

Бо ҳуқуқи дастнавис



НИЁЗОВ Ҳамзакул Ҳамроқулович

**ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКӢ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАҲОИ АЛЮМИНИИ
МАХСУСАН ТОЗАИ ТАМҒАҲОИ АК1 ВА АК1М2
БО МЕТАЛЛҲОИ НОДИРЗАМИНӢ**

05.02.01– Маводшиносӣ (дар мошинсозӣ)

АВТОРЕФЕРАТИ
рисола барои дарёфти дараҷаи илмӣ
номзади илмҳои техникаӣ

Душанбе – 2017

Диссертатсия дар озмоишгоҳи «Маводҳои ба коррозия устувор»-и Институти химияи АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи В.И. Никитин иҷро гардидааст.

Роҳбарони илмӣ: **Ғаниев Изатулло Наврузович** - доктори илмҳои химия, профессор, академики АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон

Бердиев Асадкул Эгамович - номзади илмҳои техникаӣ, дотсент, мудири кафедраи фанҳои табиатшиносии Донишгоҳи Славянии Россия ва Тоҷикистон

Муқарризони расмӣ: **Каримов Нусратулло Каримович** - доктори илмҳои техникаӣ, и.в. профессори кафедраи технология ва мошинсозии ДДОТ ба номи С. Айнӣ.

Сафаров Амиршо Ғоибович - номзади илмҳои химия, ходими пешбари илмии Институти физикаю техникаи АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи С.У.Умаров

Муассисаи пешбар: Филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқоти технологияи «Донишкадаи пӯлоду хӯлаҳои Москва» дар шаҳри Душанбе

Ҷимоя рӯзи 4 октябри соли 2017, соати 10⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-007 назди Институти кимиёи АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон ба номи В.И.Никитин баргузор мегардад.
Суроға: 734063, ш. Душанбе, кӯчаи Айнӣ, 299/2.
E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва дар сомонаи интернетии Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини АИ Ҷумҳурии Тоҷикистон шинос шавед.
www.chemistry.tj

Авореферат санаи « ___ » _____ соли 2017 аз рӯи феҳристи пешниҳодшуда ирсол карда шудааст.

Котиби илмии
шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникаӣ, дотсент



Обидов З.Р.

ТАВСИФИ УМУМИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Масъалаҳои муҳими кор. Дар таҷрибаи ватанӣ ва хориҷӣ барои сохтани плёнқаҳои тунуки металлӣ бо тайёр кардани микросхемаҳои интегралӣ аз истифодабарии материалҳои металии индивидуалӣ ба ҳӯлаҳои баландсифат, ки дар таркиби худ ду ва ё зиёда қисматҳои ҷавҳаринонида доранд, истифода бурда шуд. Ҳангоми истифодабарии иловаҳои хурд як қатор масъалаҳо ба вучуд омад. Дар шумораи масъалаҳои зерин пеш аз ҳама тааллуқ доранд:

- интихоби намуд ва таркиби иловаҳои мувофиқ;
- тозагии иловаи қисматҳои ҷавҳаринонида, ки дар замони имруза душвор ҳалшаванда ба шумор меравад;
- миқдори технологияи муътадил ва таҷҳизотҳои мустаҳкам барои ҳосил кардани сатҳи баланди тозаии ҳӯлаҳо ва норасогӣ дар базаи назариявии дараҷаи коркарди интихоби композитсияҳои даркорӣ.

Ҳӯлаҳо дар асоси алюминии тоза шиносоии табиати онҳо сохт ва хосият иҷозат медиҳад барои тез ивазшавии тарафи хуби тавсифи истифодабарии асбобҳо, инчунин барои сарчашма ва васеъкунии соҳа истифода бурдани алюминӣ бо сифати тоза дар дигар соҳаҳои илм ва техника хизмат мекунад. Дар ин нақша кори вобаста бо истифодабарии ҳӯлаҳои алюминии нави сифати баландошта муҳим ва саривақтӣ ҳисобида мешавад.

Мутаассифона, дар замони имруза баъзе масъалаҳои тадқиқотии аз диққат дурафтода мавҷуд аст, ки барои интихоби ҳӯлаҳои даркорӣ, ба ҷумлаи онҳое, ки тадқиқоти хосиятҳои физикию химиявии ҳӯла дар асоси сифати баланди алюминӣ дохил мешавад. Ба гурӯҳи чунин системаҳо ҳӯлаҳои алюминию кремний АК1 ва АК1М2 бо иштироки металлҳои нодирзаминӣ (МА) дохил кардан мумкин аст.

Аз рӯйи тадқиқот муайян шудааст, ки ҳӯлаҳои ҷавҳаринонидаи алюминию кремний (АК1) ва алюминию кремнию мис (АК1М2) ба дастрас шудани ҳӯлаҳо дар қатори хосиятҳои физикию химиявии нодир оварда мерасонад. Муносиби хосиятҳо ва сохти ҳӯлаи алюминии баландсифат бо баҳисобгирии тадқиқоти хосиятҳои физикавию химиявии ҳӯлаҳо ба монанди гармиғунҷоиш, вазифаҳои термодинамикӣ, (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс), муайян намудани таснифҳои кинетикӣ ва энергетикӣ дар раванди оксидшавии ташкил намудани рафтори анодии ҳӯлаҳо дар муҳитҳои тезу тунд.

Мавзӯи кори диссертатсионӣ дар «Стратегияи Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соҳаи илм ва технология дар солҳои 2007-2015», инчунин дар барномаи «Ҷорӣ намудани коркардҳои муҳим дар саноати истеҳсолии Ҷумҳурии Тоҷикистон дар солҳои 2010-2015» дохил карда шудааст.

Мақсади тадқиқот дар коркарди синтези асосҳои физикию химиявии таркиби нави ҳӯлаҳои алюминию кремнию мис дар асоси алюминии тозаии маркаи А5N бо тозагии 99-999%, ҷавҳаринонидани металлҳои нодирзамини барои истифодабарии микроэлектроника ба сифати нишона ҳангоми рӯйпушкунӣ чараёнгузаронии ноқилҳо дар микросхемаҳои интегралӣ дида мешавад.

Барои ба даст овардани мақсадҳои гузошташуда вазифаҳои зерин ҳал шуданд:

- вобастагии дараҷагии гармиғунҷоиши хоси ҷавҳаронидани скандий, иттрий, празеодим ва неодим бо ҳӯлаи АК1М2, аз ҳарорат (то 300-900 К) бо роҳи таҷрибавӣ тадқиқ карда шудааст;

- вобастагии вазифаҳои термодинамикии (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) аз ҳарорат барои ҷавҳаронидани скандий, иттрий, празеодим ва неодим бо ҳӯлаи АК1М2 тадқиқ карда шудааст;

- бо усули термогравиметрии таснифи раванди оксидшавии кинетикӣ ва энергетикӣ ҳӯлаи АК1М2, ки бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавҳаронида тадқиқ карда шудааст;

- маҳсули оксидшавии ҳӯлаҳо муайян ва нақши онҳо дар ташкили механизми оксидшавии ҳӯлаҳо тадқиқ карда шудааст;

- рафтори анодии ҳӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ дар асоси алюминии тоза тағмаи А5N дар муҳити электролити концентратсияҳои гуногуни хлориди натрий омӯхта шудааст;

- Таъсири ионҳои хлорид ба рафтори анодии ҳӯлаҳои АК1 ва АК1М2, ки бо металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронида шудаанд, муайян карда шуд.

Навии тадқиқоти илмӣ иҷрошуда аз нуқтаҳои зерин иборат аст:

- муодилаи вобастагии дараҷавӣ гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавҳаронида, дар ҳарорати фосилавии аз 300 то 900 К бо роҳи таҷриба ба даст оварда шудааст;

- вобастагии вазифаҳои термодинамикии (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) ҳӯлаи АК1М2 ва таъсири иловаи Sc, Y, Pr, Nd аз ҳарорат дар онҳо муайян карда шудааст;

- таснифи раванди оксидшавии кинетикӣ ва энергетикӣ ҳӯлаи АК1М2 дар асоси алюминии тоза тағмаи А5N бо металлҳои нодирзаминӣ тадқиқ карда шудааст;

- маҳсули оксидшавии ҳӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ муайян ва нақши онҳо дар ташкили механизми оксидшавии ҳӯлаҳо нишон дода шудааст;

- параметрҳои асосии электрохимиявӣ, характери рафтори анодии ҳӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ, дар муҳити электролити NaCl муайян карда шудааст.

Мафҳуми амалии кор тайёр кардан ва таркиби муносиби ҳӯлаҳои АК1 ва АК1М2 дар асоси алюминии тоза тағмаи А5N, металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронида барои соҳаи электронӣ иборат аст.

Материалҳои сарфашуда, синтези ҳӯлаҳо ва усули тадқиқот

Ба сифати маводи сарфашуда алюминии тоза тағмаи АN5 (99.999% Al), кремнийи монокристалли (ГОСТ 25347-82), мис тағмаи МО9995 (ГОСТ 97172-82) ва лигатураи он бо металлҳои нодирзаминӣ: лигатур дар асоси алюминии тоза, ки дар таркибаш 2.5 мас.% скандий, иттрий - ИтМ-1(ТУ48-4-208-72), празеодим - ПрМ-1(ТУ 48-40-215-72), неодим - НМ-2 (ТУ48-40-205-72) дорад истифода шудааст.

Гӯдозаҳо дар тарозуҳои аналитикӣ АРВ-200 бо саҳеҳии $\pm 0.1 \cdot 10^{-4}$ кг чен карда шуданд. Гӯдозаҳои ҳӯлаҳо бо дарназардошти сақати металлҳо гузарониданд. Ҳӯлаҳои аз металлҳои нишондодашуда дар тафдонҳои гудозиши муқовимати электрикӣ (намуди СШОЛ) дар буттаҳо аз оксиди

алюминий, ҳангоми ҳароратҳо аз 750 то 850°C. Пеш аз тадқиқот сатҳи болоии намунаҳои хӯлаҳоро аз оксиди бавучудомада тоза мекунем.

Барои омӯзиши хосиятҳои физикию химиявии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, бо металлҳои нодирзамини (Sc, Y, Pr, Nd) чавҳиронида, усулҳои физикию химиявии замонавии тадқиқот ва таҷҳизотҳои зеринро истифода бурданд:

- тадқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳо бо қоидаи «хунуккунӣ»;
- омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо дар ҳолати саҳт бо усули термогравиметрӣ;
- тадқиқоти маҳсули оксидшавии хӯлаҳо бо усули ИК-спектроскопии ва ташҳиси фазавии рентгенӣ (РФА);
- усули потенстиостатикӣ тадқиқоти характеристикаи анодии хӯлаҳо бо қоидаи потенциодинамикӣ (потенциостатом ПИ-50.1.1).

Ҳолатҳои асосие, ки дар химоя оварда шудаанд:

- натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии гармиғунҷоиши чавҳиронидаи металлҳои нодирзаминӣ хӯлаи АК1М2 аз ҳарорат дар фосилаи ҳарорат аз 300 то 900 К;

- функсияҳои вобастагии термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) хӯлаҳои АК1М2 бо металлҳои нодирзамини аз ҳарорат;

- қиматҳои раванди оксидшавии энергетикӣ ва кинетикӣ хӯлаи АК1М2, чавҳиронидаи скандий, иттрий, празеодим ва неодим, инчунин механизми оксидшавии хӯллаҳо;

- барқароркунии характери анодии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl;

- таркиби хӯлаҳои нав ва тарзи баланд бардоштани мустаҳкамӣ зидди зангзании онҳо, ки бо патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон химоя карда шудааст.

Саҳми шахсии муаллиф аз таҳлили адабиётҳои додашуда, дар гузориши ҳалли масъалаи тадқиқот, тайёр намудан ва гузаронидани тадқиқотҳои озмоишӣ дар шароитҳои озмоишгоҳ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, ба шаклдорӣ ҳолатҳои асосӣ ва натиҷаҳои диссертатсия иборат аст.

Тасдиқи кор. Ҳолатҳои асосии диссертатсия дар конференсияи V-уми илмӣ-амалии байналхалқии «Перспективаҳои истифодаи технологияҳои нав ва ташаккули маълумоти техникӣ дар муассисаҳои маълумоти олии мамлакатҳои ИДМ» - Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи М.С.Осимӣ (Душанбе, 2011); конференсияи байналмилалӣ «Саволҳои ҳозиразамони молекулаҳои спектраскопии соҳаи конденсионӣ». – Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (ДМТ, Душанбе, 2011); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Масъалаҳои асосии маводшиносӣ дар мошинсозӣ ва усулҳои омӯзонидан». – Донишгоҳи давлатии омӯзгорӣ Тоҷикистон (ТДОТ) ба номи С.Айнӣ (Душанбе, 2012); конференсияи байналхалқии илмӣ-техникӣ «Нефт ва газҳои Сибири Ғарбӣ». - ДДИТ (Россия, Тюмен, 2013); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Перспективаҳои технологияи инноватсионӣ дар ташаккули саноати химияи Тоҷикистон». - ДМТ (Душанбе, 2013); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Достовардҳои технологияҳои инноватсионии материалҳои композитсионӣ ва хӯлаҳои онҳо дар соҳаи мошинсозӣ». –ДДОТ ба номи С.Айнӣ (Душанбе, 2014); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии

«Масъалаҳои металлургии Тоҷикистон ва роҳи ҳалли онҳо». - НИТУ «МИС и С» (Душанбе, 2016).

Наширёт. Аз рӯи натиҷаҳои тадқиқот 19 қор ҷоп карда шудааст, ки аз он ҷумла як монография, 9 мақола дар журналҳои аз тарафи ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон эътирофшуда, як патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистонро низ гирифтааст.

Ҳаҷм ва сохти таркибии диссертатсия. **Рисола** дар худ дастанвиси ҳаҷмаш 141 саҳифа ки аз мундариҷа, 4 боб дар ҳаҷми адабиётҳои овардашуда, қисми озмоишӣ, натиҷаҳои тадқиқот ва муҳокимаи онҳо. Қор аз 33 расм ва 64 ҷадвал иборат аст. Рӯйхати адабиётҳои истифодашуда 92 номгӯро ташкил медиҳад.

1. Мундариҷаи асосии қор

Дар мундариҷа пешгӯиҳо ва масъалаҳои тадқиқот оварда, мақсад ва масъалаҳои асосии қор ба шакл дароварда, нишондоди навоари илмӣ ва аҳамияти амалии қор, ҳолатҳои асосӣ қайд карда, барои ҳимоя пешкаш карда шудааст.

Дар боби аввал гармигунҷоиши ҳӯлаҳои алюминий бо кремний ва металлҳои нодирзаминӣ (МН), санҷиши нишондодҳои адабиёт аз рӯи сохт ва хосиятҳои системаи ҳӯлаҳои Al-Si, Al-МН, Al- Si-МН, инчунин ҳарорати баланди оксидшавии ҳӯлаҳои алюминий ва ҳӯлаҳои он бо кремний оварда шудааст.

Дар асоси таҳлили адабиётҳо ҳулоса бароварда шуд, ки нисбатан масъалаҳои муҳимми тадқиқоти илмии металлҳои нодирзаминӣ ва ҳӯлаҳо бо иштироки онҳо бояд чунин шавад:

1) тадқиқоти ҳаматарафаи хосиятҳои металлҳои нодирзаминии тоза, ҳамчунин скандий ва натрий (механикӣ, электрикӣ, оптикӣ, магнитӣ, ядрӣ ва ғ.) дар ҳароратҳои паст ва баланд дар фишори муқаррарӣ ва баланд бо мақсади пайдо намудани навигарӣ ва истифодаи онҳо дар техника.

2) таҳқиқи таркиби кристалӣ, ҳолати сохтани диаграммаҳо ва хосият ва таркибии диаграммаҳои ҳӯлаҳои металлҳои нодирзаминӣ байни якдигар ва бо дигар металлҳо бо мақсади пайдо кардани пайвастаҳои металлӣ бо хосиятҳои махсуси физикию химиявӣ.

3) омӯзиши сохт ва хосиятҳои физикию химиявии металлҳои нодирзаминӣ бо дигар металлҳо ва муайян намудани механизми таъсири ҷудоғонаи иловаҳои ҷавҳаронидаи металлҳои нодирзаминӣ ва омехтаи онҳо ба таркиб ва хосиятҳои ҳӯлаҳо (махсусан дар қайшӣ, гармиустуворӣ ва технологӣ) дар асоси алюминӣ, магнӣ, мис, оҳан, никел, титан, хром, молибден, ванадий, ниобий ва волфрам. Қорқарди таркиби мувофиқи ҳӯлаҳо ва лигатур, тайёр намудан ва қорқарди термомеханикии технологияи онҳо.

4) дарёфти ҳӯлаҳо металлҳои нодирзаминӣ ва иттрий бо хосиятҳои асосии физикӣ: электрикӣ, магнитӣ, оптикӣ, эмиссионӣ, ядрӣ. Дар алоқа бо ин бояд муфассал хосиятҳои физикии пайвастаҳои металлҳои нодирзаминӣ тадқиқот гузаронида шавад.

5) нишон додан ва асоснок кардани таъсири иқтисодӣ ва истифодаи металлҳои нодирзаминӣ дар саноат.

Бо вучуди набудани маълумотҳо дар адабиёт бораи хосиятҳои физикию

химиявии хӯлаҳои махсусан тозаи алюминий бо металлҳои нодирзаминӣ, ки зарурати иҷроиши тадқиқот аз рӯи мавзӯи додашуда хулоса баровард.

Дар боби дуюм натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ оварда шудааст.

Натиҷаи тадқиқоти кинетикаи оксидшавии металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидаи хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 дар асоси алюминии махсусан тоза, ки дар боби 3 оварда шудааст.

Дар боби чорум кор аз рӯи натиҷаҳои озмоишии омӯзиши рафтори анодии хӯлаҳо АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ дар муҳити нейтралӣи электролити NaCl оварда шудааст.

2. Тадқиқоти вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва вазифаҳои термодинамикии хӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ

Хӯлаи алюминий дар тафдони вакууми муқовимати намуди СНВЭ-1.3.1/16 бо усули маълум ба даст оварда шудааст.

2.1. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои АК1М2

Дар кори мазкур бо қоидаи «хунуккунӣ» тадқиқоти гармиғунҷоиш ва функцияи термодинамикии хӯлаи тағмаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ дар ҳарорати фосилаи васеъ гузаронида шуд.

Барои муайян кардани гармиғунҷоиши хос бо тартиби «хунуккунӣ» барои ҳар як гурӯҳи хӯла бояд қимати коэффисенти гармидиҳии аввалаи металл ва хӯла истифода шавад.

Бо тарзи таҷрибавӣ вобастагии ҳарорати намуна аз вақти хунукшавӣ ба намуди муодилаи зерин навишта мешавад:

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

ки дар он: a , b , p , k – доимӣ барои намунаи додашуда, τ – вақти хунуккунӣ. Дифферентсияи муодилаи (1) аз τ , суръати хунуккунии намунаҳо аз вақт бо муодилаи зерин ҳосил мешавад.

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

Аз рӯи формулаи (2) вобастагии ҳарорати суръати хунуккунии намунаи хӯлаҳо ҳисоб кардашудааст дар расми 1 оварда шудааст.

Азбаски дар адабиёт маълумот дар бораи бузургии коэффисенти гармидиҳӣ ($\alpha(T)$) алюминии махсусан тозаи тағмаи А5N, кремний ва мис вучуд надорад, муаллифон ҳисоби вобастагии ҳарорат $\alpha(T)$, C_p барои металлҳои додашуда аз рӯи муодилаи:

$$\alpha(T) = \frac{C_p(T)m \left(\frac{dT}{d\tau}\right)}{(T-T_0) \cdot S}, \quad (3)$$

ҳисоб кардаанд, ки: C_p – гармиғунҷоиши хос; m ва S – масса ва масоҳати ҳамвории намуна, T ва T_0 – ҳарорати намуна ва муҳити атроф.

Барои алюминий муодилаҳои зерини вобастагии ҳарорати коэффисенти гармидиҳӣ ва гармиғунҷоиш ба даст оварда шудаанд:

$$\alpha(T) = -11,3039 + 0,0936T - 1,0000 \cdot 10^{-4}T^2 + 4,5508 \cdot 10^{-8}T^3, \quad (4)$$

$$C_p(T) = 19,7162 + 2,0447T - 2,16 \cdot 10^{-5}T^2 + 1,612 \cdot 10^{-7}T^3. \quad (5)$$

Аз рӯйи муодилаи (2) мо суръати хунуккунии намунаи хӯллаҳоро ҳисоб кардем. Қиматҳои a, b, p, k, ab, pk барои тадқиқоти хӯлаҳо дар чадвали 1 оварда шудааст.

Чадвали 1 – Қиматҳои a, b, p, k, ab, pk дар муодилаи (2) барои хӯлаҳои тадқиқшаванда

Хӯла	a, К	b, c ⁻¹	p, К	k, c ⁻¹	(a·b).К/c ⁻¹	(p·k).К/c ⁻¹
Al(ОСЧ)	520.6409	0.0025	358.4859	0.000073	1.3016	0.0262
AK1	462.8311	0.0031	407.4268	0.0002	1.4348	0.0815
AK1M2(1)	534.7927	0.0032	373.5966	0.0001	1.7113	0.0374
(1)+ Sc 0.005	569.8488	0.0026	346.136	7.58E-05	1.4816	0.0262
(1)+Sc 0.05	571.6714	0.0026	347.6669	7.75E-05	1.4863	0.0269
(1)+Sc 0.1	566.5798	0.0026	350.6165	8.01E-05	1.4731	0.0281
(1)+Sc 0.5	537.7818	0.0027	367.7403	0.0001	1.4520	0.0368
(1)+Y 0.005	560.761	0.0029	346.203	9.09E-05	1.6262	0.0315
(1)+Y 0.05	602.2994	0.0027	322.3571	4.98E-05	1.6262	0.0160
(1)+Y 0.1	557.438	0.0028	347.9058	9.14E-05	1.5608	0.0318
(1)+Y 0.5	575.131	0.0028	343.6705	8.80E-05	1.6104	0.0303
(1)+Pr 0.005	600.1241	0.0029	352.1813	9.80E-05	1.7404	0.0345
(1)+Pr 0.05	599.5825	0.0026	323.6819	5.00E-05	1.5589	0.0162
(1)+Pr 0.1	594.9183	0.0026	325.2654	4.58E-05	1.5468	0.0149
(1)+Pr 0.5	569.3923	0.0028	343.6284	7.65E-05	1.5943	0.0263
(1)+Nd 0.005	568.6838	0.0029	350.8176	9.26E-05	1.6492	0.0325
(1)+Nd 0.05	618.6935	0.0027	331.1196	6.19E-05	1.6705	0.0205
(1)+Nd 0.1	607.1384	0.0029	344.215	8.22E-05	1.7607	0.0283
(1)+Nd 0.5	581.3754	0.0028	340.6075	8.18E-05	1.6278	0.0279

Қиматҳои ҳисобкардашуда C_p дар чадвали 2 оварда шудааст.

Қимати гузошташудаи C_p барои алюминии тоза ва суръати хунукшавӣ (dT/dt) аз рӯйи муодилаи (3) барои намунаи хӯлаи АК1М2 қимати $\alpha(T)$ ҳисоб карда шуда буд, ки намуди зеринро дорад:

$$|\alpha(T)|_{(AK1M2)} = 8,4799 + 0,0127T + 1,9817 \cdot 10^{-5}T^2 - 1,0021 \cdot 10^{-8}T^3 \quad (6)$$

Қимати суръати хунуккуниро (dT/dt) ва $\alpha(T)$ истифода бурда, барои хӯлаи АК1М2 муодилаи вобастагии ҳарорати гармигунҷоиши хос ба даст оварда шуда буд;

$$C_p(T) = 718,6017 + 0,7574T - 8,018 \cdot 10^{-4}T^2 + 5,9092 \cdot 10^{-7} T^3 \quad (7)$$

Натиҷаи ҳисобҳои $C_p(T)$ дар чадвали 2 оварда шудааст

Барои ҳисоби вобастагии ҳарорат, энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс интегралҳо аз гармигунҷоиши молярӣ истифода бурда шудаанд:

$$H(T) = H(0) + \int_0^T C_p(T) dT, \quad s = \int_0^T C_p(T) d \ln T, \quad G(T) = H(T) - TS(T). \quad (8)$$

Барои вобастагии ҳарорат, энталпия (Дж/моль), энтропия (Дж/(моль·К)) ва энергияи Гиббс (Дж/моль) барои хӯлаи АК1М2 муодилаҳои зерин ба даст оварда шудаанд:

$$H(T) = H(0) + 19,923T + 0,0105T^2 - 7,41 \cdot 10^{-6}T^3 + 4,096 \cdot 10^{-9}T^4; \quad (9)$$

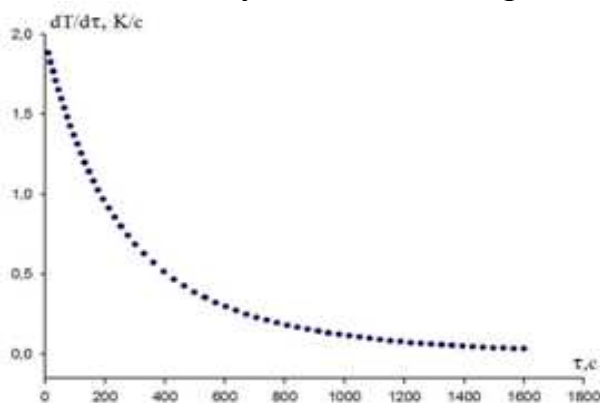
$$S(T) = 19,923 \ln(T) + 0,020998 T - 1,112 \cdot 10^{-5}T^2 + 5,461 \cdot 10^{-9}T^3; \quad (10)$$

$$G(T) = -19,923T(\ln T - 1) - 0,011 T^2 + 3,71 \cdot 10^{-6}T^3 - 1,365 \cdot 10^{-9}T^4; \quad (11)$$

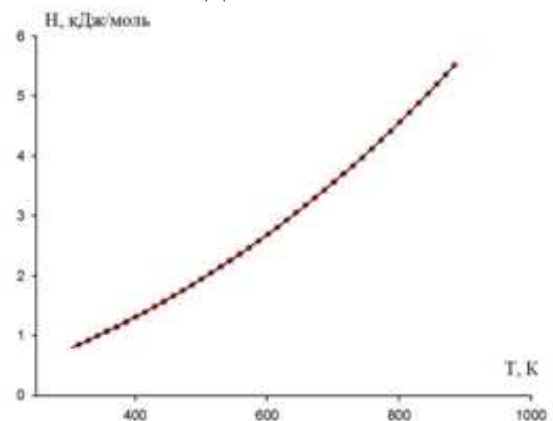
Чадвали 2 – Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хос (C_p) барои алюминии тағмаи А5N ва хӯлаи АК1М2

T, K	Алюмини А5N	хӯла АК1М2
	C_p , Дж/кг·К	C_p , Дж/кг·К
350	854.62	889.81
400	901.55	936.67
450	949.48	983.51
500	997.46	1029.46
550	1044.58	1073.61
600	1089.89	1115.07
650	1132.48	1152.95
700	1171.40	1186.35
750	1205.74	1214.39
800	1234.55	1236.16

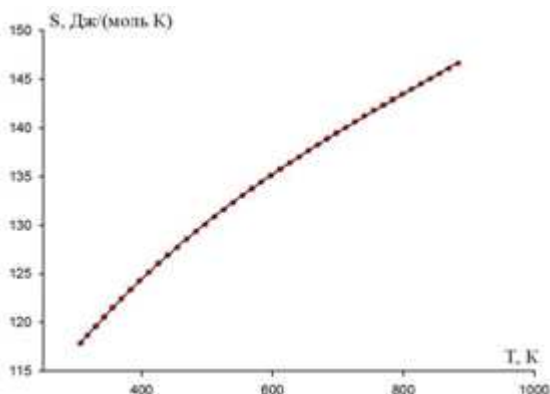
Дар расмҳои 1-4 вобастагии вазифаҳои нишондодашуда барои хӯлаи АК1М2 оварда шудааст (хатти рост – ҳисоб аз рӯи формулаи (9-11), нуқтаи - озмоиш). Аз расмҳои 1-4 дида мешавад, ки бо зиёдшавии ҳарорати гармиғунҷоиши хос, коэффисенти гармидиҳӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаи АК1М2 зиёд шуда, қимати энергияи Гиббс кам мешавад.



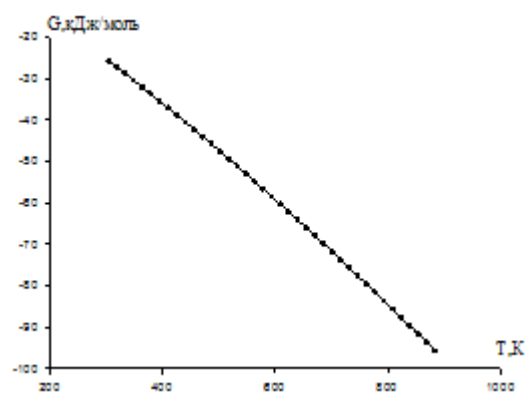
Расми 1 – Вобастагии ҳарорати суръати хунуккунии намунаи хӯлаи АК1М2.



Расми 2 – Вобастагии ҳарорати энталпии намунаи хӯлаи АК1М2.



Расми 3 – Вобастагии ҳарорати энтропии намунаи хӯлаи АК1М2.



Расми 4 – Вобастагии ҳарорати энергияи Гиббси намунаи хӯлаи АК1М2.

2.2. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва вазифаи термодинамикии хӯлаи АК1М2, ки бо скандий ҷавҳаронида шудааст

Вобастагии муваққатии ҳарорати намуна, ки бо тарзи озмоишӣ, нисбатан дурустии саҳеҳ ба даст омада, дар намуди муодилаи (1) навишта шудааст.

Аз рӯи нишондодҳои адабиёт дар бораи гармиғунҷоиши алюминии махсусан тоза қимати коэффисенти гармидиҳӣ барои металлҳои ҷавҳаронида нашудаанд ҳисоб карда шудааст:

$$|\alpha(T)| = -4.7850 + 0.0418T + 4.2516 \cdot 10^{-5} T^2 - 5.7191 \cdot 10^{-8} T^3 \quad (12)$$

Қимати dT/dt ва қимати коэффисенти гармидиҳии алюминии тоза истифода бурда, муодилаи вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат барои алюминии тоза тағмаи А5N ба даст оварда шуд:

$$C_p = 645.8791 + 0.3574T + 0.0015T^2 - 1.24 \cdot 10^{-6} T^3 \quad (13)$$

Бо ҳисоби қоидаи аддитивнокии Неймана-Коппа бузургиҳои гармиғунҷоиши хӯлаи АК1М2 бо вобастагӣ аз ҳарорат ҳисоб карда шуда буд.

Бузургии гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаи АК2М2, бо скандий ҷавҳаронидашуда аз рӯи формулаи (3) ҳисоб карда шудааст.

Қимати суръати хунуккунии $\alpha(T)$ истифода бурда, гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаи АК1М2 бо скандий ҷавҳаронишуда ба даст оварда шудааст.

Барои гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаи АК1М2 бо скандий ҷавҳаронида муодилаи зерин ба даст оварда шудааст:

$$C_p^{AK1M2} = 6366712 + 0.3694T + 1.428 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.1913 \cdot 10^{-6} T^3 \quad (14)$$

$$C_p^{Sc} = 4898333 + 0.3765T + 4.7143 \cdot 10^{-4} T^2 + 3.0556 \cdot 10^{-7} T^3 \quad (R=1,0000), \quad (15)$$

ин чунин барои системаи хӯлаҳои АК1М2+Sc, мас.% Sc:

$$\begin{aligned} 0.05\% \text{ Sc: } C_p &= 636.5971 + 0.3694T - 1.4249 \cdot 10^{-4} T^2 + 1.1909 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0.1\% \text{ Sc: } C_p &= 636.5237 + 0.3694T + 1.4219 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.1904 \cdot 10^{-6} T^3, \\ 0.5\% \text{ Sc: } C_p &= 636.9363 + 0.3694T + 1.3973 \cdot 10^{-4} T^2 - 1.1869 \cdot 10^{-6} T^3. \end{aligned} \quad (16)$$

Қиматҳои ҳисобкардашудаи C_p барои хӯлаи АК1М2, бо скандий ҷавҳаронидашуда, баъд аз 50K дар ҷадвали 3 оварда шудааст, ки аз рӯи он дар ҳароратҳои паст гармиғунҷоиши хӯлаи бо скандий ҷавҳаронидашудаи нисбат ба хӯлаи АК1М2 кам аст, аммо дар ҳароратҳои баланд ҳолати баръакс дида мешавад.

Бо истифодаи муодилаи (9), барои вобастагии ҳароратии энталпии хӯлаи АК1М2 вобастагиҳои зерин ҳосил шуд:

$$H(T) = 19,923T + 0,0105T^2 - 7,41 \cdot 10^{-6} T^3 + 4,096 \cdot 10^{-9} T^4; \quad (17)$$

ва барои хӯлаи АК1М2 бо скандий ҷавҳаронида мас. %:

$$\begin{aligned} 0.05\% \text{ Sc: } H(T) &= 22,64T + 1,788 \cdot 10^{-3} T^2 + 4,898 \cdot 10^{-6} T^3 - 1,2442 \cdot 10^{-9} T^4; \\ 0.1\% \text{ Sc: } H(T) &= 18,2084T + 0,01341 T^2 - 4,621 \cdot 10^{-6} T^3 + 1,3251 \cdot 10^{-9} T^4; \\ 0.5\% \text{ Sc: } H(T) &= 25,238T + 1,826 \cdot 10^{-3} T^2 + 4,621 \cdot 10^{-6} T^3 - 1,203 \cdot 10^{-9} T^4; \end{aligned} \quad (18)$$

Аз рӯи муодилаи (18) қимати энталпии хӯлаи АК1М2 бо скандий ҷавҳаронидашуда ҳисоб карда шудааст, ки дар ҷадвали 4 оварда шудааст.

Чадвали 3 – Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси (Дж/кг·К) ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда.

Т, К	Таркиби скандий дар ҳӯлаи АК1М2, мас.%			
	0,0	0,05	0,1	0,5
300	889.572	789.977	803.832	803.569
350	910.743	837.162	845.082	854.740
400	931.002	884.917	888.512	901.779
450	950.790	932.252	932.862	944.737
500	970.552	978.177	976.872	983.669
550	990.728	1021.702	1019.283	1018.625
600	1011.762	1061.837	1058.833	1049.659
650	1034.095	1097.592	1094.263	1076.822
700	1058.172	1127.977	1124.313	1100.169
750	1084.433	1152.002	1147.723	1119.750
800	1113.322	1168.677	1163.233	1135.619
850	1145.280	1177.012	1169.583	1147.827
900	1180.752	1176.017	1165.513	1156.429

Чадвали 4 – Вобастагии ҳарорати энталпии (Дж/моль) ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда

Т, К	Таркиби скандий дар ҳӯлаи АК1М2, мас.%			
	0,0	0,05	0,1	0,5
300	6.6569	5.4798	5.8636	5.0670
350	7.8868	6.5911	6.9859	6.2000
400	9.1450	7.7675	8.1655	7.4001
450	10.4306	9.0090	9.4046	8.6616
500	11.7431	10.3144	10.7034	9.9789
550	13.0830	11.6811	12.0607	11.3466
600	14.4510	13.1052	13.4734	12.7593
650	15.8487	14.5813	14.9366	14.2116
700	17.2781	16.1029	16.4439	15.6982
750	18.7420	17.6618	17.9869	17.2139
800	20.2436	19.2488	19.5556	18.7536
850	21.7869	20.8532	21.1385	20.3122
900	23.3763	22.4630	22.7219	21.8848

Вобастагии ҳарорати энтропи ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда дар муодилаи зерин оварда шудааст: барои ҳӯлаи АК1М2:

$$s(T) = 19,923 \ln(T) + 0,020998T - 1,112 \cdot 10^{-5} T^2 + 5,461 \cdot 10^{-9} T^{34}; \quad (19)$$

ва ҳӯлаҳои он бо скандий чавҳаронидашуда, мас.% Sc:

$$0.05\% \text{ Sc: } s(T) = 22,64 \ln(T) + 3,576 \cdot 10^{-3} T + 0,7347 \cdot 10^{-5} T^2 - 1,659 \cdot 10^{-9} T^3$$

$$0.1\% \text{ Sc: } s(T) = 18,208 \ln(T) + 0,02682 T - 0,6931 \cdot 10^{-5} T^2 + 1,767 \cdot 10^{-9} T^3; \quad (20)$$

$$0.5\% \text{ Sc: } s(T) = 25,238 \ln(T) + 3,6513 \cdot 10^{-3} T + 0,6931 \cdot 10^{-5} T^2 - 1,604 \cdot 10^{-9} T^3.$$

Вобастагии ҳарорати энтропии ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда дар чадвали 5 оварда шудааст, дида мешавад, ки бо баланд шудани консентратсияи скандий энтропия системаҳо кам мешаванд.

Чадвали 5 – Вобастагии ҳарорати энтропии (Дж/моль·К) ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда

Т, К	Таркиби скандий дар ҳӯлаи АК1М2, мас.%			
	0,0	0,05	0,1	0,5
300	117.3547	94.19263	106.4673	75.3052
350	121.1454	97.61656	109.9251	78.79568
400	124.5048	100.7565	113.0737	81.9987
450	127.5325	103.6798	115.9912	84.9690
500	130.2979	106.4297	118.7271	87.7440
550	132.8515	109.0344	121.3137	90.3504
600	135.2319	111.5124	123.7715	92.8082
650	137.4691	113.8755	126.1136	95.1327
700	139.5875	116.1311	128.3474	97.3357
750	141.6072	118.2828	130.4765	99.4270
800	143.5452	120.3322	132.5015	101.4143
850	145.4162	122.2787	134.4210	103.3040
900	147.2330	124.1203	136.2315	105.1016

Вобастагии ҳарорати энергияи Гиббс барои ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда, дар муодилаи зерин ифода карда мешавад: барои ҳӯлаи АК1М2:

$$G(T)_1 = -19,923T(\ln(T-1)) - 0,0105T^2 + 3,705 \cdot 10^{-6}T^3 - 1,3652 \cdot 10^{-9}T^4 \quad (21)$$

ҳӯлаҳо бо скандий, мас. %:

$$\begin{aligned} 0.05\% \text{ Sc: } & G(T)_2 = -22,643T(\ln(T-1)) - 1,79 \cdot 10^{-2}T^2 - 2,45 \cdot 10^{-6}T^3 + 0,42 \cdot 10^{-9}T^4; \\ 0.1\% \text{ Sc: } & G(T) = -18,208T(\ln(T-1)) - 0,0134T^2 + 2,3103 \cdot 10^{-6}T^3 - 0,44 \cdot 10^{-9}T^4; \\ 0.5\% \text{ Sc: } & G(T) = -25,24T(\ln(T-1)) - 1,83 \cdot 10^{-3}T^2 - 2,31 \cdot 10^{-6}T^3 + 0,401 \cdot 10^{-9}T^4. \end{aligned} \quad (22)$$

Вобастагии ҳарорати энергияи Гиббс барои ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда, дар чадвали 6 оварда шудааст, ки аз он дида мешавад, ки зиёдшавии таркиби скандий дар ҳӯла энергияи Гиббс кам мешавад.

Чадвали 6 – Вобастагии ҳарорати энергияи Гиббс (кДж/моль·К) барои ҳӯлаи АК1М2 бо скандий чавҳаронидашуда

Т, К	Таркиби скандий дар ҳӯлаи АК1М2, мас.%			
	0,0	0,05	0,1	0,5
300	-28.5495	-22.778	-26.0766	-17.5246
350	-34.5141	-27.5747	-31.4879	-21.3785
400	-40.6569	-32.5351	-37.064	-25.3994
450	-46.9590	-37.6469	-42.7915	-29.5745
500	-53.4058	-42.9004	-48.6601	-33.8930
550	-59.9853	-48.2878	-54.6618	-38.3461
600	-66.6881	-53.8022	-60.7895	-42.9256
650	-73.5062	-59.4378	-67.0372	-47.6247
700	-80.4331	-65.1889	-73.3993	-52.4368
750	-87.4633	-71.0503	-79.8705	-57.3564
800	-94.5925	-77.0169	-86.4456	-62.3778
850	-101.8170	-83.0837	-93.1193	-67.4962
900	-109.1330	-89.2453	-99.8864	-72.7067

Ҳамин тавр, вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хос, коэффисенти гармидиҳӣ ва характери термодинамикии АК1М2 бо скандий

чавхаронидашуда тадқиқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо зиёдшавии таркиби скандӣ дар хӯлаи АК1М2 ва ҳарорати гармиғунҷоиши хос, коэффисенти гармимидиҳи, энталпия ва энтропия зиёд шуда, энергияи Гиббс кам мешавад.

Ба таври аналогӣ вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва функцияи термодинамикии хӯлаи АК1М2 бо иттрий, празеодим ва неодим чавхаронидашуда тадқиқ карда шудааст. Дар ҷадвали 7 ва 8 характеристикаи хӯлаи АК1М2 бо чавхаронидаи 0.5 мас.% металлҳои нодирзаминӣ оварда шудаанд.

Ҷадвали 7 – Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси хӯлаи АК1М2 бо Sc, Y, Pr ва Nd чавхаронидашуда

Т, К	АК1М2	АК1М2 +0,5 Sc	АК1М2 +0,5 Y	АК1М2 +0,5 Pr	АК1М2 +0,5 Nd	МА			
						гармиғунҷоиш			
						Sc	Y	Pr	Nd
300	889.57	803.56	644.01	687.56	764	568	298	184	190
600	1011.76	1049.65	950.40	965.48	1060	611	321	224	223
900	1180.75	1156.42	1070.08	1108.76	1574	669	346	269	271

Ҷамин тавр, вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси хӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим чавхаронидашуда тадқиқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки ба болоравии ҳарорат ва таркиби металлҳои нодирзаминӣ дар хӯлаи АК1М2, гармиғунҷоиши хос, энталпия энтропия зиёд шуда, энергияи Гиббс кам мешавад.

Аз ҷадвали 7 ва 8 дида мешавад, ки дар гузариш аз хӯлаҳои скандий ба иттрий, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропия кам, аммо бо хӯлаи неодим зиёд мешавад. Вобастагии энергияи Гиббс аз рӯи рақами тартибии металлҳои нодирзаминӣ вобастагии баръаксро дорад, ки бо нишондодҳои адабиёти гармиғунҷоиш барои металлҳои нодирзаминӣ тоза мувофиқат мекунад (ҷадвали 7).

Ҷадвали 8 – Вобастагии ҳарорати энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаи АК1М2 бо Sc, Y, Pr ва Nd чавхаронидашуда

Т, К	АК1М2	АК1М2+0.5 Sc	АК1М2+0.5 Y	АК1М2+0.5 Pr	АК1М2+0.5 Nd
300	6.656	5.067	3.312	3.717	4.126
600	14.451	12.759	9.982	10.619	10.706
900	23.376	21.884	18.383	19.181	17.528
Энтропия					
300	117.354	75.305	35.475	42.821	62.579
600	135.231	92.808	50.549	58.463	77.491
900	147.233	105.101	61.858	69.982	88.606
Энергияи Гиббс					
300	-28.549	-17.524	-7.331	-9.128	-14.649
600	-66.688	-42.925	-20.349	-24.458	-35.795
900	-109.133	-72.706	-37.294	-43.802	-60.808

3. Кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ чавҳаронидашуда

Кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои сахтро бо усули термогравиметрии усулҳои қабулшудаи умумӣ омӯхтанд. ИК-спектрҳо дар нурҳои чуфти инфрасурхи спектрофотометрӣ UR-20 ва спектрометри SPECORD-75 дар доираи 400-4000 см⁻¹ гирифта шудааст.

Дар ҳолати саҳт кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо иттрий чавҳаронидашуда

Тадқиқоти баланҳарорати оксидшавии хӯлаи АК1 бо иттрий чавҳаронидашударо дар ҳарорати 773 ва 873 К гузарониданд. Аз хӯлаҳои дар тафдонҳои кони ҳосилшуда, андозаи муайяно бурида, ба воситаи оксидшавии ҳавои кислород дучор карданд. Аз рӯи қачҳои вобастагии тағйирёбии массаи намуна аз вақт ҳосилшуда, андозаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ ранди оксидшавӣ муайян карда шуд. Натиҷаҳои тадқиқот дар ҷадвали 9 оварда шудааст.

Ҷадвали 9 – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи АК1 бо иттрий чавҳаронидашуда

Таркиби иттрий дар хӯлаи АК1, мас.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ К·10 ⁻⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹	Энергияи фаъоли дар назар намоён, кДж/моль
0	773	4.63	104.6
	873	5.32	
0.005	773	4.47	117.8
	873	5.12	
0.05	773	4.03	127.0
	873	4.05	
0.1	773	3.75	139.1
	873	4.25	
0.5	773	3.10	168.0
	873	3.96	

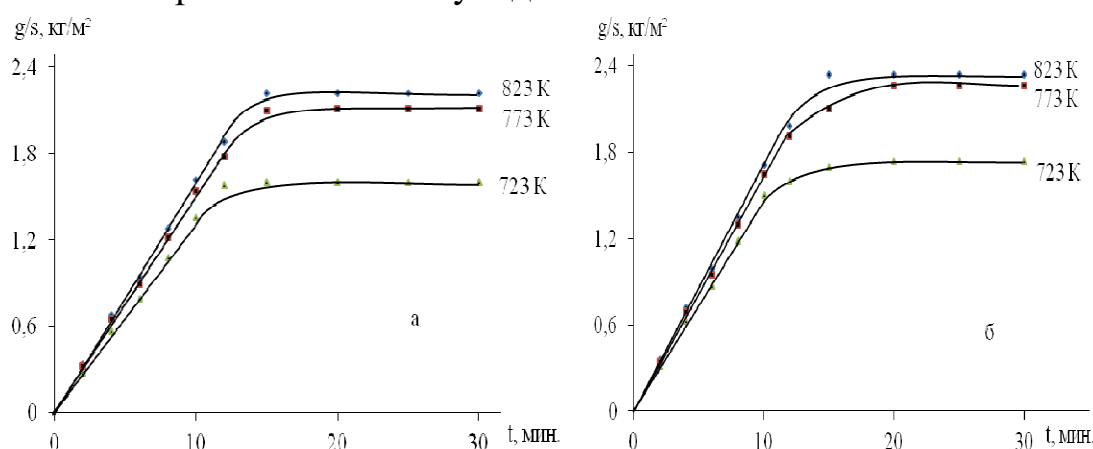
Қайд карда шудааст, ки пастшавии суръати оксидшавӣ ба зиёдшавии энергияи фаъол аз 104.6 до 168.0 кДж/мол равона карда мешавад. Яъне қабати оксидшавӣ ҳосилшуда ҳосияти кифояи муҳофизатиро дорост. Ҳангоми оксидшавӣ хӯлаҳои алюминӣ ташкилҳои оксидҳои Al₂O₃, SiO₂ ва оксидҳои таркиби мураккаб дошта мушоҳида мешаванд, ки ба характеристикаҳои кифояи муҳофизатиро доро мебошанд.

Раванди тадқиқоти оксидшавии хӯлаи АК1М2 бо иттрий чавҳаронида аз 0.005 то 0.5 мас.% дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К (расмҳои 5 ва 6) дар атмосфераҳои ҳаво нишон медиҳад, ки воридкунии иттрий дар хӯла фаъолияти мусбатро ба оксидшавии он нишон медиҳад (ҷадвали 10). бо Чавҳаронидани иттрий то 0.5 мас.% мунтазам оксидшавии хӯлаи АК1М2 баланд мекунад. Чавҳаронидани хӯла 0.005-0.05 мас.% иттрий ба зиёдшавии қимати суръати оксидшавии хӯлаҳо оварда мерасонад. Таъсири намоёни иттрий ҳангоми концентратсияҳои 0.1 ва 0.5 мас.% (ҷадвали 10) нишон медиҳад. Агар қимати суръати оксидшавии хӯла, ки дар таркибаш 0.05 мас.% иттрий дорад, ҳангоми 723 К ба 2.22·10⁻⁴ кг·м⁻²·с⁻¹ баробар аст, он гоҳ дар

ҳамин ҳарорат қимати суръати оксидшавии хӯлаи ҷавҳаронидаи 0.5 мас.% иттрий кам шуда $1.67 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·с⁻¹ ташкил медиҳад (ҷадвали 10).

Вобастагии тағйирёбии суръати оксидшавии хӯла аз таркиби иттрийро аз рӯи тағйирёбии қачии вазни хос бо вақт мушоҳида кардан мумкин аст (расмҳои 5 ва 6). Чӣ хеле ки аз қачии кинетикӣ дида мешавад, дар давраи аввал суръатнокии ҷоришавии раванди оксидшавӣ бо камшавии ба 15-20 дақиқа дида мешавад, ки оқибати ташкилёбии қабати оксидшавии расидани кислород ба сатҳи мушоҳидакунӣ ҳалалдор карда мешавад.

Оксидшавии хӯла дар ҳолати саҳт дар фосилаи ҳарорати 723-823 К гузаронида шуд. Дар расми 6 овардашудаи қачӣ ба муодилаи $Y = Kt^n$ итоат мекунад, ки дар он n аз 2 то 5 вобаста аз таркиби хӯлаи оксидшаванда иваз мешавад (ҷадвали 11). Аз рӯи вобастагии ғайрихатӣ (g/s)²-τ (расми ба, б) ва нишондодҳои ҷадвали 11 мебарояд, ки характери оксидшавии хӯла ба вобастагии гиперболий итоат мекунад.



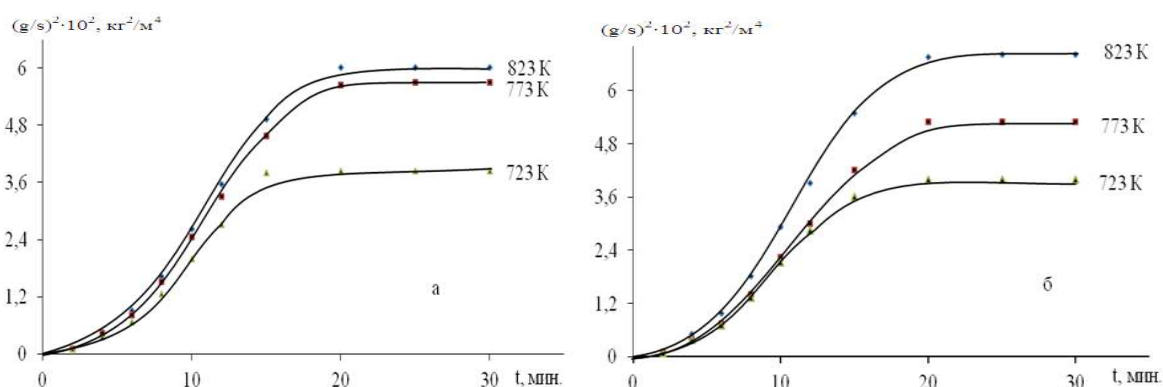
Расми 5 – Қачҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо иттрий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати саҳт, мас.% Y: 0.005 (а); 0.05 (б).

Ҷадвали 10 – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо иттрий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати саҳт

Таркиби иттрий дар хӯлаи АК1М2, мас.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, К·10 ⁻⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹	Энергияи фаъоли дар назар намоён, кДж/моль
0.0	723	2.13	114.9
	773	2.20	
	823	2.50	
0.005	723	2.22	95.7
	773	2.50	
	823	2.67	
0.05	723	2.50	84.1
	773	2.67	
	823	2.83	
0.1	723	1.90	114.9
	773	2.08	
	823	2.22	
0.5	723	1.67	134.6
	773	2.00	
	823	2.01	

Чадвали 11 – Натиҷаи коркарди каҷиҳои оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо иттрий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт

Таркиби иттрий дар хӯлаи АК1М2, мас.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Муодилаи каҷии оксидшавӣ	Коэффициент регрессии, R
0.0	723	$y = 7E-06x^4 - 0,0004x^3 + 0,0049x^2 + 0,0959x$	0.998
	773	$y = 9E-06x^4 - 0,0005x^3 + 0,0058x^2 + 0,0828x$	0.996
	823	$y = 6E-06x^4 - 0,0003x^3 + 0,0016x^2 + 0,0981x$	0.993
0.005	723	$y = 1E-05x^4 - 0,0006x^3 + 0,0051x^2 + 0,1296x$	0.997
	773	$y = 1E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0091x^2 + 0,1268x$	0.996
	823	$y = 1E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0099x^2 + 0,1319x$	0.995
0.05	723	$y = 9E-06x^4 - 0,0005x^3 + 0,0019x^2 + 0,1582x$	0.992
	773	$y = 1E-05x^4 - 0,0006x^3 + 0,0067x^2 + 0,1487x$	0.997
	823	$y = 2E-05x^4 - 0,0009x^3 + 0,0103x^2 + 0,1399x$	0.996
0.1	723	$y = 1E-06x^5 - 6E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0403x^2 - 0,0781x$	0.992
	773	$y = 3E-06x^5 - 0,0001x^4 + 0,0014x^3 + 0,0238x^2 - 0,0186x$	0.999
	823	$y = 5E-05x^4 - 0,0035x^3 + 0,0748x^2 - 0,1717x$	0.997
0.5	723	$y = 6E-07x^5 + 3E-06x^4 - 0,0021x^3 + 0,0506x^2 - 0,0955x$	0.996
	773	$y = 3E-06x^5 - 0,0002x^4 + 0,002x^3 + 0,0148x^2 + 0,0053x$	0.999
	823	$y = 3E-06x^5 - 0,0002x^4 + 0,002x^3 + 0,0148x^2 + 0,0053x$	0.999



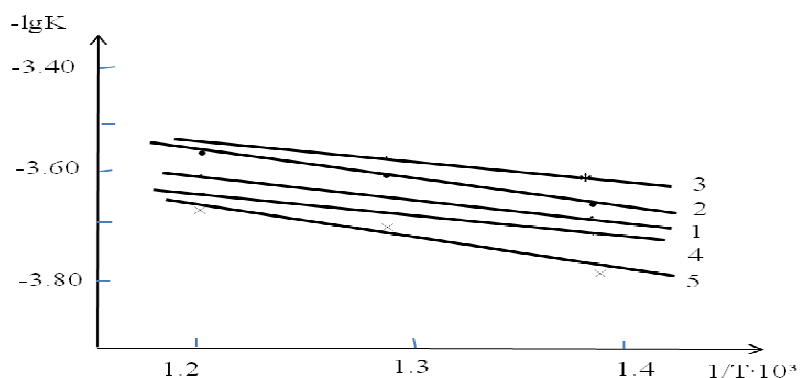
Расми 6 - Каҷии квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо иттрий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт, мас. % Y: 0.1 (а); 0.5 (б).

Дар расми 7 вобастагии логарифмии $\lg K - 1/T$ барои хӯлаи АК1М2, ки таркиби 0.05; 0.3; 0.6; 1.0 мас. % иттрий, ки характери хати ростро дорад, тасвир карда шудааст.

Шарти асосии карахтшавии раванди оксидшавӣ ин хосияти физикуи химиявӣ ва кристаллохимиявӣ ба шумор меравад.

Дар аввал агар ҳаҷми ташкилфтои оксид аз ҳаҷми металл ё хӯла кам бошад, он гоҳ қабати оксидшавии сӯроҳчадоро мунтазир шудан мумкин аст. Дар ин ҳолат кислород метавонад ба дарун дохил шавад ва суръати оксидшавии онро зиёд кунад. Агар масолеҳи оксидшавӣ дар худ моддаҳои сахти парвознакунандаро дошта бошад, он гоҳ онҳо дар қабати болоӣ хобида қабати оксидиро ҳосил мекунанд. Дар ҳолати набудани диффузияи

сӯрохчадор танҳо ба воситаи фазаи сахт ҷорӣ мешавад. Агар дар ин ҳолат суръати оксидшавӣ бо суръати диффузия муайян карда шавад, он гоҳ раванд ба қонуни муваққати парабolikӣ итоат мекунад. Компоненти ҷавҳаронида ба таркиби оксидҳои металлҳои муҳофизатшаванда дохил шуда, диффузияи ин металлро душвор гардонид ба ҳамин рафти умумии оксидшавиро суст мегардонад.



Расми 7 - Вобастагии $\lg K$ аз $1/T$ барои хӯла АК1М2 (1), бо иттрий ҷавҳаронидашуда, мас.% 0.005(2), 0.05(3), 0.1(4), 0.5(5).

Дар ҳолати ташкилҳои қабати оксидҳои таркибҳои гуногун дар ҳолати оксидшавии таркибҳои тадқиқшаванда дар сарҳадҳои қабат градиенти консентратсияи холиги гузошта мешавад. Дар ҳолати ташкилҳои қабатҳои оксид ин градиент имконияти диффузияи ионии металлро муҳолиф ба диффузияи оксигенро бо оксид ташкил мекунад. Аз миқдори вакансия диффузияи ионӣ металл ба воситаи қабати оксидшавии ба болои вай сабук карда мешавад, диффузияи кислород ба ҷуқурии қабати оксид бо гузаронидани атомҳои он ба панҷараҳои асосӣ ё сарҳади донаҳо ба вучуд оварда мешавад.

Ҳамин тавр, суръати ҷамъбасти оксидшавии аз қатори бутуни этапҳо, ки бо табиати худ фарқ мекунанд, ташкил меёбад ва якҷанд қонуниятро мушоҳида кардан мумкин аст, ки дар ҳолати сахти барои оксидшавии хӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd) ҷавҳаронидашуда характернок ҳаст (ҷадвали 12).

Ҷадвали 12 – Вобастагии фаъоли энергияи дар назар намоён дар раванди оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd) ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ

Система	Таркиби металлҳои нодирзаминӣ, мас.%				
	0.0	0.005	0.05	0.1	0.5
АК1М2 + Sc	114.9	38.3	35.3	33.7	86.2
АК1М2 + Y	114.9	95.7	84.1	114.9	134.6
АК1М2 + Pr	114.9	76.6	84.7	121.7	153.0
АК1М2 + Nd	114.9	77.5	94.7	124.0	145.3

Тадқиқоти кинетикии оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd) ҷавҳаронидашуда, нишон медиҳад, ки тенденсияи умумӣ ба раванди суръати оксидшавӣ бо баланд бардоштани ҳарорат ва консентратсия дар хӯлаи компоненти нодирзаминӣ; энергияи фаъоли дар назар намоён раванди оксидшавии хӯлаҳоро бо таркиби металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd) то 0.5 мас.% ҳангоми гузариш аз скандия ба неодим зиёд мекунад. Дар хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда аз 0.005 то 0.05 мас.% металлҳои нодирзаминӣ, энергияи фаъол аз скандий ба натрий боло рафта ба празеодим кам мешавад (ҷадвали 12). Механизми оксидшавии хӯлаи саҳти АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd) ҷавҳаронидашуда ба қонуни гиперболӣ итоат мекунад.

4. Асосҳои физикию химиявии болоравии устувории анодии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда

Тадқиқоти электрохимиявии хӯлаҳои алюминию кремнию мис ва металлҳои нодирзаминӣ бо усули умумии қабулшуда дар потенсиостати ПИ-50-1 гузаронида шудаанд. Тадқиқот дар муҳити нейтралӣ маҳлули 3%-и NaCl мувофиқи ГОСТи 9.017-74, яъне иммитати оби баҳрӣ бо ҳисоби таъсири хлор – ионҳо ба рафтори зангзании электрохимиявии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда гузаронида шуд. Дар қачиҳои поляризатсионии бадастовардашуда характеристикаҳои асосии электрохимиявии хӯлаҳо муайян карда шудааст: потенсиали питтингҳосилкуни ($-E_{п.о.}$), потенсиал ва ҷараёни зангзанӣ ($E_{кор}$ и $I_{кор}$), потенсиали репассиватсия ($E_{рп.}$), ки графикаи муайян карда мешавад, ҳамчун қатшавии яқум дар рафти баръакси қачии анодӣ ҳамчун нуқтаи буриши хати рост ва роҳи баръакс ҳисобида мешаванд. Ҳисоби ҷараёни коррозия ҳамчун характеристикаи асосии электрохимиявии раванди зангзанӣ бо қачии катодӣ бо баҳисобгирии қатшавии таффелови $v_k = 0.12$ В гузаронида шудааст. Суръати зангзанӣ дар навбати худ ин функсияи ҷараёни зангзанӣ ки бо формулаи: $K = i_{кор} \cdot K$, ғде $K = 0.335$ г/А·ч барои алюминӣ ёфта мешавад.

Таъсири иловаҳои лантан ва скандия ба характеристикаҳои анодии хӯлаи АК1 дар асоси алюминии маҳсусан тоза

Таркиби химиявии хӯлаҳо ва натиҷаҳои тадқиқот дар ҷадвалҳои 13-15 оварда шудаанд. Натиҷаҳои зангзании электрохимиявии тадқиқоти алюминии дараҷаи гуногуни тозагӣ дар намуди умумӣ дар ҷадвали 14 оварда шудааст. Дар мисоли алюминии тамғаи А995 таъсири консентратсияи хлорид ионҳо дар суръати зангзании хӯлаҳо тадқиқот гузаронида шудааст. Дида мешавад, ки бо зиёдшавии дараҷаи серобкунии маҳлули NaCl суръати зангзанӣ кам мешавад. Потенсиали питтингҳосилкунанда ва репассиватсия дар доираи қиматҳои нисбатан мусбат омехта мешаванд. Потенсиали зангзании озод $E_{св.кор.}$ бо ченаки иловаи электролит ҳамчунин ба тарафи мусбат омехта мешавад. Потенсиали зангзании электроди фаъол дар ин ҳолат ба диораи қиматҳои манфӣ ворид мешавад. Ҳамаи тағйироти нишондодашудаи характеристикаи электрохимиявии алюминӣ дар

концентратсияи гуногуни маҳлули NaCl бо аз гуногунии динамикаи ҳосилшавии қабати муҳофизавии оксидшавӣ шаҳодат медиҳанд.

Ҷадвали 13 – Таркиби омехтаҳо дар тамғаҳои алюминии гуногун

Тамға	Таркиби омехтаҳои чамбастӣ, мас.%	Таркиби омехтаҳо, мас.%				
		Fe	Cu	Si	Zn	Ti
A6NO	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$	-
A995	$5 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
A6	0.4	0.25	0.03	0.20	0.06	0.03

Ҷадвали 14 – Хarakterистикаҳои зангзании электрохимиявии гуногуни тозагии алюминий дар маҳлули NaCl

Тамға Al	$C_{NaCl}, \%$	-E _{св.кор.}	-E _{по.}	-E _{реп.}	-E _{кор.}	$\Delta E_{пс}$	Суръати зангзани	
		В					A·м ⁻²	г·м ⁻² ·ч ⁻¹
A6 (99.6% Al)	3.0	0.730	0.625	0.700	0.760	0.105	0.024	$8.04 \cdot 10^{-3}$
A995 (99.995% Al)	3.0	0.950	0.680	0.750	0.960	0.270	0.003	$1.01 \cdot 10^{-3}$
	0.3	0.850	0.620	0.680	1.120	0.230	0.006	$2.01 \cdot 10^{-3}$
	0.03	0.760	0.540	0.600	1.160	0.220	0.009	$3.01 \cdot 10^{-3}$
A6NO 99.9999% Al)	3.0	0.955	0.740	-	1.180	0.215	0.00048	$1.65 \cdot 10^{-4}$

Тадқиқоти гузаронидашуда дар сатҳи дараҷаи тозаи гуногуни алюминий дар маҳлули 3% NaCl нишон дод, ки хarakterҳои электрохимиявӣ ба монанди E_{по.}, E_{реп.} ва E_{кор.}, ба қадри кифоя аз дараҷаи тозаи металл вобастагӣ дорад, қимати онҳо дар интервали васеъ иваз мешаванд. (мисол E_{по.} аз -0.625 барои A6 то -0.740 В барои алюминии маркаи A6NO, E_{кор.} – аз -0.760 то -1.180 В, мутаносибан) ва инчунин метавонанд барои баҳодихии дараҷаи тозаи металл истифода шаванд. Ҳиссиёти кам ба ивазкунии тозагии металлҳо зангзании озоди потенциалӣ ба шумор меравад.

Динамикаи тағйирёбии потенциалӣ зангзании озод дар рафти зиёд намудани вақт дар маҳлули 3% NaCl аз суръати Ҳимояи қабати оксидшавӣ дар қабати болоии хӯла огаҳӣ медиҳад. Ҳамин тавр барои алюминии тоза ва хӯлаи АК1 E_{св.кор.} дар муддати як соат ба эътидол дарояд, аммо барои хӯлаҳо бо лантан ва скандий ҷавҳаронидашуда ин раванд дар муддати 30 - 40 дақиқа ба охир расонида мешавад, ки ин раванди ташаккули Ҳимояи қабати оксидиро дар хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда бо муқоисаи хӯлаҳои аввала нишон медиҳад. Дар алюминии тоза, хӯлаҳо АК1, инчунин хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда бо рафти зиёд шудани вақт потенциалӣ омехтаи озоди зангзанӣ ба тарафи мусбат мегузарад. Аксари нуруи потенциалӣ мусбат (-0.765 В) хӯлаи АК1, ҷавҳаронидашудаи 0.005-0.5% La, 0.1% Sc дорад (ҷадвали 15).

Новобаста аз миқдори иловаи лантан ва скандий, онҳо потенциалӣ озоди зангзаниро зиёд мекунанд. Бо вучуди ин бузургии ҳаракати потенциал дар соҳаи қиматҳои мусбат дар хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда тақрибан 160-190 мВ бо муқоиса бо аввалаи алюминий ва хӯлаи АК1. Дар мувофиқат бо тағйирёбии бузургии потенциал аз рӯи вақт нисбатан бо ташаккулёбии интенсивии пленкаи оксидии муҳофизатӣ дар болои электрод дар муддати 3-5

дақиқа баъди дохил шудани электрод ба маҳлул илова мешавад. Агар потенциали барқароршудаи зангзании нечавҳаронидаи хӯлаи АК1 -0.850 В ташкил диҳад онгоҳ дар ҳолати қорӣ намудани 0.005 и 0.05 мас.% лантан ва скандий ин нишондод дар интервали -0.780 ва -0.765 В бозӣ мекунад.

Чадвали 15 – Муқоисаи характери анодии алюминии А6N0 ва хӯлаи АК1, чавҳаронидашудаи лантан ва скандий, дар муҳити электролити 3% NaCl

Таркиби La ва Sc дар хӯлаи АК1, мас.%	Потенциалҳои электрохимиявӣ (х.с.э.)				Суръати зангзани	
	-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{реп.}	i _{корр.}	K·10 ⁻³
	В				А/м ²	г/м ² ·соат
А6N0	0.955	1.180	0.740	0.440	0.00048	0.161
АК1	0.935	1.170	0.750	0.420	0.00060	0.20
0.005 La	0.812	1.382	0.680	0.765	0.00054	0.18
0.05 La	0.800	1.380	0.675	0.755	0.00057	0.19
0.1 La	0.796	1.380	0.675	0.755	0.00062	0.21
0.5 La	0.780	1.378	0.675	0.754	0.00064	0.22
0.005 Sc	0.830	1.160	0.680	0.480	0.00036	0.121
0.05 Sc	0.775	1.150	0.660	0.490	0.00033	0.111
0.10 Sc	0.765	1.080	0.650	0.330	0.00029	0.097

Маълумоти зангзанӣ ва электрохимиявӣ тадқиқоти хӯлаҳо дар чадвали 15 овардашуда, нишон медиҳад, ки чавҳаронии алюминии тоза кремний ва хӯлаи АК1, лантан ва скандий потенциали озоди зангзаниро ва омӯзиши пिटтинги ва зангзанӣ ба самти мусбат равона месозад. Потенциали озоди зангзании ва ҳамаи хӯлаҳои тадқиқотшуда, яъне дар байни зангзании потенциали ва омӯзиши пिटтинги дар самти ғайрӣ қойгиранд. Агар алюминий кремний чавҳаронидашуда якчанд маротиба соҳаи пасиватсияро кам мекунад $\Delta E_{\text{пс.}}$ (аз 0.440 то 0.420 В), он вақт воридкунии лантан ва скандий дар хӯла АК1, асосан дар шумораҳо 0.005-0.05 мас.%, онро хеле васеъ мекунад (аз 0.420 то 0.490 В) (чадвали 15). Дар умум хӯлаҳои секарата ҳамчун характеристикаи электрохимиявӣ чун устувории зангзани аввалаи хӯлаи АК1 ҳисобида. Мисол, хӯлаҳое, ки таркибашон 0.05 ва 0.1 мас.% скандий доранд, зангзании устувории хӯлаи аввалаи АК1 ду маротиба баланд мебардорад.

Зиёдшавии минбаъдаи концентратсияи лантан ва скандий ба зиёдшавии номансуби суръати зангзании электрохимиявӣ оварда мерасонад. Дар умум метавонем концентратсияи 0.005-0.05 мас.% лантан ва скандийро ҳисоб кунем.

Тадқиқоти рафтори потенциодинамикии зангзании электрохимиявӣ хӯлаҳои АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ чавҳаронидашуда дар муҳити электролити NaCl

Бо дарназардошти механизми пिटтингии зангзании хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, металлҳои нодирзаминии чавҳаронидашуда аҳамияти хос ба муайянкунии потенциали омӯзиши пिटтингии хӯлаҳо ва таъсири элементҳои чавҳаронӣ инчунин концентратсияи электролитӣ ба онҳо дода шуд.

Дар рафти поляризатсия (кундагаро) фаъолкунандаи адсорбсия анионҳо- активаторҳо ва дар ҳолати ба даст овардани якчанд потенциалҳои

ки потенциали омӯзиши питтингӣ номида мешавад, зиёд карда мешавад ($E_{п.о.}$), инчунин вайрон кардани беҳаракати истифодаи пленка ва зангзани ҳақиқӣ рӯҳ медиҳад. Миқдори потенциали омӯзиши питтингӣ нишондоди эҳтимоли металлҳо ба зангзани на камтар зиёди хӯлаҳо ба зангзани ҳисобида мешавад.

Ҷадвали 16 – Тағирёбии потенциали (х.с.э.) омӯзиши питтингӣ ($-E_{п.о.}$, В) хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда, дар муҳити 3%-и NaCl

Хӯла	Таркиби металлҳои нодирзаминӣ, мас.%				
	0.0	0.01	0.05	0.10	0.50
АК1+Er	0.750	0.630	0.640	0.620	0.620
АК1+Yb	0.750	0.680	0.680	0.680	0.680
АК1М2+Sc	0.760	0.645	0.640	0.620	0.610
АК1М2+Y	0.760	0.580	0.484	0.450	0.420

Ҷадвали 17 - Таъсири металлҳои нодирзаминӣ ба суръати зангзани ($K \cdot 10^{-3}$, г/м² · час) хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, дар муҳити 3%-и NaCl

Система	Таркиби металлҳои нодирзаминӣ, мас.%				
	0.0	0.005	0.05	0.10	0.50
АК1+Er	1.61	2.81	2.85	5.19	5.26
АК1+Yb	1.61	2.31	2.41	4.51	4.86
АК1М2+Sc	8.04	7.97	5.56	6.36	6.46
АК1М2+Y	8.04	5.52	3.68	4.69	5.19

Дар робита бо хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда, нишон медиҳанд, ки бо баланд бардоштани консентратсияи МН то 0.5 мас.% устувории питтингӣ хӯла зиёд мешавад. Ин далел аз сабаби омехтакунии потенциали питтингӣ ба тарафи мусбат гӯвоҳӣ медиҳад, ки натиҷаҳо дар ҷадвали 16 оварда шудааст.

Натиҷаи тадқиқоти суръати зангзани хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, ҷавҳаронии МН, аз консентратсияи охирин дар муҳити 3%-и NaCl дар ҷадвали 17 оварда шудааст. Маълумоти овардашуда нишон медиҳанд, ки бо баланд бардоштани консентратсияи МН то 0.05 мас.% тадричан камшавии суръати зангзани назорат карда мешавад ва минбаъд баландкунии консентратсияи компонентҳои ҷавҳаронидашуда як чанд маротиба суръати зангзани хӯлаҳоро баланд мебардорад.

Баланд бардоштани муқовимати зангзани хӯлаҳои АК1 ва АК1М2, таркибашон то 0.05 мас.% МН, аз нигоҳи мо ҳалшавии он дар хӯла ва ҳосилшавии қабати ҳимоявӣ дар сатҳи намунаҳо, ки аз норасогии дефектҳо ва устувориҳо ба ионҳои хлор мансуб доништа мешавад.

ХУЛОСАҲО

1. Дар асоси таҳлили маълумоти адабиёт хулосаи зарурии ҷавҳаронии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 дар асоси алюминии асосан тоза тамғаи А5N бо металлҳои нодирзамини, бо мақсади ташкили хӯлаҳои нави истифодабарии микроэлектроника ба сифати нишона ҳангоми рӯйпушкунӣ ҷараёнгузаронии ноқилҳо дар микросхемаҳои интегралӣ дида мешавад.

2. Дар қоидаи «хунуккуни» вобастагии ҳарорати гармигунҷоиши хос ва функцияҳои термодинамикии ҷавҳаронии скандий, иттрий, празеодим ва неодим бо хӯлаи АК1М2 дар диапазони 300-900K таҳқиқ карда шуд. Муқарар карда шуд, ки вобастагии ҳарорати гармигунҷоиш хос хӯлаҳои тадқиқшаванда дар ҳарорати паст нисбат аз хӯлаи АК1М2 паст мебошад, аммо дар ҳарорати баланд дар ҳамаи концентратсияҳои тадқиқотшудаи диапазон баланд аст. Тағирёбии гармигунҷоиши хоси хӯлаи АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Pr, Nd), нишон медиҳад, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои скандийдор ба хӯлаҳои иттрийдор камшавӣ, минбаъд хӯлаҳои празеодимдор ва неодимдор баландшавии нишон медиҳад, ки бо гармигунҷоиши металлҳои нодирзаминӣ тоза мувофиқат мекунад.

3. Тадқиқоти вобастагии ҳарорати функцияи термодинамикии хӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ нишон медиҳад, ки энталпия ва энтропия дар рафти гузариш аз хӯлаҳои скандийдор ба хӯлаҳои иттрийдор паст шуда, минбаъд ба празеодим ва неодим баланд бардошта мешавад. Бо баланд шудани ҳарорат ва концентратсияи МН дар хӯлаи АК1М2, энталпия ва энтропия баланд шуда энергияи Гиббс паст мешавад.

4. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавронидашуда, бо усули термогравиметрии тадқиқот гузаронида шудааст. Нишон дода мешавад, ки иловаҳои ҷавҳаронидашуда суботи ибтидои хӯларо ба оксидшавӣ баланд мебардорад. Таъсири механизми металлҳои нодирзаминӣ ба параметри кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи АК1М2 таъсис дода мешавад. Суръати оксидшавии хӯлаҳо тартиботи 10^{-4} кг/м²-сек⁻¹ доранд. Энергияи фаъоли оксидшавии хӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавронидашуда ҳисоб карда, ки аз 114.9 то 153.0 кДж/моль, вобаста аз табиати элементи ҷавҳаронидашударо ташкил медиҳад.

5. Бо усули ИК-спектроскопи маҳсули оксидшавии хӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавронидашуда омӯхта шуда, инчунин нишон дода шуд, ки онҳо асосан аз оксидҳои алюминий - Al₂O₃, МН (R - Sc, Y, Pr, Nd)-R₂O₃ ва таркиби ортоалюминатҳо RAlO₃ иборат мебошанд.

6. Бо усули потенсиостатики рафтори анодии хӯлаҳо АК1 ва АК1М2 бо МН дар муҳити электролити NaCl тадқиқ ва ошкор карда шуд, ки бо вобастагӣ аз концентратсияи электролити NaCl ҷавҳаронидашуда суръати ибтидоии зангзании хӯлаҳоро 1-1,5 маротиба паст мекунад. Дар рафти тадқиқот таъсири ионҳои хлорид дар характеристикаи электрохимии ҷавҳаронидашудаи МН бо хӯлаи АК1М2 оварда шудааст, ки пасткунии концентратсии ионҳои хлорид суръати зангзании хӯлаҳоро паст мекунад ва потенциали электродро ба самти мусбат бар меангезад.

7. Дар асоси тадқиқотҳои гузаронидашуда патенти хурд ТҶ№753 «Роҳи баланд бардоштани муқовимати зангзании хӯла дар асоси алюминии тоза» Ҷумҳурии Тоҷикистон тарҳрезӣ ва ҳимоя карда шудааст

Наشري нуқтаҳои асосии рисола дар:

-мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ аз тарафи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тахриршаванда

1. Бердиев, А.Э. Кинетика окисления твердого сплава АК1М2, легированного скандием / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Ниёзов** и др. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия, 2012, №12, с.82-85.

2. **Ниёзов, Х.Х.** 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.

3. 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.

4. Бердиев, А.Э. Влияние иттрия на анодные характеристики сплава АК1М2 / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Ниёзов** и др. // Известия ВУЗов. Материалы электронной техники, 2014, т.17, №3, с.224-227.

5. **Ниёзов, Х.Х.** Влияния празеодима на кинетику окисления сплава АК1М2 в твердом состоянии / Х.Х. Ниёзов, А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан, 2014, т.57, №5, с.382-385.

6. **Ниёзов, Х.Х.** Окисление сплава АК1 на основе особо чистого алюминия, модифицированного иттрием и эрбием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Ф.Н. Пардаева // Вестник Технологического университета Таджикистана, 2015, №1(24), с.35-37.

7. Низомов, З. Температурная зависимость теплофизических свойств сплава АК1М2, легированного скандием и иттрием/ З.Низомов, Р.Х. Саидов, Б.Н. Гулов, **Х.Х. Ниёзов**// Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ. мат., хим. и геолог. наук, 2016, № 3(164), с.79-83.

8. Бердиев, А.Э. Кинетика окисления сплава АК1М2, легированного иттрием в твердом состоянии /А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Ниёзов** //Металлы, 2017, т.2, №2, с.47-51.

-дар маводҳои конфронронсҳои илмӣ, симпозиумҳо ва семинарҳо

9. Низомов, З. Температурная зависимость теплоемкости сплава АК1+2% Си, легированного РЗМ/ З.Низомов, Р.Х. Саидов, Б.Н. Гулов, **Х.Х. Ниёзов**, А.Э. Бердиев//Международная конференция «Современные вопросы молекулярной спектроскопии конденсированных сред», Душанбе: Изд-во Таджикского национального университета, 2011, с.184-187.

10. Бердиев, А.Э. Термодинамические функции сплава АК1М2, легированного неодимом /А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Ниёзов**, Х.Д. Дадаматов // Матер. Межд. научно-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири», посвящ. 50-летию Тюменского индустриального института. Тюмень, ТюмГНГУ, 2013, с.88-93.

11. Бердиев, А.Э. Влияние скандия на кинетику окисления сплава АК1М2 / А.Э. Бердиев, **Х.Х. Ниёзов**, И.Н. Ганиев //Матер. VI Междунар. научно-практ. конф.

«Перспективы развития науки и образования». Душанбе, ТТУ, 2012, с.10-13.

12. **Ниёзов, Х.Х.** Кинетика окисления твердого сплава АК1М2, легированного иттрием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Ф.У. Обидов // Матер. Респуб. научно-практ. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроение и методика их преподавания». Душанбе, ТГПУ, 2012, с.90-93.

13. **Ниёзов, Х.Х.** Кинетика окисления твердого сплава АК1М2, легированного иттрием / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев и др. // Матер. респуб. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроении и методика их преподавания», посвящ. 20-летию 16-сессии Верховного Совета и 15-летию дня национальной солидарности. Душанбе, ТГПУ, 2012, с.87-90.

14. **Ниёзов, Х.Х.** Кинетика окисления твердого сплава АК1М2, легированного празеодимом / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев // Матер. респуб. научно-практ. конф. «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана». Душанбе, ТНУ, 2013, с.65-66.

15. Бердиев, А.Э. Влияние неодима на кинетику окисления сплава АК1М2, в твердом состоянии / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Ниёзов**, Ф.С. Пардаева // Матер. респуб. научно-практ. конф. «Достижение инновационной технологии композиционных материалов и их сплавов для машиностроения». Душанбе, ТГПУ, 2014, с.67-70.

16. Низомов, З. Температурная зависимость теплоемкости сплава АК1+2%Cu, легированного РЗМ / З. Низомов, Р.Х. Саидов, Б.Н. Гулов, А.Э. Бердиев, **Х.Х. Ниёзов** // Матер. Междунар. конф. «Современные вопросы молекулярной спектроскопии конденсированных сред». Душанбе, ТНУ, 2011, с.184-187.

17. **Ниёзов, Х.Х.** Влияние иттрия на электрохимические характеристики сплава АК1М2 / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э.Бердиев и др. // Матер. V Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ». Душанбе, ТТУ, 2011, ч.1, с.302-303.

Ихтироот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия

18. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 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.

Дигар нашриёт

19. **Ниёзов, Х.Х.** Сплавы особочистого алюминия с редкоземельными металлами: монография / Х.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев.– Душанбе: ЧДММ «Сармад-Компания», 2017.- 146 с.

АННОТАТСИЯ

ба рисолаи Ниёзов Ҳамзакул Ҳамроқулович «Ҳосиятҳои физикӣ-химиявии хӯлаҳои алюминии махсусан тозаи тамғаҳои АК1 ва АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ» барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосӣ 05.02.01 – Маводшиносӣ (дар мошинсозӣ)

Дар речаи «хунуккунӣ» вобастагии ҳарорати гармигунҷоиши хос ва функсияҳои термодинамикии ҷавҳаронии хӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим бо дар ҳудуди 300-900K таҳқиқ карда шудааст. Муқаррар карда шудааст, ки вобастагии ҳароратии гармигунҷоиш хоси хӯлаҳои тадқиқшаванда дар ҳарорати паст нисбат аз хӯлаи АК1М2 кам мебошад, аммо дар ҳарорати баланд дар ҳамаи консентратсияҳои тадқиқотшудаи ҳудуд баланд аст. Тағирёбии гармигунҷоиши хоси хӯлаи АК1М2, бо металлҳои нодирзаминӣ (МН), нишон медиҳад, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои скандийдор ба хӯлаҳои иттрийдор камшавӣ, минбаъд хӯлаҳои празеодимдор ва неодимдор баландшавӣ нишон медиҳад, ки бо гармигунҷоиши металлҳои нодирзамини тоза мувофиқат мекунад.

Тадқиқоти вобастагии ҳарорати функсияи термодинамикии хӯлаи АК1М2 бо металлҳои нодирзаминӣ нишон медиҳад, ки энталпия ва энтропия дар рафти гузариш аз хӯлаҳои скандийдор ба хӯлаҳои иттрийдор паст шуда, минбаъд ба празеодим ва неодим баланд бардошта мешавад. Бо баланд шудани ҳарорат ва консентратсияи МН дар хӯлаи АК1М2, энталпия ва энтропия баланд шуда, энергияи Гиббс паст мешавад.

Кинетикаи оксидшавии хӯлаи АК1М2, бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавронидашудааст, бо усули термогравиметрии тадқиқот гузаронида шудааст. Нишон дода шудааст, ки иловаи металлҳои нодирзаминӣ суботи ибтидои хӯларо ба оксидшавӣ баланд мебардорад. Таъсири механизми металлҳои нодирзаминӣ ба параметри кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи АК1М2 нишон дода мешавад. Суръати оксидшавии хӯлаҳо тартиботи 10^{-4} кг/м²·сек⁻¹ доранд. Энергияи фаъоли оксидшавии хӯлаи АК1М2 бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим ҷавронидашуда аз 114.9 то 153.0 кДж/моль, ташкил дода аз табиати элементи ҷавҳаронидашуда вобаста мебошад.

Бо усули ИК-спектроскопӣ маҳсули оксидшавии хӯлаи АК1М2, ки бо скандий, иттрий, празеодим ва неодим, ҷавронидашуда шудааст, ва нишон дода шудааст, ки онҳо асосан аз оксидҳои алюминий - Al₂O₃, МН (R - Sc, Y, Pr, Nd)-R₂O₃ ва таркиби ортоалюминатҳо RAlO₃ иборат мебошанд.

Бо усули потенсиостатикӣ рафтори анодии хӯлаҳои АК1 ва АК1М2 бо МН дар муҳити электролити NaCl тадқиқ карда шуда, нишон дода шудааст, ки вобаста аз консентратсияи электролити NaCl суръати ибтидоии зангзании хӯлаҳоро 1-1,5 маротиба паст мекунад. Дар рафти тадқиқот таъсири ионҳои хлорид дар характеристикаи электрохимии инчунин бо усули потенсиостатикӣ муайян карда шудааст, ки пасткунии консентратсии ионҳои хлорид суръати зангзании хӯлаҳоро паст мекунад ва потенциали электродро ба самти мусбат бар меангезад.

Рисола аз мундариҷа, 4 боб, муҳокимаи онҳо ва сарчашмаи рӯйхати адабиётҳои истифодашуда 92 ададро ташкил дода, аз 33 расм 64 ҷадвал иборат мебошанд.

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи АК1М2, скандий, иттрий, празеодим, неодим, гармигунҷоиши хос, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, усули термогравиметрӣ, оксидшавӣ, кинетикаи оксидшавӣ, суръати ҳақиқии оксидшавӣ, вобастагии ҳарорат, энергияи фаъол, рафтори анодӣ, ба зангзании устувор.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Ниёзова Хамзакула Хамрокуловича «Физико-химические свойства сплавов особо чистого алюминия марок АК1 и АК1М2 с редкоземельными металлами» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – материаловедение (в машиностроение)

В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость удельной теплоемкости и термодинамические функции легированного скандием, иттрием, празеодимом и неодимом сплава АК1М2 в диапазоне 300-900 К. Установлено, что температурная зависимость удельной теплоемкости исследованных сплавов при низких температурах ниже, чем у сплава АК1М2, а при высоких температурах выше при всех концентрациях исследованного диапазона. Изменение удельной теплоемкости сплава АК1М2, легированного редкоземельными металлами (Sc, Y, Pr, Nd), показывает уменьшение при переходе от сплавов со скандием к сплавам с иттрием, далее у сплавов с празеодимом и неодимом - увеличение, что согласуется с теплоемкостями чистых редкоземельных металлов.

Исследованиями температурных зависимостей термодинамических функций сплава АК1М2 с редкоземельными металлами показано, что энтальпия и энтропия при переходе от сплавов со скандием к иттрию уменьшаются, далее к празеодиму и неодиму увеличиваются. С ростом температуры и концентрации РЗМ в сплаве АК1М2 энтальпия и энтропия увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается.

Кинетика окисления сплава АК1М2, легированного скандием, иттрием, празеодимом и неодимом, исследована термогравиметрическим методом. Показано, что легирующие добавки повышают устойчивость исходного сплава к окислению. Установлены механизмы влияния редкоземельных металлов на кинетические параметры процесса окисления сплава АК1М2. Скорость окисления сплавов имеет порядок 10^{-4} кг·м⁻²·сек. Вычислена кажущаяся энергия активации окисления, легированного РЗМ сплава АК1М2, которое составляет от 114.9 до 153.0 кДж/моль в зависимости от природы легирующего элемента.

Методом ИК-спектроскопии исследованы продукты окисления сплава АК1М2, легированного редкоземельными металлами, и показано, что они в основном состоят из оксидов алюминия - Al₂O₃, РЗМ (R - Sc, Y, Pr, Nd)-R₂O₃ и ортоалюминатами состава RAlO₃.

Потенциостатическим методом исследовано анодное поведение сплавов АК1 и АК1М2 с РЗМ в среде электролита NaCl и выявлено, что в зависимости от концентрации электролита NaCl, легирование подавляет скорость коррозии исходных сплавов в 1-1,5 раза. При исследовании влияния хлорид-иона на электрохимические характеристики легированного РЗМ сплава АК1М2 установлено, что снижение концентрации хлорид-иона снижает скорости коррозии сплавов и сдвигает электродные потенциалы в более положительную область.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы 92 наименований, 64 таблиц, 33 рисунков.

Ключевые слова: сплав АК1М2, скандий, иттрий, празеодим, неодим, теплоемкость, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, термогравиметрический метод, окисление, кинетика окисления, температурная зависимость, энергия активации, истинная скорость окисления, анодное поведение, коррозионная стойкость.

ANNOTATION

on the dissertation of the theme "Physical and chemical properties of alloys of extremely pure aluminum of AK1 and AK1M2 grade with rare-earth metals" submitted for the degree of candidate of technical sciences on 05.02.01-specialty - materials sciences (machine building) on the thesis of Niyozov Hamzakul Hamrokulovich

In the mode of "cooling" were investigated the temperature dependence of specific heat and thermodynamic functions alloyed with scandium, yttrium, praseodymium and neodymium alloys AK1M2 in the range 300-900 K. It was established that the temperature dependence of the specific heat of the investigated alloys at low temperatures is lower than that of alloy AK1M2, and at a high temperatures is higher in all concentrations of the investigated range. The change of the specific heat capacity of alloy AK1M2 that are doped with rare earth metals (Sc, Y, Pr, Nd) shows the decrease when moving from alloys with scandium alloys with yttrium, then the alloys with praseodymium and neodymium - increasing, which is consistent with the heat capacities of the pure rare earth metals.

The survey of temperature dependences of thermodynamic functions of AK1M2 alloy with rare earth metals it is shown that the enthalpy and entropy at the transition from alloys with scandium to yttrium is reduced, then the praseodymium and neodymium increase. With the increasing temperature and concentration of rare earth metals in the alloy AK1M2 enthalpy and entropy increased and Gibbs free energy decreases.

The kinetics of oxidation of alloy AK1M2 doped with scandium, yttrium, praseodymium and neodymium, were investigated by thermo gravimetric method. It is shown that dopants enhance of the stability of the source alloy is increase the addition to oxidation. The mechanisms of influence of rare-earth metals on the kinetic parameters of the oxidation process of the alloy AK1M2. The oxidation rate of alloys is of the order of 10^{-4} kg·m⁻²·sec. The calculated apparent activation energy of oxidation of doped REE alloy AK1M2, that is up to 114.9 153.0 kJ/mol depending of the nature of the alloying element.

The method of IR-spectroscopy the oxidation products of alloy AK1M2 doped with rare earth metals, and showed that they are mainly consists of aluminum oxide - Al₂O₃, rare earth metals (R - Sc, Y, Pr, Nd)-R₂O₃ and orthoaluminate RAlO₃ composition.

Potentiostatic method has been investigated the anodic behavior of alloy AK1 and AK1M2 with rare earth metals in the electrolyte medium NaCl and revealed that depending on the concentration of electrolyte NaCl doping suppresses the corrosion rate of original alloy in 1-1.5 times. During conducting the survey of the influence of chloride ions on the electrochemical characteristics of the doped REE alloy AK1M2 established that the decrease of the concentration of chloride ions reduces the corrosion rate of alloys and shifts the electrode potential to more positive region.

The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion and list of used literatures and sources.

Key words: AK1M2 alloy, scandium, yttrium, praseodymium, neodymium, specific heat capacity, enthalpy, entropy, Gibbs energy, thermogravimetric method, oxidation, kinetics of the oxidation, temperature dependence, activation energy, true rate of oxidation, anodic behavior, corrosion resistance.

Ба чоп 23.06.2017 ичозат шуд. Ба чоп 26.07.2017 имзо шуд.
Когази офсетӣ. Чопи офсетӣ. Ҳуруфи адабӣ.
Андозаи 60x84 1/16. Ҷузъи чопӣ 1,63.
Теъдоди нашр 100 нусха.

Наشريёти «*Донишварон*».
734063, ш. Душанбе, кӯчаи Амоналная, 3/1
Тел.: 915-14-45-45. E-mail: donishvaron@mail.ru