳои агрессивӣ.

2. Таҳқиқотҳо оид ба омӯзиши таъсири иловаҳои Li, Na, K ба микроструктураи хӯлаи ибтидоӣ гузаронида шуданд. Дар натиҷа, мушоҳида карда шуд, ки ҳангоми ворид кардани иловаҳои металлҳои зикршуда микроструктура тағйироти назаррасро аз сар мегузаронад ва донатар мешавад, ки донҳо нисбат ба хӯлаи аслии хурдтар мешаванд. Сипас озмоишҳо барои санҷиши устуворӣ ва саҳтии хӯлаи гирифташуда ва муқоисаи арзишҳои онҳо бо маводи ибтидоӣ гузаронида шуданд. Ин таҷрибаҳо нишон доданд, ки иловаҳои то 1% Li, Na, K ба бад шудани ин параметрҳо оварда мерасонанд, яъне хӯлаи он камтар устувор ва камтар саҳт мешавад.

3. Таҷрибаҳо гузаронида шуданд, яъне ба мо имкон доданд, ки дар бораи ҳосиятҳои гармидиҳии физикӣ, ки хӯлаи нави синтезшударо нишон доданд, тасаввуроти пурра пайдо кунем. Яъне, маълум шуд, ки афзоиши ҳарорат дар муҳити корӣ боиси афзоиши иқтидори гармии намунаҳо мегардад. Афзоиши миқдори иловаҳо баръакс боиси кам шудани иқтидори гармӣ мегардад.

4. Бо мақсади муайян ва аниқ кардани ҳосиятҳои термодинамикии хӯлаҳо маҷмӯи корҳои таҳқиқотӣ иҷро карда шуданд. Маълумот ва ҳисобҳои гузаронидашуда қонуниятҳои муайяни тағйиротро дар параметрҳо нишон доданд, масалан, ҳангоми гузариш аз хӯлаи Li ба хӯлаи Na, андозаи энталпия(H) ва энтропия(S) дар фосолаи консентратсияи таҳқиқшуда зиёд мешавад, дар ҳоле ки энергияи Гиббс(ΔG) коҳиш меёбад. Ҳамин тамоюл ҳангоми баланд шудани ҳарорат дар муҳити корӣ мушоҳида шудааст.

5. Таҳқиқоти чараёни оксидшавии хӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li, Na, K гузаронида шуд. Мутобиқати қонуни гиперболикии раванди оксидшавӣ муайян карда шуд. Муайян карда шуд, ки дар натиҷаи илова кардани Li, Na, K арзишҳои энергияи фаъолшавӣ коҳиш меёбанд, яъне дар натиҷаи ҷавҳаркунӣ чунин ҳосияти хӯлаи ҳамчун муқовимат ба оксидшавӣ бад мешавад.

6. Таҳқиқот барои муайян кардани марҳилаҳои дар намунаҳо мавҷудбуда пас аз раванди оксидкунӣ нишон дод, ки дар натиҷаи ҷавҳаркунии ҳӯлаи ибтидоӣ бо металлҳои Li, Na, K ва ба оксидшавӣ дучор шудани намуна, чунин марҳилаҳо ба вуҷуд меоянд: Al_2MgO_4 ; MgAl_2O_4 ; $\text{Mg}_{0.85}\text{Cu}_{1.15}\text{O}$; CuAlO_2 ; Li_2CuO_2 ; Al_2O_3 ; Cu_8O ; CuO MgAl_2O_4 ; $(\text{Al}_{0.94}\text{Mg}_{0.06})_2\text{O}_4$; $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$; $(\text{Al}_{0.885}\text{Mg}_{0.115})_2\text{O}_4$; $\text{Mg}_{0.36}\text{Al}_{2.44}\text{O}_4$; CuAlO_2 ; $\text{Al}_{10.666}\text{O}_{16}$; Al_2O_3 ; Al_2CuO_4 ; CuAlO_2 ; $(\text{Mg}_{0.4}\text{Al}_{0.6})\text{Al}_{1.8}\text{O}_4$; $\text{Al}_{10.38}\text{Mg}_{0.62}\text{K}_{1.62}\text{O}_{17}$; Cu_2O ; KO_3 .

7. Таҳқиқоти рафтори анодии ҳӯлаи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бо иловаҳои Li, Na, K дар муҳити нейтралӣ NaCl бо миқдори гуногун, иҷро карда шуд. Аз натиҷаҳои ба даст омада метавонем гуём, ки иловаҳои номбаршуда ба устувории анодӣ таъсири хуб мерасонанд. Масалан, бо илова кардани як фоизи вазнӣ, устувории анодии ҳӯлаҳо 10 ба 15% афзоиш ёфт. Бояд қайд кард, ки хлорид ба шиддати зангзании маҳлули он таъсири мусбат мерасонад ва ба ин васила потенциалҳои омӯхташуда динамикаи манфиро нишон медиҳанд.

8. Таҳқиқоти озмоишии гузаронидашуда ба далелҳои аллакай маълум дар бораи хосиятҳои ин ҳӯлаҳо илова карда шуд. Ҳамин тавр, мо як қатор ҳӯлаҳои синтезшударо интихоб кардем, ки дар муқоиса бо дигарон хусусиятҳои бештар доранд. Барои ин омехтаҳо шаҳодатномаи муаллифӣ, нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон бо рақами № TJ-1365 гирифта шудааст.

ТАВСИЯҲО ОИД БА НАТИҶАИ ТАҲҚИҚОТИ ГУЗАРОНИДАШУДА.

1. Бозёфтҳо дар натиҷаҳои амалиёти тадқиқотӣ метавонанд саҳифаҳои адабиётро пур кунанд, ки метавонанд дар оянда дар тарҳрезӣ, ҳисоб ва эҷоди тафсилот муфид бошанд.

2. Натиҷаҳои ҳосили таҳқиқот, ки ба омӯзиши хосиятҳои рафтори коррозионӣ-электрохимиявӣ ҳӯлаи алюминийи $\text{AlCu}_{4.5}\text{Mg}_1$ бахшида шуда буданд, метавонем гуфт, ки истифодаи онҳо барои истеҳсоли қисмҳо мувофиқ аст, ба ин васила ҳаҷми истеъмоли металлро коҳиш медиҳад ва аз нуқтаи назари иқтисодӣ самаранокии бештар ба даст меорад.

РЎЙХАТИ АДАБИЁТ

1. Бочвар А.А. //Изв. АН СССР. 1944. №6. С. 358-366.
2. Бочвар А.А. Металловедение. М.: Metallurgizdat. 1956. 495 с.
3. Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Ткаченко Е.А., Вахромов Р.О. Алюминиевые деформируемые сплавы /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 167–182.
4. Фридляндер И.Н. Алюминий и его сплавы. М.: Знание. 1965. 61 с.
5. Чирков Е.Ф. О старение сплава М40 /В кн.: Металловедение сплавов легких металлов. М.: Наука. 1970. С. 63-71.
6. Чирков Е.Ф. Жаропрочный сплав М40. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные сплавы. М.: Metallurgiya. 1972. С. 123-131.
7. Колобнев И.Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. М.: Metallurgiya. 1973. 320 с.
8. Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Metallurgiya. 1979. 208 с.
9. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. М.: Metallurgiya. 1984. 240 с.
10. Phillips H.W.L. Annotated Equilibrium Diagrams of Some Aluminium Alloy Systems. The Inst. of Met. Monograph and Report Series. 1959. №25. 86 p.
11. Чирков Е.Ф. О природе воздействия Cu и Mg на эволюцию структуры и жаропрочность алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg //ТЛС. 2002. №4. С. 64-70.
12. Антипов В.В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч. технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 157-167.
13. Машиностроение: Энциклопедия. Т. II-3. Цветные металлы и сплавы. М.: Машиностроение. 2001. 880 с.

14. Бочвар О.С., Походаев К.С., Синянян Л.Г. //Изв. АН СССР. Металлы. 1969. №1. С. 199.
15. Багаряцкий Ю.А. Рентгенография в физическом металловедении. М.: Металлургиздат. 1961. 186 с.
16. Westmacott K.A., Barnes R.N., Hull D., Smallman R.E. //Phis. Mag. 1961. №6. P. 929.
17. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М., Металлургия. 1979. 480 с.
18. Бочвар О.С., Походаев К.С. Тройные системы. Металловедение алюминия и его сплавов. М.: Металлургия. 1971. С. 102-208.
19. Чирков Е.Ф. Закономерности изменения горячеломкости и жидкотекучести жаропрочных алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg в зависимости от содержаний Cu, Mg и добавок переходных металлов /В сб.: Авиационные материалы и технологии. Вып. «Перспективные алюминиевые, магниевые и титановые сплавы для авиакосмической техники». М.: ВИАМ. 2002. С. 104-125.
20. Chirkov E.F. Laws of Fluidity Variation for Aluminium Alloys of Al-Cu-Mg System/In: Proc. ICAA-5. 1996. Part 1. P. 265.
21. Иванько А.А. Твердость: Справочник. Киев: Наукова думка. 1968. 125 с.
22. Чирков Е.Ф. Склонность некоторых алюминиевомедномagneиeвых сплавов к образованию горячих трещин //Сварочное производство. 1982. №5 С. 10-13.
23. Чирков Е.Ф. Закономерности изменения горячеломкости алюминиевых сплавов системы Al-Cu-Mg //Изв. АН СССР. Металлы. 1983. №3. С. 175-181.
24. Chirkov E.F. Mn, Ti, Fe Effect on Hot Shortness of Al-Cu-Mg System Alloy Located in Phase Region α -S /In: Proc. ICAA-6. 1998. Part 1. P. 595-601.
25. Chirkov E.F., Dolzhanski Y.M. Transition Metal Small Additions Effect on Hot Shortness of High – Temperature Weldable Alloy 1151 (Al-Cu-Mg) /In: Proc. ICAA-7. 2000. Part 3. P. 1731-1737.

26. Chirkov E.F., Dolzhanski Y.M., Fridlyander I.N. Change of Fluidity of Aluminium Superalloy 1151 (Al-Cu-Mg) During its Alloying by Transition Metals /In: Proc. ICAA- 7. 2000. Part 1. P. 331-338.
27. Chirkov E.F. Fundaments of Developing Compositions for Weldable Wrought Aluminium Alloys with Enhanced Heat Resistance /In: Proc. ICAA-9. 2005. P. 692–699.
28. Chirkov E.F., Fridlyander I.N., Cherkassov V.V. Universal Structural Weldable Aluminium Alloy 1151 with Improved Corrosion Resistens for Operation at Elevated and Cryogenic Temperature /In: Proc. ICAA-6. 1998. V. 3. P. 2041.
29. Алексеев А.А., Бер Л.Б., Климович Л.Г., Коробов О.С. Высокотемпературное старение сплава Al-1,3 ат.% Cu-1,3 ат.% Mg. Стадия когерентных выделений //ФММ. 1982. Т. 53. №4. С. 772-779.
30. Алексеев А.А., Бер Л.Б. Диаграммы фазовых превращений пристарение сплавов системы Al-Cu-Mg //ТЛС. 1991. № 1. С. 9-13.
31. Alekseev A.A., Ananev V.N., Ber L.B., Kaputkin E.Ya. The Structure of Strengthening Precipitates Forming in High-Temperature of Al-Cu-Mg Alloys //The Physics of Metalls and Metallography. 1993. V. 75. №3. P. 279-285.
32. Лужникова, Л.П. Материалы в машиностроении. - Т. 1. Цветные металлы и сплавы. - М., 1967. - 287 с.
33. Семенов, А.П. Антифрикционные материалы: опыт применения и перспективы // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 12. С. 21-36.
34. Ковтунов, А.И. О возможности применения композиционных материалов с магниевой матрицей для изготовления подшипников скольжения. / В.М. Смирнов, И.Е. Илларионов // Ю.Ю. Хохлов, С.В. Мямин // В сборнике: Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Материалы и технологии XXI века. Сборник статей XVI Международной научно-технической конференции. Пенза. - 2021. - С. 14-18.
35. Шалунов, Е.П. Пути создания теплопрочных антифрикционных композиционных материалов матрично-наполненного типа для тяжело нагруженных элементов узлов трения. В сборнике: Современные технологии в

машиностроении и литейном производстве. Материалы III Международной научно-практической конференции. Чебоксары. - 2017. - С. 300-313.

36. Лякишева, Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 / Н.П. Лякишева // Справочник в 3 т.: –Т.1 под общ. ред. –М.: Машиностроение. 1996. –С. 992.

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

38. Абузин, Ю.А. Функциональные металлические композиционные материалы и технологии в машиностроении // Материалы в машиностроении, 2009 № 6(69), С. 52-54.

39. Dubois, J.-M. Properties and applications of quasicrystals and complex metallic alloys // Chem. Soc. Rev. - 2012. - No 41. - P. 6760-6777.

40. Бергман, Г.А. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Г.А. Бергман, И.В. Вейц, В.А. Медведов, Г.А. Хачкурузов, В.С. Юнгман -М.: Наука, 1981 -472 с.

41. Дриц, М.Е. Свойства элементов. Справочник под редакцией Дрица М.Е. / М.Е. Дриц, П.Б. Будберг, Г.С. Бурханов, А.М. Дриц, В.М. Пановко -М.: Металлургия, 1981 -672 с.

42. Hultgren, P. Selected values of the thermodynamic properties of the elements // P. Hultgren, All Ohio, Metals park, 1973 -342 p.

43. Pathak, P.D. Debye temperatures of silver and aluminium of high temperatures some new correlations / P.D. Pathak, N.P. Shah // Phys. Stat. Sol., 1979. -V. 55, -No.2, -P.159-162.

44. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / В.Е. Зиновьев.- М.: Металлургия, 1989. -384 с.

45. Белоусова, Н.В. Взаимодействие жидких металлов и сплавов с кислородом. / В.М. Денисов, С.А. Истомин, и др.// Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 285 с.

46. Окисление жидких сплавов высокочистого алюминия с кремнием и германием кислородом воздуха / И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, Б.Б. Эшов, Б.Б.

Джабборов, Х.М. Мухиддинов // XIX совещание «Высокочистые вещества и металлические материалы на их основе»: тезисы докладов. - Суздаль, 1993.

47. Лепинский, В.М. Кинетика окисления жидкого алюминия / В.М. Лепинский, В.И. Киселев // Рук. Деп. В ВИНТИ. -1976. -№5. -С.342-354.

48. Елютин, В., Митин, Б., Самотейкин, В. // Изв. АН СССР. Металлы. - 1979. -№9. -С.227-231.

49. Олимов, Н.С. Автореферат на соискание ученой степени кандидата химических наук. –Душанбе. 1994.-26 с.

50. Окисление жидких сплавов высокочистого алюминия с кремнием и германием кислородом воздуха / И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, Б.Б. Эшов, Б.Б. Джаббаров, Х.М. Мухиддинов // XIX совещание «Высокочистые вещества и металлические материалы на их основе»: тезисы докладов. - Суздаль, 1993.

51. Джураева, Л.Т. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. –Душанбе. 1988г. –С. 120-128.

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

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

54. Ганиев, И.Н. О выборе алюминиевых лигатур со щёлочноземельными металлами, обладающими наименьшей окисляемостью / И.Н. Ганиев, Л.Т. Джураева, В.Г. Морозов // Тез. докл. Западно-Сибирской научно-технической конференции "Совершенствование технологических процессов при производстве отливок". -Омск, 1987. -С.20 - 21.

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

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

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

58. Лепинских, Б. Окисление жидких металлов и сплавов / Б. Лепинских, А. Киташев, А. Белоусов –М.: Наука. 1973. –С. 106.

59. Белоусов, А.А. Изучение кинетики окисления жидких сплавов барий-алюминий / А.А. Белоусов, Б.М. Лепинских // Рукопись деп. В ВИНТИ. –№555-76.

60. Лепинских, Б.М. Физико-химические свойства жидких сплавов щёлочноземельных металлов с алюминием / Б.М. Лепинских, А.А. Белоусов // Труды Института металлургии УНЦ АН СССР. 1978. –№31. –С. 29-39.

61. Шевченко В. Г. Влияние бария на кинетику окисления порошка сплава на основе алюминия / В. Г. Шевченко, Д. А. Еселевич, А. И. Анчаров, Б. П. Толочко // Физика горения и взрыва, 2014, т. 50, №6. -С. 28-33.

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

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

64. Бердиев, А.Э. Кинетика окисления сплава АК1М2, легированного иттрием в твёрдом состоянии / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов // Металлы. -2017, Т.1, №1. -С.1-5.
65. Голубев А.И. Анодное окисление алюминиевых сплавов/А. И. Голубев. –М.: Изд. АН СССР, 1961. -200 с.
66. Розловский, А.А. Электрохимическое рафинирование тяжелых легкоплавких металлов из расплавленных солей / А.А. Розловский, А.А. Булдаков, Г.Н. Ефимов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 157 с.
67. Акимов А.А. Основы учения о коррозии и защите металлов / А.А. Акимов. – М.: Металлургиздат, 1945. -405 с.
68. Zeerleder A., Zurbruge E. Aluminium, 1938, №6.- P.365.
69. Schick H., Hellunh W. Aluminium, 1938, №7.- P. 452.
70. Голубев А.И. Коррозионные процессы на реальных микроэлементах / А.И. Голубев. – М.: Оборонгиз, 1953. -С.20.
71. Ганиев, И.Н. Влияние рН среды на анодные поляризационные характеристики сплавов системы Al-Sr / И.Н. Ганиев, М.Ш. Шукроев // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. Физ-мат, хим. и геол. наук. 1986. -№1, -С.79-81.
72. Ганиев, И.Н. Коррозия алюминиевых сплавов с кальцием, стронцием и барием в морской воде / И.Н. Ганиев, В.В. Красноярский, Т.И. Жукова // ЖПХ., 1995. -Т.68, -№7, -С.1146-1149.
73. Бердиев, А.Э. Сравнительное исследование влияния добавок лантана и скандия на анодные характеристики сплава АК1 на основе особо чистого алюминия / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов, Б.Б. Эшов // Журнал прикладной химии. -2015. -Т.88. -№6. -С.887-891.
74. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 753, СПБ: С22С 11/00. Способ повышения коррозионной стойкости сплавов на основе особо чистого алюминия / И.Н. Ганиев; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Х.Х. Ниёзов и др. - №1500978; заявл. 22.10.2015; опубл. 05.02.2016, Бюл. 62, 2016.- 7 с.

75. Хэтч, Дж. Аллюминий: свойства и химическое металловедение: справочник / Под. ред. Дж. Хэтча; пер. с англ. - М.: Металлургия, 1989. -423 с.

76. Ганиев, И.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение особо-чистого алюминия и его сплава АК, легированного скандием / И.Н. Ганиев // Журнал прикладной химии. -2004. -Т.77. -№6.-С.939-943.

77. Ниёзов, Х.Х. Анодное поведение сплава АК1 на основе особо чистого алюминия, легированного эрбием и иттербием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Б.Б. Эшов // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы металлургии Таджикистана и пути их решения». - Душанбе, НИТУ «МИСиС», 2016. -С. 45-48.

78. Анодное поведение сплава АК1М2, легированного скандием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. -2012. -Т.14. -№4. -С.112-115.

79. Бердиев, А.Э. Влияние иттрия на анодные характеристики сплава АК1М2 / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. -2014. -Т.17. -№3. -С.224-227.

80. Ниёзов, Х.Х. Влияние иттрия на электрохимические характеристики сплава АК1М2 / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев [и др.] // V Международная научно-практическая конференция «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ». - Душанбе, -2011. -Ч.1. -С.302-303.

81. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов // -М. : Энергия. 1973. -144 с.

82. Низомов, З. Исследование температурной зависимости удельной теплоёмкости алюминия марок ОСЧ и А7 / З. Низомов, Б. Гулов, И.Н. Ганиев и [др.] // ДАН Республики Таджикистан. 2011. -Т.54. -№1. -С. 53-59.

83. Лабораторный практикум по дисциплине «Материаловедение» / Сост. И.И. Жагрина – М.: ГОУ ВПО «РГТЭУ», 2011. – 32 с.

84. Киров, С.А. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения. /А.В. Козлов, А.М. Салецкий, Д.Э. Харабадзе// Учебное пособие М.: ООП Физический факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022. 26с.

85. Тарсин, А.В. Определение теплоёмкости металлов методом охлаждения. / К.С. Костерин // Лабораторные занятия -Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2014. – 98с.

86. Рогачев, Н.М. Определение удельной теплоемкости твердых тел: / С.И. Гусева // Метод. указания к лабор. работе №1-23 - Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва, 2012. – 115с.

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

88. Гафнер, Ю.Я. Анализ теплоемкости нанокластеров ГЦК-металлов на примере Al, Ni, С, Pb, Au /С.Л. Гафнер, И.С. Замулин, Л.В. Редель, В.С. Байдышев// Физика металлов и металловедение. 2015. Т. 116. № 6. С. 602-607.

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

90. Антонов, Е.А. Определение удельной теплоемкости металлов методом охлаждения. / В.В. Соболев // Учебно-методическое пособие / Ижевск. 2015. – 24с.

91. Радченко, С.А. Теплотехника и энергетические машины. / А.Н. Сергеев // Учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – 630с.

92. Менлиев, Ш. Определение теплоемкости металлов методами нагрева и охлаждения / А. Гуллыева, А. Спиридонов // Сборник научных трудов студентов. Элиста, 2020. С. 119-121.

93. Гусейнов, Ф.Н. Термодинамические свойства соединения SnSb_2Te_4 / А.Э. Сеидзаде, Ю.А. Юсипов, М.Б. Бабанлы // Неорганические материалы. 2017. Т. 53. № 4. С. 347-350.
94. Ростокин, В.И. Исследование зависимости теплоемкости металлов от температуры // Физическое образование в ВУЗах. 2011. Т. 17. № 3. С. 54-65.
95. Игишева, А.Л. Измерение удельной теплоемкости твердого тела методом монотонного охлаждения / Э.Г. Соболева // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современное состояние и проблемы естественных наук». Юргинский технологический институт. 2015. С. 74-78.
96. Рябин, В.А. Термодинамические свойства веществ. /М.А. Остроумов, Т.Ф. Свит // Справочник. Л.: Химия, 1977. - 392 с.
97. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов // –М. : Энергия. 1973. –144 с.
98. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплава Al , легированного стронцием / И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, М. Махмудов, Н.Ф. Иброхимов // Теплофизика высоких температур, том 57, № 1, 2019.-С. 1-6
99. Гулов, Б.Н. Исследование температурной зависимости термодинамических свойств сплава $\text{Al}+2\% \text{Cu}$ / Б.Н. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Низомов // Вестник Таджикского технического университета. 2011. –Вып.3. –с. 123-130.
100. Отаджонов, С.Э. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава AlMg с кальцием / С.Э. Отаджонов, И.Н. Ганиев, М. Махмудов, М.М. Сангов // Известия Юго-западный государственный университет. Серия Техника и технологии. Том 8, № 3 (28).- 2018.-С.105-115.
101. Отаджонов, С.Э. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функции сплава AlMg , легированного стронцием / С.Э.

Отаджонов, И.Н. Ганиев, М. Махмудов, Н.Ф. Иброхимов // Известия вузов. Материалы электронной техники. - №1, 2019. - С.25-34.

102. Муллоева, Н.М. Теплофизические и термодинамические свойства сплавов свинца с щелочноземельными металлами: монография / Н.М. Муллоева, И.Н. Ганиев, Х.А. Махмадуллоев // Издательский дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.- 66 с.

103. Otadzonov, S.E. Temperature Dependence of the Heat Capacity and Variability of the Thermodynamic Functions of Alloy AK1 Doped with Strontium / S. E. Otadzonov, I. N. Ganiev, M. Makhmudov, N. F. Ibrokhimov // High Temperature, 2019, Vol. 57, No.1, pp. 22-26.

104. Давлатзода, Ф.С. Влияние титана, ванадия и необия на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава АМг2 / И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов, С.С. Раджабалиев, П.Н. Караев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, 2019, Т.46, №2. –С. 67-71.

105. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость термодинамических функций сплавов $Zn_{5}Al$ и $Zn_{55}Al$ / Д.Н. Алиев, Н.Ф. Иброхимов, С.Д. Алиханова, Н.Б.Одинаева // Доклады АН РТ. 2014. Т. 57. № 7. С. 588-593.

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

107. Новикова, С.И. Тепловое расширение твёрдых тел / С.И. Новикова.- М.: Наук, 1974.- 291 с.

108. Thermal properties of matter, V 10 Thermal diffusivity ed by Touloukian Y S N Y, W IFI / Plenum, 1973. –649 p.

109. Williams, R.K. Separation of the electronic and lattice contribution to the thermal conductivity of metals and alloys / R.K. Williams, W. Fulkerson // Thermal Conductivity Proc. 1-th Conf W Laf. –USA, 1968. –P.1-180.

110. Ходжаназаров, Х.М. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцового баббита БЛи

(PbSb15Sn10Li), легированного литием / И.Н. Ганиев, Ф.К. Ходжаев, Б.Б. Эшов // *Металлург. -2023- № 3. (SCOPUS-Q3).*

111. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи свинцового баббита БЛи (PbSb15Sn10Li) с литием / Х.М. Ходжаназаров, Ф.К. Ходжаев, Б.Б. Эшов, Х.О. Одиназода // VIII Международной конференции современные проблемы физики. ГНУ “Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ” – 2022г. С.127-130

112. Ganiev, I. N. Heat Capacity and Thermodynamic Functions of Sodium-Alloyed Lead Babbitt BNa (PbSb15Sn10Na) / Kh.M. Khodzhanazarov, F. K. Khodzhaev, B. B. Eshov // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2023, Vol. 97, No. 4, pp. 550–555.

113. Раиса, Ф.В. Высокотемпературное окисление металлов и сплавов – Киев: / И.Г. Эмма // «Наукова Думка». 1980, 292 с.

114. Кубашевский, О. Окисление металлов -М.: / Г. Гопкинс // *Металлургия*. 1985. С. 360-363.

115. Лужникова, Л.П. Материалы в машиностроении, Т. 1. Цветные металлы и сплавы. М.: 1967. - 287 с.

116. Резай, Б. Влияние температуры отливки сплава Pb-Sb-Sn для решетки пластины аккумуляторной батареи на поляризацию при выделении кислорода в свинцовых кислотных аккумуляторах // *Электрохимия*. 2006. Т. 42. № 4. С. 401-405.

117. Лепинских, Б.М. Окисление жидких металлов и сплавов / Б.М. Лепинских, А. Киташев, А. Белоусов. -М.: Наука, 1973. -С. 106.

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

119. Лепинских, Б.М. Об окислении жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы / Б.М. Лепинских, В. Кисилёв // *Изв. АН СССР. Металлы*. -1974. -№ 5. -С. 51-54.

120. Джайлоев, Дж.Х. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием / И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. -2018. -№4. -С. 214-220.
121. Назаров, Ш.А. Кинетика окисления сплава Al+6%Li, модифицированного лантаном, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Irene Calliari., А.Э. Бердиев, Н.И. Ганиева // Металлы. -2018. -№1. -С. 34-40.
122. Муллоева, Н.М. Кинетика окисления сплавов Pb-Sr (Ba) в жидком состоянии / И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов // Журнал физической химии. -2015.-Т.89.- №10.- С. 1-5.
123. Назаров, Ш.А. Кинетика окисления сплава Al+6%Li, модифицированного лантаном, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Irene Calliari., А.Э. Бердиев, Н.И. Ганиева // Металлы. -2018. -№1. -С. 34-40.
124. Назаров, Ш.А. Кинетика окисления сплава Al+6%Li, модифицированного церием / И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, Н.И. Ганиева // Металлы. -2018. -№3 -С. 33-38.
125. Ganiev, I.N. E-ALMGSI (ALDREY) Aluminum conductive alloy with the solid state cadmium oxidation kinetics / E.J. Kholov, J.H. Jayloev, N.I. Ganieva, V.Dz. Abulkhaev // Modern Electronic Materials. 2022. №2 (187). pp. 77-82.
126. Шпанченко Р.В., Розова М.Г. Рентгенофазовый анализ. Москва – 1998. 322с.
127. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. М., МГУ, 1976. 256с.
128. Голубев А.И. Анодное окисление алюминиевых сплавов/А. И. Голубев. –М.: Изд. АН СССР, 1961. -200 с.
129. Ганиев, И.Н. Кинетика окисления свинцового баббита БЛи (PbSb15Sn10Li), модифицированного литием / Х.М. Ходжаназаров, Х.О. Одиназода, Ф.К. Ходжаев // Журнал Металлы. 2023.№1 – С. 93-99.
130. Золоторевский, В.С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов / В.С. Золоторевский, Н.А. Белов // –М.: МИСиС. 2005. –376 с.

131. Акимов А.А. Основы учения о коррозии и защите металлов / А.А. Акимов. – М.: Металлургиздат, 1945.- 405 с.
132. Zeerleder A., Zurbruge E. Aluminium, 1938, №6.- P.365.
133. Schick H., Hellunh W. Aluminium, 1938, №7.- P. 452.
134. Голубев А.И. Коррозионные процессы на реальных микроэлементах / А.И. Голубев. – М.: Оборонгиз, 1953.-С.20.
135. Кеше, Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы. М: Металлургия. 1984. 400 с.
136. Авдееenko, А.П. Коррозия и защита металлов. Справочное пособие. /А.Е. Поляков, А.Л. Юсина, С.А. Гончарова// Краматорск, ДГМА, 2004.112 с.
137. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Учебное пособие. М.: ООО ТИД "Альянс", 2006. - 472с.
138. Козлов, В.А. Основы коррозии и защиты металлов. / М.О. Месник // Иван. гос. хим. – технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 177с.
139. Кочергин, В.П. Защита металлов от коррозии в ионных расплавах и растворах электролитов. Учеб. пособие. Екатеринбург. Изд-е Урал. ун-та, 1991. - 304 с.
140. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии. М.: / Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов // ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 336 с.
141. Кравцов, В. В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии: Учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999 157с.
142. Невзоров, Б.А. Коррозия конструкционных материалов в жидких щелочных металлах. М.: / В.В. Зотов, В.А. Иванов, О.В. Старков, Н.Д. Краев, Е.В. Умняшин, В.А. Соловьев // Атомиздат. 1977. 264 с.
143. Левинзон, Л.М. В кн.: / И.А. Агуф // Исследования в области химических источников тока. Новочеркасск, 1966. 235 с.
144. Дасоян, М.А. Химические источники тока // М.А. Дасоян. // –М. –Л.: Госэнергоиздат. 1961. –231 с.
145. Синявский В. С. Коррозия и защита алюминиевых сплавов / В.С. Синявский, В.Д. Валков, В.Д. Калинин – М.: Металлургия.-1986.- 368 с.

146. Фрейман, Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. - Л.: / В.А. Макаров, И.Е. Брыксин // Химия, 1972. - 240 с.
147. Ганиев, И.Н. Влияние pH среды на анодные поляризационные характеристики сплавов системы Al-Sr / И.Н. Ганиев, М.Ш. Шукроев // Изв. АН Тадж. ССР. Отд. Физ-мат, хим. и геол. наук. 1986. -№1, -С.79-81.
148. Ганиев, И.Н. Коррозия алюминиевых сплавов с кальцием, стронцием и барием в морской воде / И.Н. Ганиев, В.В. Красноярский, Т.И. Жукова // ЖПХ., 1995. -Т.68, -№7, -С.1146-1149.
149. Бердиев, А.Э. Сравнительное исследование влияния добавок лантана и скандия на анодные характеристики сплава АК1 на основе особо чистого алюминия / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов, Б.Б. Эшов // Журнал прикладной химии. -2015. -Т.88. -№6. -С.887-891.
150. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 753, СПБ: С22С 11/00. Способ повышения коррозионной стойкости сплавов на основе особо чистого алюминия / И.Н. Ганиев; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Х.Х. Ниёзов и др. - №1500978; заявл. 22.10.2015; опубл. 05.02.2016, Бюл. 62, 2016.- 2 с.
151. Хэтч, Дж. Алюминий: свойства и химическое металловедение: справочник / Под. ред. Дж. Хэтча; пер. с англ. - М.: Металлургия, 1989. - 423 с.
152. Ганиев, И.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение особо чистого алюминия и его сплава АК, легированного скандием / И.Н. Ганиев // Журнал прикладной химии. -2004. -Т.77. -№6.-С.939-943.
153. Ниёзов, Х.Х. Анодное поведение сплава АК1 на основе особо чистого алюминия, легированного эрбием и иттербием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Б.Б. Эшов // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы металлургии Таджикистана и пути их решения». - Душанбе, НИТУ «МИСиС», 2016. -С. 45-48.

**ИНТИШОРОТ АЗ РҶӢИ МАВЗУИ ДИССЕРТАТСИЯ
НАТИЧАҲОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН
ДАРҚ ЁФТААНД**

**Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои илмӣ тавсияшудаи КОА назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Русия нашр шудаанд.**

[1-М]. Ганиев И.Н. Влияние добавок лития на теплоемкость и изменений термодинамических функций сплав $AlCu_{4.5}Mg1$ типа дюралюмини / И.Н. Ганиев, Э. Абуали, Р.С. Шоназаров, У.Н. Файзуллоев // Вестник Санкт-Петербургского Государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2023. №3. С.141-147.

[2-М]. Ганиев И.Н. Влияние добавок лития на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg1$ типа дюралюмин / И.Н. Ганиев, А. Элмурод, Р.С. Шоназаров, У.Н. Файзуллоев // Вестник Дангаринского государственного Университета. 2023. №3(25). С.136-148.

[3-М]. Ганиев И.Н. Влияние добавок калия на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg1$, в среде электролите $NaCl$ / И.Н. Ганиев, Э. Абуали, Р.С. Шоназаров, У.Н. Файзуллоев // Вестник Дангаринского государственного Университета. 2023. №1(23). С.117-129.

[4-М]. Абуали Э. Таъсири кинетикаи оксидшавии хулаи алюминий $AlCu_{4.5}Mg1$, бо иловаи калий дар 0,05 то 1% дар ҳолати саҳт / Э. Абуали, И.Н. Ганиев, Хочаназаров Х.М, Абуллоҷонов С.Ҳ // Паёми Донишгоҳи давлатии Данғара. 2024 №2(28) С. 104-110.

[5-М]. Ганиев И.Н. Влияние добавок калия на анодное поведение алюминиевого сплава $AlCu_{4.5}Mg1$ типа дюралюмин, в среде 0,3%-ного Электролита $NaCl$ / И.Н. Ганиев, Э. Абуали, Ходжаназаров Х.М. // Вестник филиала московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в город Душанбе серия естественных наук страна 2024 №3 (41) С. 55-62.

[6-М]. Ғаниев И.Н. Таъсири иловаи калий ба хосиятҳои механикӣ ва микроструктураи ҳӯлаи алюминийи $AlCu4.5Mg1$ навъи дюралюминӣ / И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, С.З. Валиев, Х.М. Хочаназаров, Б.С. Сафаров // Кишоварз. Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шоҳтемур. Душанбе. 2024 №4(105). сах. 85-89.

Ихтироот дар мавзӯи рисола:

[7-М]. Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон № Т J 1365. Ҳӯла дар асоси алюминий / Ғаниев И.Н., Сафаров А.М., Абуали Э., Ҷаборов Б.Б., Шоназаров Р.С., Файзуллоев У.Н., Ғаниева Н.И., Ҷайлоев Ҷ.Ҳ. // Афзалияти ихтироот аз 08.11.2022с. (санаи бақайдгирии давлатӣ 07.04.2023с).

Мақолаҳое, ки дар маводҳои конференсияи байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр шудаанд:

[8-М]. Ғаниев И.Н. Влияние добавок лития на коэффициент теплоотдачи дюралюминиевого сплава $AlCu4.5Mg1$ / И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, Р.С. Шоназаров, У.Р. Файзуллоев, Н.И. Ғаниева // Мат. Респ. научно-теор. конф. на тему: «Проблемы современной химии и состояния ее внедрения в учебный процесс», посв. «двадцатилетию изучения и развития естественных, точных, и математических наук в сфере науки и образования на 2020- 2040 годы», Дангаринского государственного университета, р. Дангара. 2022. С.7-11.

[9-М]. Ғаниев И.Н. Анодное поведение свойства алюминиевого сплава $AlCu4.5Mg1$ с литием в среде водного раствора 0,03%-ного $NaCl$ / И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, Р.С. Шоназаров, У.Н. Файзуллоев // Мат. Респ. научно-практической конф. «Абурайхон Беруни – феномен Востока», посвященный объявлению 2020-2040 годов «Двадцатилетие изучения и развития естественных, точных и математических наук в области науки и образования» и 1050-летию выдающегося Восточного мыслителя А. Беруни. 2022г. С.109-113.

[10-М]. Ғаниев И.Н. Исследование анодное алюминевого сплава $AlCu4.5Mg1$ типа дюралюмин с натрием в среде электролита 0,03%-ного $NaCl$ // И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, У.Н. Файзуллоев. Х.М. Ходжаназаров // Конференсияи

илмӣ-амалии байналмилалӣ дар мавзӯи “робитаи самарбахши илм бо истеҳсолот дар раванди истифодаи васеи технологияҳои муосир асоси рушди инноватсионӣ ва технологии истеҳсоли кишвар”. Дар хошияи амалишавии ҳадафҳои стратегии мамлакат ва 20 солаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, риёзӣ ва дақиқ барои солҳои 2020-2040. Кулоб. 28-29 феввали соли 2024. саҳ. 86-88.

[11-М]. Ғаниев И.Н. Таъсири кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$, бо иловаи натрий 0,05 то 1% дар ҳолати сахт // И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, У.Н. Файзуллоев. Х.М. Ходжаназаров // Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи “Рушди илмҳои риёзӣ, дақиқ ва табиӣ дар робита бо раванди таҳсилот ва истеҳсолот” бахшида ба эълон гардидани солҳои 2020-2040 “Бистсолаи омӯзиши ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф”. Данғара. 30 - апрел соли 2024. саҳ. 111-118.

[12-М]. Ғаниев И.Н. Таъсири кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи $AlCu_{4.5}Mg_1$, бо иловаи литий 0,05 то 1% дар ҳолати сахт // И.Н. Ғаниев, Э. Абуали, У.Н. Файзуллоев. Х.М. Ходжаназаров // Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ “Саноатикунони рақамӣ ва рушди энергетикӣ аз нигоҳи олимону муҳақиқон” бахшида ба таҷлили Рӯзи илми тоҷик инчунин эълон гардидани солҳои 2020-2040 – “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф”. ДЭТ. 25 – апрел соли 2024. саҳ. 205-210.

ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН		ИДОРАИ ПАТЕНТӢ	
			
ШАҲОДАТНОМА			
Шахрванд	Абуали Ӯ.		
муаллифи ихтирон	<i>Хӯла дар асоси алюминий</i>		
Ба ихтироъ нахустпатенти	№ ТҶ	1365	дода шудааст.
Дорандаи нахустпатент	Муассисан давлатии илмӣ «Институту кимиёи ба номи В.И. Никитин»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон		
Сарзамин	Ҷумҳурии Тоҷикистон		
Хаммуаллиф(он)	Ғаниев И. Н., Сафаров А. М., Ҷабборов Б. Б., Шоназаров Р. С., Файзуллоев У. Н., Ғаниева Н. И., Ҷайлоев Ҷ. Х.		
Аввалияти ихтироъ	08.11.2022		
Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза	08.11.2022		
Аризаи №	2201749		
Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон			
07 апрели	с. 2023	ба қайд гирифта шуд	
Нахустпатент эътибор дорад аз	08 ноябри	с. 2022	то 08 ноябри с.2033
Ин шаҳодатнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку имтиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо конунгузории ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад			
ДИРЕКТОР		Исмаиловда М.	

Натиҷаҳои таҳлили рентгенофазовии маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаи

AlCu_{4.5}Mg₁ бо литий, натрий и калий**Search-Match****Settings**

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

Matched Materials**A Cupalite, syn**

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

B Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al ₂ O ₄
Pdf Number	71-967
Figure of Merit	4%
Total Peaks	11
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0

Scale Factor	1.15801
Concentration	0.230435
I / Icorundum	3.2

C Copper Aluminum Oxide

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

D Aluminum Magnesium

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

E Magnesium Aluminum Oxide

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

F Magnesium Copper Oxide

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

G Corundum

Formula	Al ₂ O ₃
Pdf Number	75-787
Figure of Merit	1%
Total Peaks	13
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0634389
Concentration	0.00856053
I / Icorundum	2.17

H Copper Oxide

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

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
----------------------	-----

Matched / Total

13 / 27

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
8.167	10.8169	29	0.245	96.3%	
8.893	9.9350	27	0.245	94.0%	
15.557	5.6911	26	0.196	95.0%	AC
16.055	5.5159	25	0.235	91.2%	
20.217	4.3888	25	0.277	94.9%	
21.021	4.2226	49	0.253	100%	
22.671	3.9189	39	0.225	99.7%	
24.313	3.6578	34	0.249	99.0%	
25.098	3.5452	29	0.213	97.4%	
26.353	3.3791	38	0.240	99.1%	
29.310	3.0446	32	0.235	96.7%	D
31.501	2.8377	32	0.212	96.9%	ACE
36.490	2.4603	47	0.239	99.8%	C
38.700	2.3247	2734	0.255	100%	EH
40.340	2.2340	56	0.250	100%	
41.593	2.1695	42	0.230	98.8%	
42.232	2.1381	38	0.190	94.2%	
42.962	2.1035	84	0.284	100%	F
44.922	2.0161	1756	0.280	100%	BE
47.636	1.9074	106	0.239	100%	
48.199	1.8865	92	0.233	100%	AC
58.476	1.5770	33	0.244	98.0%	A
59.404	1.5546	39	0.259	99.5%	BD
60.293	1.5338	39	0.266	99.7%	G
62.375	1.4875	32	0.236	98.0%	AF
63.003	1.4742	35	0.202	98.7%	
65.378	1.4262	1684	0.256	100%	B

AlCu_{4.5}Mg_{1+1,0}Li**Search-Match****Settings**

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

Matched Materials**A Spinel, syn**

Formula	Al ₂ MgO ₄
---------	----------------------------------

Pdf Number	73-559
Figure of Merit	6%
Total Peaks	11
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.52128
Concentration	0.103982
I / Icorundum	2.13

B Spinel

Formula	Mg Al ₂ O ₄
Pdf Number	86-2258
Figure of Merit	4%
Total Peaks	11
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.571433
Concentration	0.0319067
I / Icorundum	1.74

C Magnesium Copper Oxide

Formula	Mg _{.85} Cu _{.15} O
Pdf Number	77-2182
Figure of Merit	18%
Total Peaks	3
Peaks Matched	1
New Matches	1
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0193729
Concentration	0.00210748
I / Icorundum	3.39

D Cupalite, syn

Formula	Al Cu
Pdf Number	88-1713

Figure of Merit	8%
Total Peaks	74
Peaks Matched	13
New Matches	13
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.519056
Concentration	0.0323135
I / Icorundum	1.94

E Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al O_2
Pdf Number	75-2358
Figure of Merit	1%
Total Peaks	13
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0846345
Concentration	0.00975011
I / Icorundum	3.59

F Lithium Copper Oxide

Formula	$\text{Li}_2 \text{ Cu O}_2$
Pdf Number	79-1940
Figure of Merit	2%
Total Peaks	19
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	3.20325
Concentration	0.510876
I / Icorundum	4.97

G Aluminum Oxide

Formula	$\text{Al}_2 \text{ O}_3$
Pdf Number	73-2294
Figure of Merit	2%

Total Peaks	13
Peaks Matched	1
New Matches	1
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0316093
Concentration	0.00221126
I / Icorundum	2.18

H Copper Oxide

Formula	Cu ₈ O
Pdf Number	78-1588
Figure of Merit	2%
Total Peaks	37
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.551983
Concentration	0.0880338
I / Icorundum	4.97

I Copper Oxide

Formula	Cu O
Pdf Number	80-76
Figure of Merit	4%
Total Peaks	18
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.36927
Concentration	0.21882
I / Icorundum	4.98

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	13 / 29

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
7.748	11.4005	32	0.246	96.7%	

9.547	9.2565	25	0.263	94.1%	
12.531	7.0579	31	0.204	97.5%	
13.768	6.4265	36	0.248	98.7%	
14.485	6.1098	29	0.201	96.5%	
15.540	5.6973	32	0.222	98.1%	D
19.755	4.4903	34	0.221	98.8%	
20.950	4.2368	67	0.266	100%	
22.102	4.0186	33	0.238	97.9%	
23.130	3.8422	25	0.254	94.2%	
28.476	3.1318	71	0.283	100%	
29.684	3.0071	63	0.254	100%	H
30.499	2.9286	41	0.269	99.7%	
31.224	2.8622	33	0.192	97.4%	AB
34.609	2.5896	47	0.254	99.8%	
38.632	2.3287	2338	0.259	100%	ABFHI
39.557	2.2763	34	0.315	94.1%	
40.425	2.2295	46	0.421	99.6%	
42.102	2.1444	55	0.252	99.7%	E
42.874	2.1076	109	0.282	100%	C
44.933	2.0157	2910	0.255	100%	AF
47.567	1.9100	61	0.241	99.9%	
48.054	1.8918	64	0.295	99.7%	D
50.265	1.8136	32	0.223	95.8%	F
55.166	1.6636	41	0.217	99.6%	D
57.456	1.6026	46	0.259	99.9%	G
63.400	1.4659	31	0.225	95.2%	
65.353	1.4267	1004	0.267	100%	A
68.477	1.3690	46	0.238	99.9%	BDH

AlCu4.5Mg1+1,0Na

Search-Match

Settings

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

Matched Materials

A Aluminum Magnesium

Formula	$\text{Al}_{12} \text{Mg}_{17}$
Pdf Number	73-1148
Figure of Merit	3%
Total Peaks	28
Peaks Matched	7
New Matches	7
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.36591
Concentration	0.0236863
I / Icorundum	2.41

B Spinel, syn

Formula	$\text{Mg Al}_2 \text{O}_4$
Pdf Number	75-1797
Figure of Merit	6%
Total Peaks	11
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.0092
Concentration	0.0447267
I / Icorundum	1.65

C Spinel, syn

Formula	$(\text{Mg}_{0.88} \text{Al}_{0.12}) (\text{Al}_{0.94} \text{Mg}_{0.06})_2 \text{O}_4$
Pdf Number	86-84
Figure of Merit	2%
Total Peaks	11
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.456825
Concentration	0.0215957
I / Icorundum	1.76

D Spinel

Formula	$(\text{Mg}_{0.4} \text{Al}_{0.6}) \text{Al}_{1.8} \text{O}_4$
Pdf Number	87-343
Figure of Merit	4%
Total Peaks	9
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0116339
Concentration	0.000496853
I / Icorundum	1.59

E Spinel, syn

Formula	$(\text{Mg}_{0.77} \text{Al}_{0.23}) (\text{Al}_{0.885} \text{Mg}_{0.115})_2 \text{O}_4$
Pdf Number	86-85
Figure of Merit	3%
Total Peaks	11
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.343848
Concentration	0.0155161
I / Icorundum	1.68

F Magnesium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Mg}_{0.36} \text{Al}_{2.44} \text{O}_4$
Pdf Number	77-729
Figure of Merit	3%
Total Peaks	14
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.00630779
Concentration	0.000249057
I / Icorundum	1.47

G Cupalite, syn

Formula	Al Cu
---------	----------------

Pdf Number	88-1713
Figure of Merit	9%
Total Peaks	74
Peaks Matched	19
New Matches	19
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.472672
Concentration	0.0246301
I / Icorundum	1.94

H Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al O ₂
Pdf Number	75-2358
Figure of Merit	1%
Total Peaks	13
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.481005
Concentration	0.0463819
I / Icorundum	3.59

I Copper Magnesium

Formula	Mg Cu ₂
Pdf Number	77-1178
Figure of Merit	2%
Total Peaks	8
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.190972
Concentration	0.0282635
I / Icorundum	5.51

J Aluminum Oxide

Formula	Al _{10.666} O ₁₆
Pdf Number	80-956

Figure of Merit	3%
Total Peaks	17
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0198673
Concentration	0.000624353
I / Icorundum	1.17

K Aluminum Oxide

Formula	$\text{Al}_2 \text{O}_3$
Pdf Number	73-2294
Figure of Merit	2%
Total Peaks	13
Peaks Matched	1
New Matches	1
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0271033
Concentration	0.00158703
I / Icorundum	2.18

L Paramelaconite

Formula	$\text{Cu}_{16} \text{O}_{14.15}$
Pdf Number	71-251
Figure of Merit	1%
Total Peaks	19
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	1.92903
Concentration	0.401555
I / Icorundum	7.75

M Sodium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Na}_2 \text{Al}_{22} \text{O}_{34}$
Pdf Number	76-923

Figure of Merit	1%
Total Peaks	64
Peaks Matched	8
New Matches	8
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.61616
Concentration	0.0466711
I / Icorundum	2.82

N Sodium Copper Oxide

Formula	$\text{Na}_6 (\text{O}_2 (\text{Cu O}_2)_2)$
Pdf Number	79-320
Figure of Merit	1%
Total Peaks	178
Peaks Matched	20
New Matches	20
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.403586
Concentration	0.0260167
I / Icorundum	2.4

O Sodium Magnesium Aluminum Oxide

Formula	$(\text{Na}_2 \text{O}) (\text{Mg O})_4 (\text{Al}_2 \text{O}_3)_{15}$
Pdf Number	74-663
Figure of Merit	2%
Total Peaks	79
Peaks Matched	13
New Matches	13
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	2.03455
Concentration	0.137166
I / Icorundum	2.51

P Sodium Magnesium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Na}_2 \text{O Mg O} (\text{Al}_2 \text{O}_3)_5$
Pdf Number	76-602
Figure of Merit	1%
Total Peaks	59

Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	3.6294
Concentration	0.157926
I / Icorundum	1.62

Q Sodium Oxide

Formula	Na O ₂
Pdf Number	77-208
Figure of Merit	2%
Total Peaks	22
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.396664
Concentration	0.0229069
I / Icorundum	2.15

Peak List

Peak Search Settings

Confidence Threshold	90%
Matched / Total	24 / 33

List of Peaks

2-Theta	D-Spacing	Intensity	Width	Confidence	Matches
8.489	10.4074	49	0.195	99.8%	
9.060	9.7528	30	0.166	96.2%	
9.519	9.2837	39	0.171	99.5%	
13.676	6.4694	36	0.186	93.5%	
14.315	6.1822	38	0.233	96.7%	
16.953	5.2257	55	0.216	99.8%	
17.651	5.0204	45	0.188	98.7%	L
20.678	4.2920	87	0.222	100%	A
22.229	3.9958	54	0.185	99.8%	O
23.228	3.8261	31	0.183	92.7%	
26.556	3.3537	40	0.216	98.0%	
27.249	3.2700	49	0.207	99.5%	N
28.440	3.1358	33	0.187	94.4%	
30.787	2.9019	42	0.191	96.6%	L
31.974	2.7967	29	0.173	90.9%	JM
34.374	2.6068	50	0.196	99.3%	NP

36.004	2.4924	64	0.190	100%	INO
38.460	2.3387	2467	0.207	100%	BPQ
40.167	2.2432	64	0.225	99.9%	AFGMN
42.671	2.1172	108	0.228	100%	I
44.773	2.0225	3975	0.199	100%	BCGN
47.330	1.9190	173	0.211	100%	Q
47.915	1.8970	76	0.201	99.9%	GN
48.803	1.8645	36	0.182	95.6%	AEGO
53.248	1.7189	40	0.172	98.4%	NP
54.819	1.6733	59	0.193	99.9%	LOP
55.447	1.6558	55	0.205	99.9%	EN
57.440	1.6030	42	0.186	98.6%	KNOP
58.140	1.5853	45	0.205	99.4%	FGNO
59.397	1.5548	37	0.188	96.9%	ACMNO
65.107	1.4315	1331	0.224	100%	BHNO
67.071	1.3943	65	0.197	100%	DGJMP
67.681	1.3832	33	0.195	91.6%	AGLNOQ

AlCu4.5Mg1+1,0K

Search-Match

Settings

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

Matched Materials

A Cupalite, syn

Formula	Al Cu
Pdf Number	88-1713
Figure of Merit	10%
Total Peaks	74
Peaks Matched	16
New Matches	16
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.41751
Concentration	0.0771277
I / Icorundum	1.94

B Aluminum Copper Oxide

Formula	Al ₂ Cu O ₄
---------	-----------------------------------

Pdf Number	76-2295
Figure of Merit	4%
Total Peaks	10
Peaks Matched	3
New Matches	3
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	2.2847
Concentration	0.717934
I / Icorundum	3.3

C Copper Aluminum Oxide

Formula	Cu Al O_2
Pdf Number	75-2359
Figure of Merit	2%
Total Peaks	13
Peaks Matched	2
New Matches	2
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.013173
Concentration	0.00440285
I / Icorundum	3.51

D Aluminum Magnesium

Formula	$\text{Al}_{12} \text{Mg}_{17}$
Pdf Number	73-1148
Figure of Merit	0%
Total Peaks	28
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.151331
Concentration	0.0347285
I / Icorundum	2.41

E Spinel

Formula	$(\text{Mg}_{0.4} \text{Al}_{0.6}) \text{Al}_{1.8} \text{O}_4$
Pdf Number	87-344
Figure of Merit	1%
Total Peaks	9
Peaks Matched	1

New Matches	1
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.22625
Concentration	0.0353326
I / Icorundum	1.64

F Magnesium Potassium Aluminum Oxide

Formula	$\text{Al}_{10.38} \text{Mg}_{0.62} \text{K}_{1.62} \text{O}_{17}$
Pdf Number	84-304
Figure of Merit	1%
Total Peaks	64
Peaks Matched	5
New Matches	5
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0921703
Concentration	0.00895227
I / Icorundum	1.02

G Cuprite

Formula	$\text{Cu}_2 \text{O}$
Pdf Number	78-2076
Figure of Merit	12%
Total Peaks	7
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	0
Peak Shift	0
Scale Factor	0.0115975
Concentration	0.00914398
I / Icorundum	8.28

H Potassium Ozonide

Formula	K O_3
Pdf Number	84-1520
Figure of Merit	1%
Total Peaks	31
Peaks Matched	4
New Matches	4
Strong Unmatched	1
Peak Shift	0
Scale Factor	0.477794
Concentration	0.112378

Peak List**Peak Search Settings**

Confidence Threshold

90%

Matched / Total

16 / 24

List of Peaks

<i>2-Theta</i>	<i>D-Spacing</i>	<i>Intensity</i>	<i>Width</i>	<i>Confidence</i>	<i>Matches</i>
8.418	10.4944	27	0.215	94.3%	
9.511	9.2916	32	0.205	97.5%	
16.332	5.4228	34	0.240	97.9%	
17.027	5.2031	34	0.209	95.4%	
17.965	4.9335	35	0.223	91.0%	A
20.754	4.2764	61	0.270	100%	
23.699	3.7513	28	0.207	94.9%	F
24.793	3.5882	29	0.204	94.6%	
29.623	3.0132	30	0.243	94.9%	G
34.902	2.5686	44	0.221	99.5%	A
35.665	2.5153	31	0.246	94.9%	F
36.434	2.4640	38	0.217	95.7%	CG
38.501	2.3363	1760	0.232	100%	B
40.162	2.2434	58	0.234	99.9%	ADF
42.706	2.1155	90	0.227	100%	
44.821	2.0205	2418	0.229	100%	AB
47.376	1.9173	57	0.229	99.8%	
54.295	1.6882	30	0.207	94.7%	AH
56.534	1.6265	35	0.218	97.8%	D
57.301	1.6065	53	0.218	100%	E
60.465	1.5298	31	0.222	95.3%	F
61.373	1.5093	34	0.282	97.9%	G
65.267	1.4284	1427	0.232	100%	B
67.052	1.3946	60	0.256	100%	A