

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА**

На правах рукописи
УДК 620.193+669.715

АЛИЕВ Фирдавс Алиевич

**СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО
СПЛАВА E-AlMgSi (АЛДРЕЙ) С ЭЛЕМЕНТАМИ
ПОДГРУППЫ ГАЛЛИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальностям
05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике) и
05.17.03 – Технология электрохимических процессов
и защита от коррозии**

Душанбе – 2020

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
директор Института химии им.
В.И. Никитина Национальной академии наук
Таджикистана
Сафаров Ахрор Мирзоевич

Научный консультант: доктор химических наук, профессор, академик
НАНТ, руководитель центра «Материаловедения
и машиностроения» Института «Политехник»
Таджикского технического университета
им. акад. М.С. Осими
Ганиев Изатулло Наврузович

Официальные оппоненты: доктор химических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Органической и биологической
химии» Бохтарского государственного
университета им. Н. Хусрава
Гафуров Бобомурод Абдукахорович

кандидат технических наук, доцент, декан
факультета механизации сельского хозяйства
Таджикского аграрного университета
им. Ш. Шотемура
Мирзоев Шамсулло Изатович

Ведущая организация: Кулябский государственный университет им.
А. Рудаки

Защита состоится 21 декабря 2020 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана www.chemistry.tj.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук



Махкамов Х.К.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Алюминий и его сплавы широко применяют в электротехнике в качестве проводникового и конструкционного материала. Как проводниковый материал алюминий характеризуется высокой электро- и теплопроводностью (после меди максимальный уровень среди всех технически применяемых металлов). Алюминий также отличается малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, высокой стойкостью против воздействия химических веществ.

Другим преимуществом алюминия является то, что его отличает нейтральное поведение по отношению к изоляционным материалам, например к маслам, лакам и термопластам, в том числе при повышенных температурах. Алюминия отличает от других металлов его малая магнитная восприимчивость, а также образование неэлектропроводного, легко устранимого порошкообразного продукта (Al_2O_3) в электрической дуге.

Степень изученности использования алюминия и его сплавов в качестве материала для коммутационных аппаратов, матч линии электропередач, корпусов электродвигателей и выключателей и т.д. регламентируется особыми предписаниями или общими правилами конструирования.

Экономическая целесообразность применения алюминия в качестве проводникового материала объясняется благоприятным соотношением его стоимости и стоимости меди. Кроме того следует учесть и тот фактор, что стоимость алюминия в течение многих лет практически не меняется.

При использовании проводниковых алюминиевых сплавов для изготовления тонкой проволоки, например обмоточного провода и т.д. могут возникнуть определённые сложности в связи с их недостаточной прочностью и малым числом перегибов до разрушения.

В последние годы разработаны алюминиевые сплавы, которые даже в мягком состоянии обладают прочностными характеристиками, позволяющими использовать их в качестве проводникового материала.

Одним из проводниковых алюминиевых сплавов является сплав E-AlMgSi (“алдрей”), который относится к термоупрочняемым сплавам. Он отличается высокой прочностью и хорошей пластичностью. Данный сплав при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность. Изготовленные из него провода используются почти исключительно для воздушных линий электропередач.

В связи с тем, что линии электропередачи из алюминия и его сплавов эксплуатируются в открытой атмосфере, вопросы повышения их коррозионной стойкости **являются актуальными.**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования является установление температурных зависимостей термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием, предназначенного для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Задачи исследования:

- исследование зависимости значений теплоёмкости от температуры и изменения термодинамических характеристик алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием;
- изучение кинетики окисления проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») в твёрдом состоянии, с галлием, индием и таллием, определение механизмов окисления сплава «алдрей»;
- определение на основании проведения экспериментальных работ влияния галлия, индия и таллия на анодное поведение проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), проводимые в электролитической среде NaCl;
- определение физико-химических характеристик четырёхкомпонентных сплавов для усовершенствования их химических составов с целью дальнейшего использования в различных отраслях промышленности.

Объектом исследования являлся алюминиевый проводниковый сплав E-AlMgSi («алдрей») состава Al+ 0.5Si+0,5Mg (мас%), а также металлические галлий, индий и таллий.

Предметом исследования являлся алюминиевый проводниковый сплав E-AlMgSi («алдрей»), легированный галлием, индием и таллием.

Методы исследования. Для исследуемых сплавов измерены следующие показатели: теплоёмкости каждого сплава в режиме «охлаждения». Использованы потенциостатический (прибор ПИ-50.1.1), рентгенофазовый (РФА), металлографический и термогравиметрический методы анализа образцов сплавов. Полученные результаты обрабатывались математическими методами в программах Microsoft Excel и Sigma Plot 10.

Отраслям исследования является материаловедения и технология синтеза новых проводниковых алюминиевых сплавов типа E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия.

Этапы исследования включают синтез и сертификацию новых алюминиевых сплавов, исследование их микроструктуры, изучения тепловых, теплофизических, кинетических и анодных характеристик алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием, индием и таллием.

Основная информационная и экспериментальная база. Экспериментальные исследования выполнены с помощью известных научных оборудований: импульсной потенциостат ПИ-50-1.1; термогравиметрических весов; прибора для измерения теплоемкости твердых тела в режиме «охлаждения», металлографического микроскопа (БИОМЕД-2). Математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложений и программ Microsoft Excel и Sigma Plot.

Достоверность диссертационных результатов. Достоверность результатов исследований обеспечивается применением современных методов исследований на тарированных модернизированных и усовершенствованных приборах и установках, их достаточной воспроизводимостью и сравнением результатов с данными других авторов.

Научная новизна исследования. Для проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») установлена зависимость изменений термодинамических характеристик (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) и теплоёмкости от изменения температуры и содержания легирующих элементов галлия, индия и таллия. Выявлены зависимости теплоёмкости и температуры и определено, что с увеличением температурного режима теплоёмкости проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием увеличиваются, а энергия Гиббса сплавов уменьшается. С уменьшением доли галлия, индия и таллия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а энергия Гиббса снижается.

Выявлена зависимость температуры и скорости окисления исследуемого сплава. Определено, что при увеличении температурного режима скорости окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием, в твёрдом состоянии, имеют тенденцию к увеличению. Определена константа скорости окисления сплава, составившая 10^{-4} кг/м²·с⁻¹. Также показано, что сплав E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием окисляется согласно гиперболической закономерности.

Потенциостатическим и потенциодинамическим методами исследования установлено, что в условиях скорости развертки потенциала, равной 2 мВ/с, коррозионностойкость исходного алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») возрастает от 20 до 30% при легировании его добавками в пределах не более 1,0 мас%. Потенциал коррозии исходного сплава E-AlMgSi («алдрей») в этом случае сдвигается в область положительных значений, а потенциал питтингообразования и потенциал репассивации – сдвигаются в область отрицательных значений. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с индием и таллием наблюдается уменьшение скорости коррозии сплавов (для сплавов с 1,0 мас% добавки).

Теоретическая ценность исследования. В диссертации изложены теоретические аспекты исследований: доказательства влияния структуры, температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций, закономерности изменений коррозионно-электрохимические, кинетические и энергетические характеристики алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием.

Практическая ценность исследования. Подобраны оптимальные концентрации модифицирующих добавок (галлия, индия и таллия) для повышения коррозионной стойкости исходного сплава E-AlMgSi («алдрей»).

В целом на основе проведённых исследований отдельные составы алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием получен малый патент Республики Таджикистан.

Положения, выносимые на защиту:

- полученные в результате исследования зависимости теплоёмкостей и изменений термодинамических характеристик от температурного режима алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием;

- кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием, определённые для полученных сплавов механизмы окисления. Идентифицированные физико-химическими методами продукты, полученные в результате окисления сплавов, установление их влияния на формирование механизмов окисления сплавов;

- зависимости анодных характеристик алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием и скорости его коррозии от концентраций легирующих компонентов, в электролитической среде NaCl;

- определены сплавы с оптимальными добавками легирующих компонентов галлия, индия и таллия, проявляющие максимальную коррозионностойкость, которые являются ценными материалами в производстве электрических проводов и кабелей.

Личный вклад соискателя включает анализ литературных данных, постановку и решение исследовательских задач, подготовку и проведение лабораторных экспериментов, анализ полученных результатов, формулировку основных положений и выводов диссертационной работы.

Апробация диссертации и информации об использовании её результатов. Основные положения диссертации обсуждались на:

Респ. научной конф. «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан», Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2019); Респ. научно-практ. конф. «Роль народного творчество в развитии и устойчивости национальной культуры» посвящённый объявлению 2019-2021гг. Годам развития, деревня, туризма и народного творчество», ТГПУ имени С. Айни (Душанбе, 2019); VII Межд. конф. «Современные проблемы физики», Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ (Душанбе, 2020); Респ. научн-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий» посвящ. 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук, РТСУ (Душанбе, 2020).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертационного исследования опубликованы 8 работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан и 5 статей в материалах конференций, получен 3 малых патентов Республики Таджикистан.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общая характеристика работы, четыре главы, заключение, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 154 страницах компьютерного набора, включает 78 рисунков, 49 таблиц, 86 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы, раскрыта структура диссертации.

В первой главе описано структурообразование алюминиевых сплавов с галлием, индием и таллием; теплоемкость алюминия, магния, кремния галлия, индия и таллия; особенности окисления и коррозионно-электрохимического поведения сплавов алюминия с галлием и индием в различных средах. На основе выполненного обзора показано, что теплоемкость алюминия, магния, кремния, галлия, индия и таллия изучено хорошо. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Однако в литературе отсутствует информация о теплоемкости и термодинамических свойств, коррозионно-электрохимическом поведении и особенностях окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

Во второй главе приведены результаты исследования температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием.

В четвертой главе приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, индием и таллием, в среде электролита NaCl.

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi (АЛДРЕЙ), ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ

В литературе нами не обнаружены сведения о термодинамических свойствах алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей), легированного галлием, индием и таллием. В связи с этим цель настоящих исследований заключается в установлении влияния добавок галлия, индия и таллия на теплоемкость и изменений термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей).

Синтез сплавов проводилось в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 750 – 800 °С. В качестве шихты при получении сплава E-AlMgSi использовали алюминий марки А6, который дополнительно легировалось расчётным количеством кремния и магния. При легировании алюминия кремнием учитывалось имеющееся, в составе первичного алюминия кремний (0.1мас.%). Магний, завернутый в алюминиевой фольге, вводилось в расплав алюминия с помощью колокольчика.

Металлический галлий, индий и таллий вводилось в расплав в завернутом в алюминиевой фольге виде. Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводились в Центральной заводской лаборатории ГУП «Таджикская алюминиевая компания». Состав сплавов также контролировалось взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1-2% отн. синтез сплавов проводился заново. Далее из расплава удалялось шлак и производилось литьё образцов для исследования теплоемкости свойств, в графитовую изложницу. Образцы цилиндрической формы имели диаметр 16мм и длину 30мм.

Измерение теплоемкости проводилось на установке¹, схема которой представлено на рисунке 1. Электродпечь (3) смонтирована на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L»(7). Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L»(7).

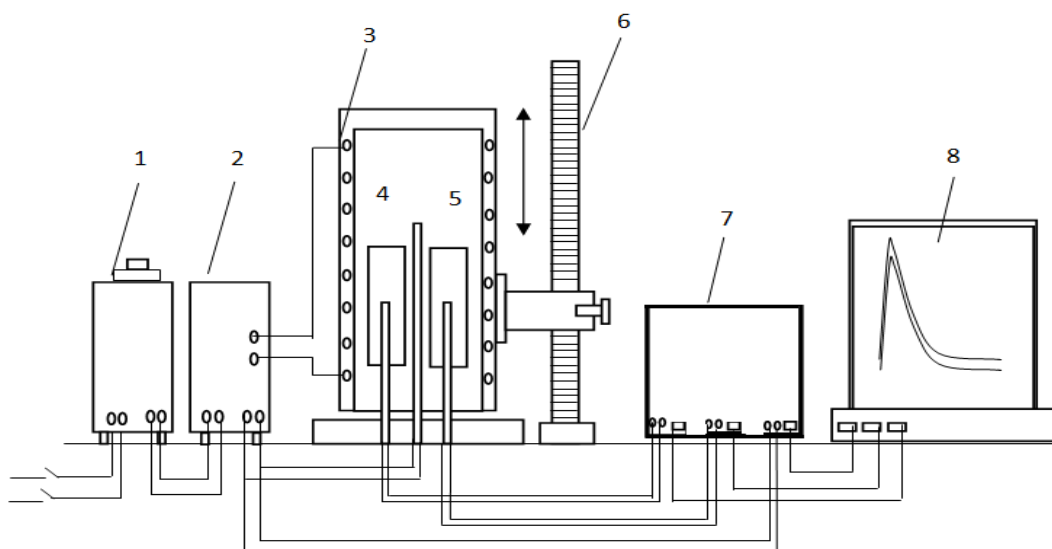


Рисунок 1 - Схема установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения».

Электродпечь запускается через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров, фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец и эталон в электродпечь и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров на компьютере (8). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электродпечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра на компьютер через каждый 10с. до охлаждения температуры

¹Малый патент Респ. Таджикистан № TJ 877 «Установка для определений теплоемкости и теплопроводности твердых тел», приоритет изобретения от 20.04.2017 г.

образца и эталона.

Для измерения температуры использовали многоканальный цифровой термометр, который позволял прямо фиксировать результаты измерений на компьютере в виде таблиц. Точность измерения температуры составляла $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляла $\pm 1\%$. Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4-6% в зависимости от температуры.

Обработка результатов измерений производилась с помощью программы MS Excel. Графики строились с помощью программы Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составлял величину $R_{\text{корр}} > 0,989$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции.

Экспериментально полученные временные зависимости температуры образцов (рисунок 2) описываются уравнением вида

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

где a, b, p, k – константы; τ – время охлаждения.

Дифференцируя (1) по τ получаем уравнение для скорости охлаждения образцов

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

По уравнению (2) были вычислены скорости охлаждения образцов из сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, которые приставлены на рисунке 3. Значения коэффициентов a, b, p, k, ab, pk в уравнении (2) для исследованных сплавов приведены в таблице 1.

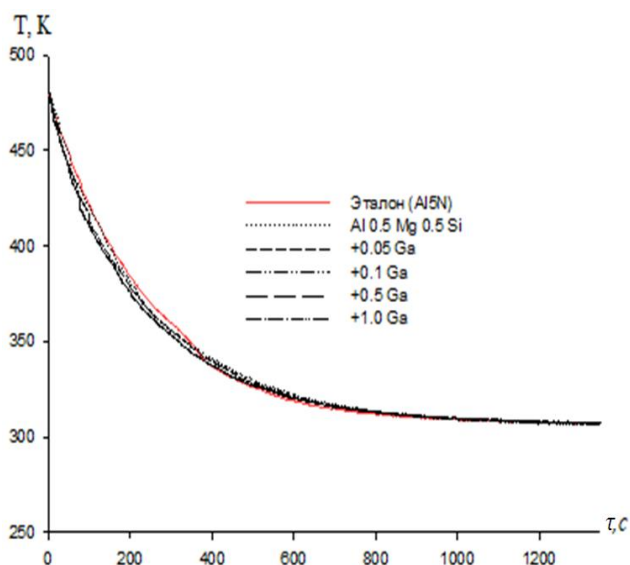


Рисунок 2 - График зависимости температуры от времени охлаждения для образцов из сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

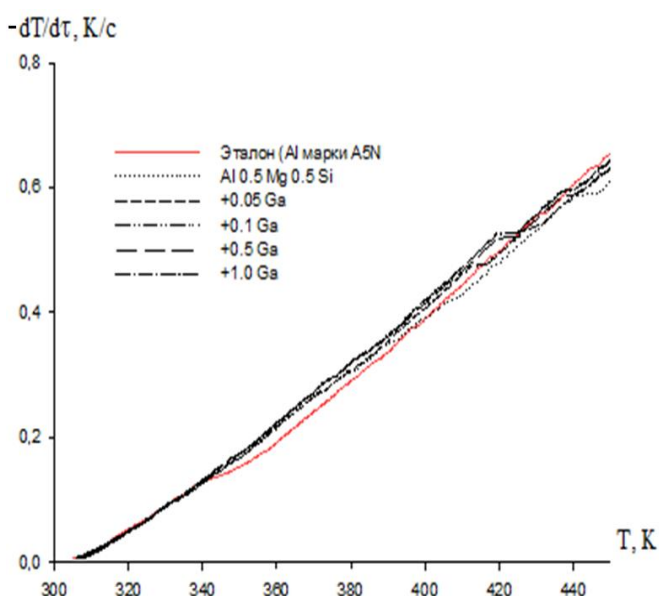


Рисунок 3 - Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

Таблица 1 - Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk уравнении (2) для алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

| Содержание галлия в сплаве, мас.% | a , К | $b \cdot 10^{-3}$, c^{-1} | p , К | $k \cdot 10^{-5}$, c^{-1} | $ab \cdot 10^{-1}$, Kc^{-1} | $pk \cdot 10^{-3}$, Kc^{-1} |
|-----------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Сплав E-AlMgSi | 165,61 | 4,46 | 314,72 | 2,27 | 7,38 | 7,14 |
| 0.05 Ga | 172,18 | 4,55 | 314,99 | 2,20 | 7,83 | 6,92 |
| 0.1 Ga | 159,14 | 4,71 | 314,85 | 2,02 | 7,49 | 6,35 |
| 0.5Ga | 153,82 | 4,64 | 313,99 | 1,81 | 7,13 | 5,67 |
| 1.0 Ga | 159,234 | 4,73 | 315,17 | 2,10 | 7,54 | 6,62 |
| Эталон | 494,26 | 5,01 | 319,92 | 2,57 | 0,25 | 8,23 |

Далее по рассчитанным значениям величин скорости охлаждения образцов из сплавов, по уравнению (3) была вычислена удельная теплоёмкость сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N):

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

где $m_1 = \rho_1 V_1$ – масса эталона;

$m_2 = \rho_2 V_2$ – масса исследуемого образца;

$\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ - скорости охлаждения образцов из сплавов и эталона при

данной температуре.

Проводя полиномиальную регрессию, было получено следующее уравнение (4) для температурной зависимости удельной теплоемкости алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием:

$$C_{P_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Значения коэффициентов a , b , c , d уравнении (4) приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнение (4) для образцов из алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

| Содержание галлия в сплаве, мас.% | a , Дж/кг·К | b , Дж/кг·К ² | c , Дж/кг·К ³ | $d \cdot 10^{-4}$, Дж/кг·К ⁴ | Коэффициент корреляции R |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|
| Сплав E-AlMgSi | -10394,96 | 84,30 | 0.21 | 1.71 | 0.9925 |
| 0.05 Ga | -10394,96 | 82,90 | -0,20 | 1,66 | 0.9899 |
| 0.1 Ga | -13788,22 | 106,85 | -0,26 | 2,11 | 0.9950 |
| 0.5Ga | -19463,50 | 152,21 | -0,38 | 3,15 | 0.9980 |
| 1.0 Ga | -10147,32 | 78,49 | -0,19 | 1,51 | 0,9989 |
| Эталон | 645.88 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 1.0 |

Результаты расчёта теплоемкости сплавов по формуле (3) через 25 К представлены в таблице 3 и на рисунке 4. Теплоемкость сплавов от концентрации галлия в алюминиевом сплаве E-AlMgSi (“алдрей”) уменьшается, а от температуры увеличивается.

Таблица 3 - Температурная зависимость удельной теплоёмкости кДж/(кг·К) алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

| Содержание галлия в сплаве, мас.% | Т, К | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| Сплав E-AlMgSi | 751,00 | 855,36 | 907,62 | 923,83 | 920,00 | 916,37 |
| 0.05 Ga | 678,55 | 794,12 | 858,13 | 886,15 | 893,72 | 909,80 |
| 0.1 Ga | 574,54 | 731,23 | 820,21 | 861,25 | 874,13 | 894,55 |
| 0.5Ga | 531,77 | 712,59 | 802,69 | 831,60 | 828,86 | 846,53 |
| 1.0 Ga | 531,62 | 658,39 | 733,81 | 772,05 | 787,26 | 805,20 |
| Эталон | 854,62 | 877,90 | 901,55 | 925,45 | 949,48 | 997,46 |

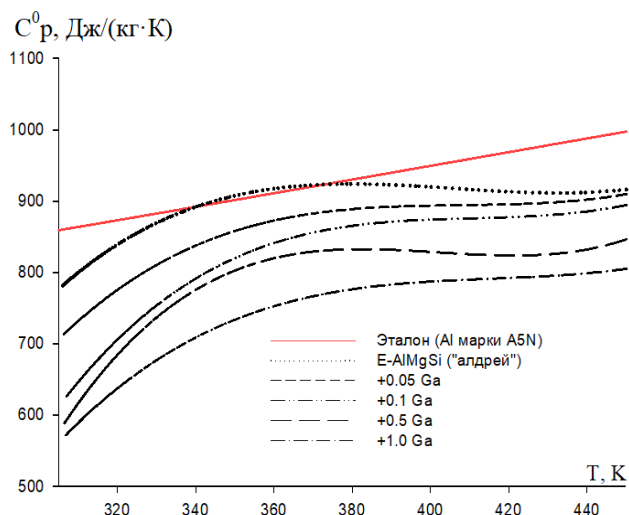


Рисунок 4 - Температурная зависимость удельной теплоемкости алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

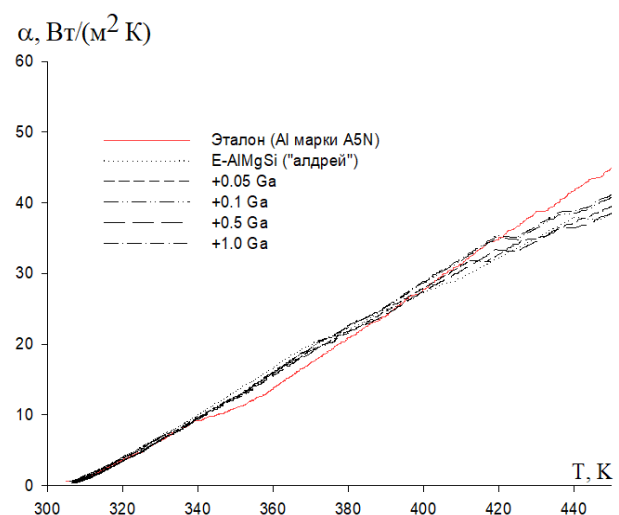


Рисунок 5 - Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

Используя значения удельной теплоемкости алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и экспериментально полученные значения скорости охлаждения образцов из сплавов, вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплава E-AlMgSi (“алдрей”) по уравнению (5)

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

где: T и T₀ – температура образца и окружающей среды; S, m – площадь

поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием представлена на рисунке 5.

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по уравнениям (6)-(8) были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (4):

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

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

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

где $T_0 = 298,15\text{K}$.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по уравнениям (6)-(8) через 25 К представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки А5N)

| Содержание галлия в сплаве, мас.% | Т, К | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------|---------|---------|----------|----------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| | [$H^0(T) - H^0(T_0^*)$], кДж/кг для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | 1,3799 | 21,5847 | 43,7138 | 66,6654 | 89,7383 | 135,4471 |
| 0.05 Ga | 1,2451 | 19,7762 | 40,5196 | 62,3809 | 84,6546 | 129,5626 |
| 0.1 Ga | 1,1125 | 18,4786 | 38,9238 | 60,9993 | 83,7508 | 129,9372 |
| 0.5Ga | 0,9674 | 16,7417 | 35,8409 | 56,3663 | 77,1572 | 118,5852 |
| 1.0 Ga | 0,9726 | 15,9695 | 33,4642 | 52,3503 | 71,8750 | 111,5986 |
| Эталон | 1,5795 | 23,2351 | 45,4777 | 68,3149 | 91,7514 | 140,4266 |
| | [$S^0(T) - S^0(T_0^*)$], (кДж/(кг·К)) для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | 0,0046 | 0,0692 | 0,1348 | 0,1982 | 0,2577 | 0,3654 |
| 0.05 Ga | 0,0042 | 0,0634 | 0,1248 | 0,1852 | 0,2427 | 0,3484 |
| 0.1 Ga | 0,0037 | 0,0592 | 0,1198 | 0,1807 | 0,2394 | 0,3482 |
| 0.5Ga | 0,0033 | 0,0536 | 0,1102 | 0,1669 | 0,2205 | 0,3181 |
| 1.0 Ga | 0,0033 | 0,0512 | 0,1030 | 0,1551 | 0,2055 | 0,2991 |
| Эталон | 0,0053 | 0,0746 | 0,1405 | 0,2035 | 0,2640 | 0,3786 |
| | [$G^0(T) - G^0(T_0^*)$], кДж/кг для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | -0,0043 | -0,9209 | -3,4739 | -7,6429 | -13,3499 | -28,9837 |
| 0.05 Ga | -0,0038 | -0,8394 | -3,1931 | -7,0741 | -12,4299 | -27,2549 |
| 0.1 Ga | -0,0034 | -0,7732 | -3,0065 | -6,7655 | -12,0232 | -26,7576 |
| 0.5Ga | -0,0031 | -0,6922 | -2,7354 | -6,2028 | -11,0526 | -24,5595 |
| 1.0 Ga | -0,0030 | -0,6705 | -2,5947 | -5,8237 | -10,3367 | -22,9901 |
| Эталон | -0,0049 | -1,0111 | -3,7068 | -8,0133 | -13,8629 | -29,9625 |

* $T_0 = 298.15\text{ K}$

В таблицах 5, 6 обобщены результаты исследования по теплоемкости и термодинамических функций сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Сплавы, содержащие 1.0мас.% четвертого компонента указывают на снижение теплоемкости, энтальпии и энтропии и рост энергии Гиббса.

Таблица 5 - Зависимости удельной теплоёмкости алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием от температуры

| Содержание легирующего компонента в сплаве, мас.% | Т, К | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| Сплав E-AlMgSi | 751,00 | 855,36 | 907,62 | 923,83 | 920,00 | 916,37 |
| 1.0 Ga | 531,62 | 658,39 | 733,81 | 772,05 | 787,26 | 805,20 |
| 1.0In | 493,21 | 614,10 | 688,58 | 729,13 | 748,21 | 771,83 |
| 1.0 Tl | 487,25 | 602,61 | 668,37 | 698,33 | 706,25 | 711,12 |
| Эталон | 854,62 | 877,90 | 901,55 | 925,45 | 949,48 | 997,46 |

Таблица 6 - Зависимости изменений энтальпия, энтропия и энергии Гиббса для алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного Ga, In и Tl от температуры

| Содержание легирующего компонента в сплаве, мас.% | Т.К | | | | | |
|---|---|---------|---------|---------|----------|----------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| | [$H^0(T) - H^0(T_0^*)$], кДж/кг для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | 1,3799 | 21,5847 | 43,7138 | 66,6654 | 89,7383 | 135,4471 |
| 1.0 Ga | 0,9726 | 15,9695 | 33,4642 | 52,3503 | 71,8750 | 111,5986 |
| 1.0In | 0,9022 | 14,8532 | 31,2205 | 48,9997 | 67,4982 | 105,4415 |
| 1.0 Tl | 0,8914 | 14,6323 | 30,6086 | 47,7526 | 65,3414 | 100,6836 |
| Эталон | 1,5795 | 23,2351 | 45,4777 | 68,3149 | 91,7514 | 140,4266 |
| | [$S^0(T) - S^0(T_0^*)$], кДж/кг·К для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | 0,0046 | 0,0692 | 0,1348 | 0,1982 | 0,2577 | 0,3654 |
| 1.0 Ga | 0,0033 | 0,0512 | 0,1030 | 0,1551 | 0,2055 | 0,2991 |
| 1.0In | 0,0030 | 0,0476 | 0,0961 | 0,1452 | 0,1929 | 0,2823 |
| 1.0 Tl | 0,0030 | 0,0469 | 0,0942 | 0,1415 | 0,1869 | 0,2702 |
| Эталон | 0,0053 | 0,0746 | 0,1405 | 0,2035 | 0,2640 | 0,3786 |
| | [$G^0(T) - G^0(T_0^*)$], кДж/кг для сплавов | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | -0,0043 | -0,9209 | -3,4739 | -7,6429 | -13,3499 | -28,9837 |
| 1.0 Ga | -0,0030 | -0,6705 | -2,5947 | -5,8237 | -10,3367 | -22,9901 |
| 1.0In | -0,0028 | -0,6230 | -2,4155 | -5,4325 | -9,6620 | -21,5740 |
| 1.0 Tl | -0,0027 | -0,6145 | -2,3761 | -5,3260 | -9,4371 | -20,9051 |
| Эталон | -0,0049 | -1,0111 | -3,7068 | -8,0133 | -13,8629 | -29,9625 |

При переходе от сплавов с галлием к сплавам с таллием, теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов уменьшаются, значение энергии Гиббса растёт.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi (АЛДРЕЙ), ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ

Для определения скорости окисления чаще всего пользуются термогравиметрическим методом, который получил широкое применение при изучении кинетики окисления твёрдых и жидких металлов. К достоинствам данного метода следует отнести относительную простоту аппаратного оформления и возможности его использования для высоких температур (>1773К).

Нами изучена кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, в количествах: 0.05; 0.1; 0.5; 1.0 мас.%. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления данных сплавов приведены на рисунках 6-9 и в таблицах 7-9.

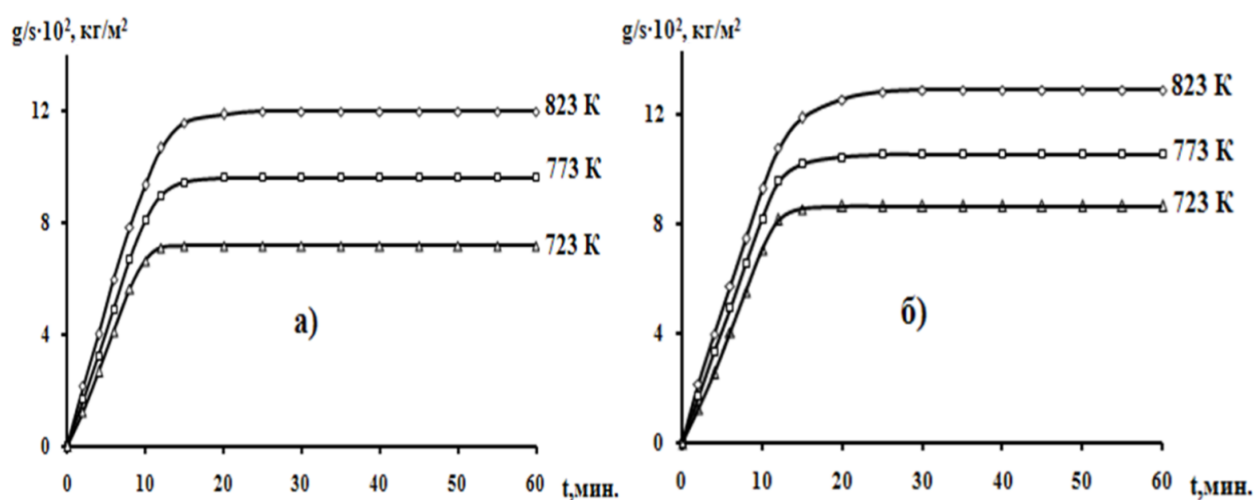


Рисунок 6 - Кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) (а) с 0.05 мас.% галлием (б)

Истинная скорость окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) в зависимости от температуры изменяется в пределах $2.67 \cdot 10^{-4}$ до $3.28 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹. Кажущаяся энергия активации процесса окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости $\lg K - 1/T$, составляет 149.0 кДж/моль (таблица 7).

Окисление алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), содержащего 0.05 мас.% галлия, в твёрдом состоянии проводили при температурах 723К, 773К и 823К. Кинетические кривые окисления сплава приведены на рисунке 6б. Скорость окисления сплава в зависимости от времени и температуры незначительно увеличивается. Однако рост величины удельной массы образца к 20 минутам приобретает постоянное значение равное $3.34 \cdot 10^{-4}$ кг/м² при 823К. Кажущаяся энергия активации процесса окисления составляет 120.3 кДж/моль (таблица 7).

Наблюдается медленное, но плавное нарастание толщины оксидной плёнки, которая при 20 минутах полностью предотвращает процесс окисления. По мере роста толщины оксидной плёнки скорость процесса окисления резко

затормаживается, а с увеличением температуры растёт. При содержании 1.0 мас.% галлия при температуре 723К скорость окисления составляет $3.09 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹, то при 823К увеличивается до $3.66 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹, соответственно. Кажущаяся энергия активации при этом имеет величину 98.9 кДж/моль (таблица 7).

Таблица 7 - Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, в твёрдом состоянии

| Содержание галлия в сплаве, мас.% | Температура окисления, К | Истинная скорость окисления К·10 ⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹ | Кажущаяся энергия активации, кДж/моль |
|-----------------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| 0.0 | 723 | 2.67 | 128.5 |
| | 773 | 2.89 | |
| | 823 | 3.28 | |
| 0.05 | 723 | 2.72 | 120.3 |
| | 773 | 2.91 | |
| | 823 | 3.34 | |
| 0.1 | 723 | 2.81 | 117.8 |
| | 773 | 3.00 | |
| | 823 | 3.41 | |
| 0.5 | 723 | 2.98 | 108.5 |
| | 773 | 3.14 | |
| | 823 | 3.53 | |
| 1.0 | 723 | 3.09 | 98.9 |
| | 773 | 3.22 | |
| | 823 | 3.66 | |

Добавки галлия в количестве 0.05 мас.% незначительно влияют на окисляемость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”). Дальнейшее увеличение концентрации галлия повышает окисляемость исходного проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) (рисунок 7).

Приведенная на рисунке 8 зависимость $\lg K - 1/T$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, показывает, что процесс окисления с остром температуры увеличивается.

В таблице 8 приведены результаты обработки кинетических кривых окисления в виде зависимости $(g/s)^2 - \tau$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), содержащего от 0.05 до 1.0 мас.% галлия (рисунок 9). Следует заключить, что характер окисления сплавов подчиняется гиперболической зависимости.

В таблице 9 обобщены величины кажущейся энергии активации процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием, различной концентрации. Среди

легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации имеют сплавы с галлием.

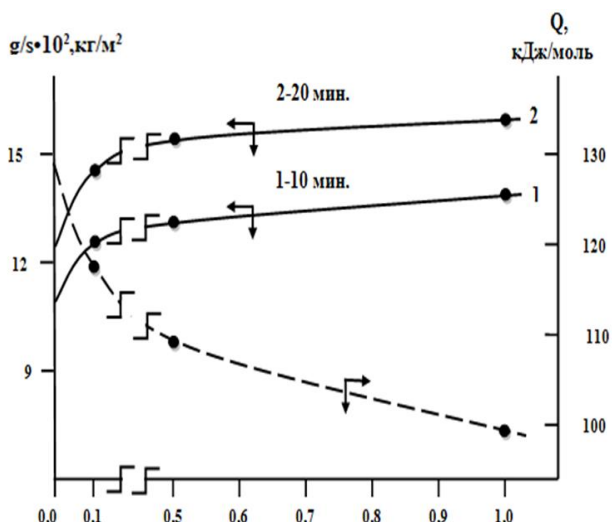


Рисунок 7 - Изохронны окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием при 823 К

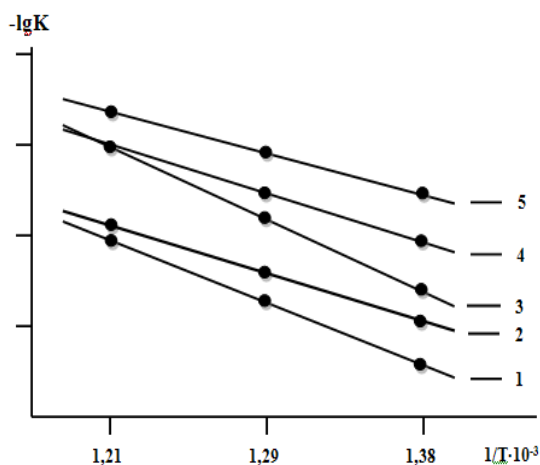


Рисунок 8 - Зависимость $\lg K$ от $1/T$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”)(1), легированного галлием, мас. %: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5)

Таблица 8 - Полиномы кинетических кривых окисления алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, в твёрдом состоянии

| Содержание галлия в сплаве, мас. % | Температура окисления, К | Полиномы кинетических кривых окисления сплавов | Коэффициент регрессии R |
|------------------------------------|--------------------------|--|-------------------------|
| 0.0 | 723 | $y = -5 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$ | 0,981 |
| | 773 | $y = -5 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$ | 0,988 |
| | 823 | $y = -8 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$ | 0,994 |
| 0.05 | 723 | $y = -2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,019x^2 + 0,878x$ | 0,983 |
| | 773 | $y = -2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,025x^2 + 1,055x$ | 0,990 |
| | 823 | $y = -2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,027x^2 + 1,193x$ | 0,995 |
| 0.1 | 723 | $y = -3 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 + 0,004x^2 + 0,788x$ | 0,991 |
| | 773 | $y = -4 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 + 0,005x^2 + 0,898x$ | 0,995 |
| | 823 | $y = -3 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 - 0,007x^2 + 1,092x$ | 0,997 |
| 0.5 | 723 | $y = -0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,007x^2 + 0,746x$ | 0,992 |
| | 773 | $y = -0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,014x^2 + 0,823x$ | 0,997 |
| | 823 | $y = -0,5 \cdot 10^3 x^4 - 0,001x^3 + 0,004x^2 + 0,999x$ | 0,999 |
| 1.0 | 723 | $y = -0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,012x^2 + 0,756x$ | 0,990 |
| | 773 | $y = -0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,002x^3 + 0,021x^2 + 0,801x$ | 0,996 |
| | 823 | $y = -0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,002x^3 + 0,016x^2 + 0,934x$ | 0,998 |

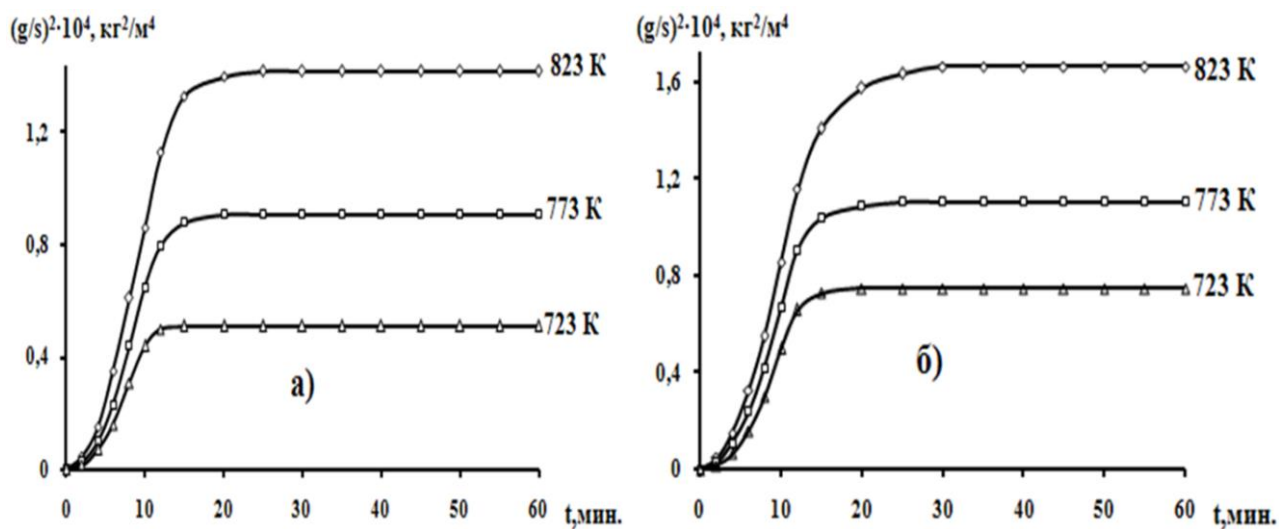


Рисунок 9 - Квадратические кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”)(а) с 0.05(б) мас.% галлием

Таблица 9 - Зависимость кажущейся энергии активации процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием, в твердом состоянии

| Содержание легирующего компонента в сплаве, мас.% | 0,0 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |
|---|-------|-------|-------|-------|------|
| Галлий | 128.5 | 120.3 | 117.8 | 108.5 | 98.9 |
| Индий | | 114.1 | 109.6 | 99.4 | 91.8 |
| Таллий | | 108.9 | 100.3 | 91.5 | 84.1 |

На основании проведенных исследований кинетики окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием, в твердом состоянии установлены следующие закономерности изменения кинетических и энергетических характеристик процесса окисления:

1. установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹;
2. выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления имеют сплавы E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, а максимальные – относятся к сплавам, легированным таллием.

ГЛАВА 4. АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi (АЛДРЕЙ), ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ

Из полученных сплавов отливали в графитовую изложницу стержни диаметром 8мм и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую

часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянной -20⁰С с помощью термостата МЛШ-8.

Для изучения электрохимических свойств четырёх компонентных сплавов применяли следующий метод исследования. Электрохимические испытания образцов проводили потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с, в среде электролита NaCl. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным - платиновый. Образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования. Затем образцы поляризовали в обратном направлении и по пересечению кривых определяли величину потенциала репассивации. Далее шли в катодную область до значения потенциала -1,3В для удаления оксидных плёнок с поверхности электрода в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодной кривой определяли основные электрохимические параметры.

На полученных, таким образом, поляризационных кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал питтингообразования ($E_{п.о.}$), потенциал и ток коррозии ($E_{кор.}$ и $i_{кор.}$). Потенциал репассивации ($E_{р.п.}$), определялось графически как первый изгиб на обратном ходе анодной кривой или как точка пересечения прямого и обратного хода. Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской наклонной $\beta_k = 0,12$ В, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии в свою очередь является функцией тока коррозии, находимой по формуле:

$$K = i_{кор.} \cdot k,$$

где $k = 0.335$ г/А· час для алюминия.

Результаты коррозионно-электрохимических исследований алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, в среде электролита NaCl представлены в таблице 10 и на рисунках 10-12. Результаты исследования, свидетельствуют о том, что добавки галлия от 0.05 до 1.0 мас.% к исходному сплаву AlMgSi (“алдрей”) в исследуемых средах сдвигают потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений и одновременно с этим повышается стойкость сплавов к питтинговой коррозии.

Зависимость скорости коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) от содержания галлия, в среде электролита 0.03, 0.3 и 3.0%-ного NaCl приведён на рисунке 10. Добавки галлия к сплаву E-AlMgSi (“алдрей”) уменьшает скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом рост концентрации электролита NaCl (хлорид-иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рисунок 11). Скорость коррозии и плотность тока

коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) имеют минимальное значение при концентрации 1.0 мас.% галлия. Следовательно, указанный состав сплавов является оптимальным в коррозионном отношении.

Таблица 10 - Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей) с галлием, в среде электролита NaCl

| Среда NaCl, мас.% | Содержание галлия в сплаве, мас.% | Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.) | | | | Скорость коррозии | |
|-------------------|-----------------------------------|--|--------------------|--------------------|-------------------|---|--|
| | | $-E_{\text{св.кор.}}$ | $-E_{\text{кор.}}$ | $-E_{\text{п.о.}}$ | $-E_{\text{рп.}}$ | $i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{ А/М}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/М}^2 \cdot \text{час}$ |
| 0.03 | - | 0,860 | 1,100 | 0,600 | 0,720 | 0,049 | 16,41 |
| | 0.05 | 0,844 | 1,082 | 0,595 | 0,710 | 0,047 | 15,74 |
| | 0.1 | 0,838 | 1,067 | 0,587 | 0,710 | 0,045 | 15,07 |
| | 0.5 | 0,827 | 1,050 | 0,579 | 0,704 | 0,043 | 14,40 |
| | 1.0 | 0,817 | 1,044 | 0,565 | 0,700 | 0,041 | 13,73 |
| 0.3 | - | 0,890 | 1,180 | 0,680 | 0,768 | 0,066 | 22,11 |
| | 0.05 | 0,870 | 1,164 | 0,660 | 0,756 | 0,065 | 21,77 |
| | 0.1 | 0,862 | 1,147 | 0,649 | 0,752 | 0,063 | 21,10 |
| | 0.5 | 0,850 | 1,132 | 0,642 | 0,748 | 0,060 | 20,10 |
| | 1.0 | 0,842 | 1,119 | 0,636 | 0,748 | 0,058 | 19,43 |
| 3.0 | - | 0,919 | 1,240 | 0,735 | 0,800 | 0,082 | 27,47 |
| | 0.05 | 0,902 | 1,224 | 0,720 | 0,780 | 0,080 | 26,80 |
| | 0.1 | 0,894 | 1,217 | 0,710 | 0,776 | 0,077 | 25,79 |
| | 0.5 | 0,886 | 1,210 | 0,704 | 0,769 | 0,075 | 25,12 |
| | 1.0 | 0,879 | 1,200 | 0,696 | 0,760 | 0,073 | 24,45 |

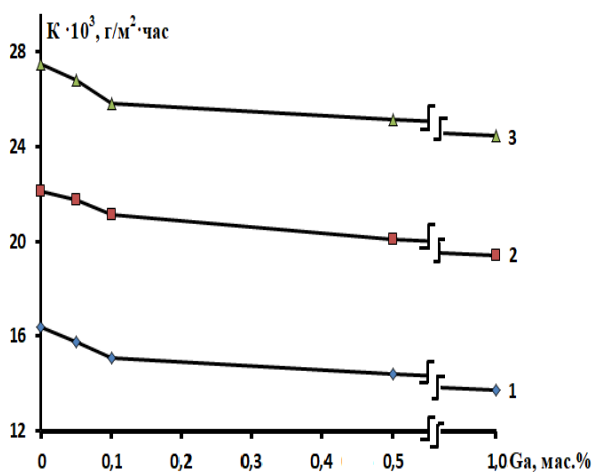


Рисунок 10 - Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) от концентрации галлия, в среде электролита 0,03%(1); 0,3%(2) и 3,0%-ного(3) NaCl

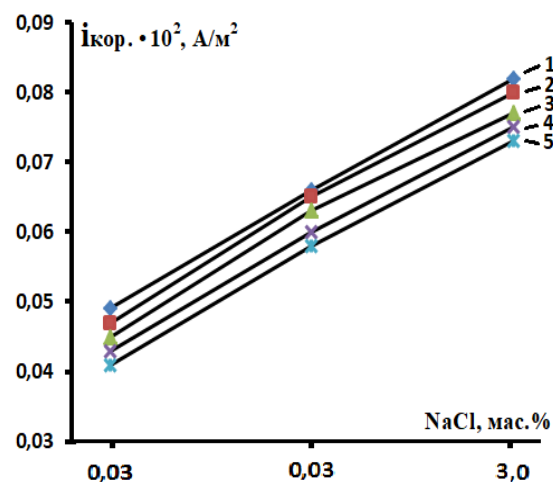


Рисунок 11 - Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) (1), содержащего галлий, мас. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) от концентрации NaCl

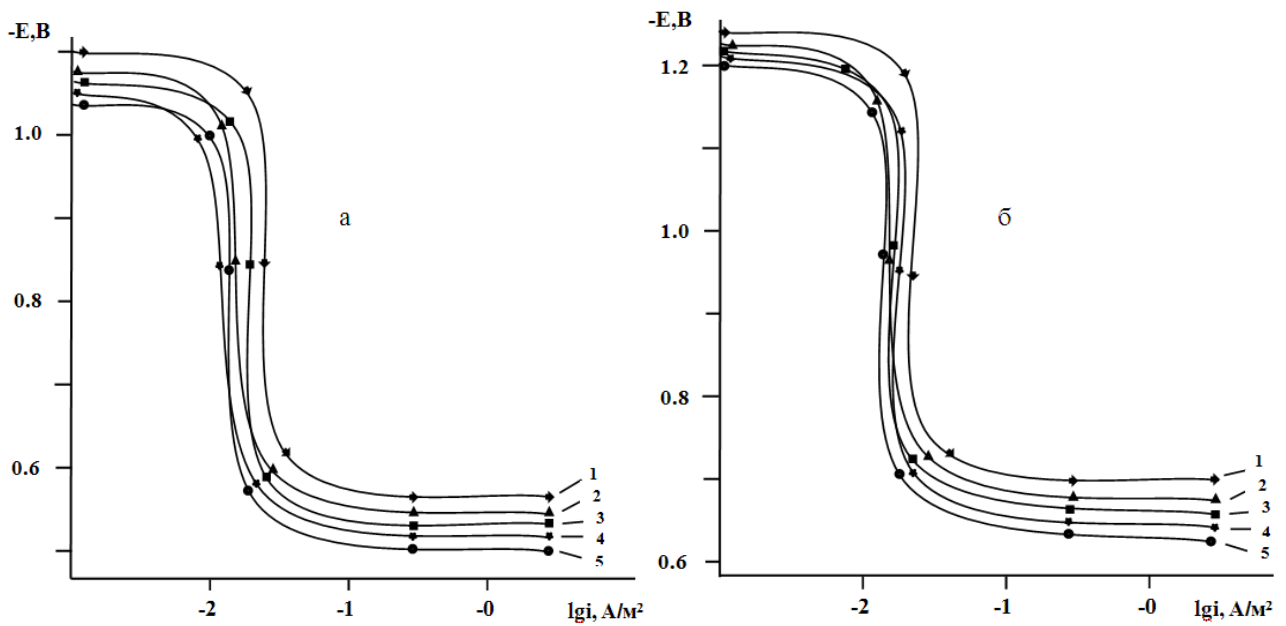


Рисунок 12 - Анодные поляризационные (2мВ/с) кривые алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) (1), содержащего галлий, мас.‰: 0.01(2), 0.05(3), 0.1(4), 0.5(5), в среде электролита 0.03% (а) и 3% - ного (б) NaCl

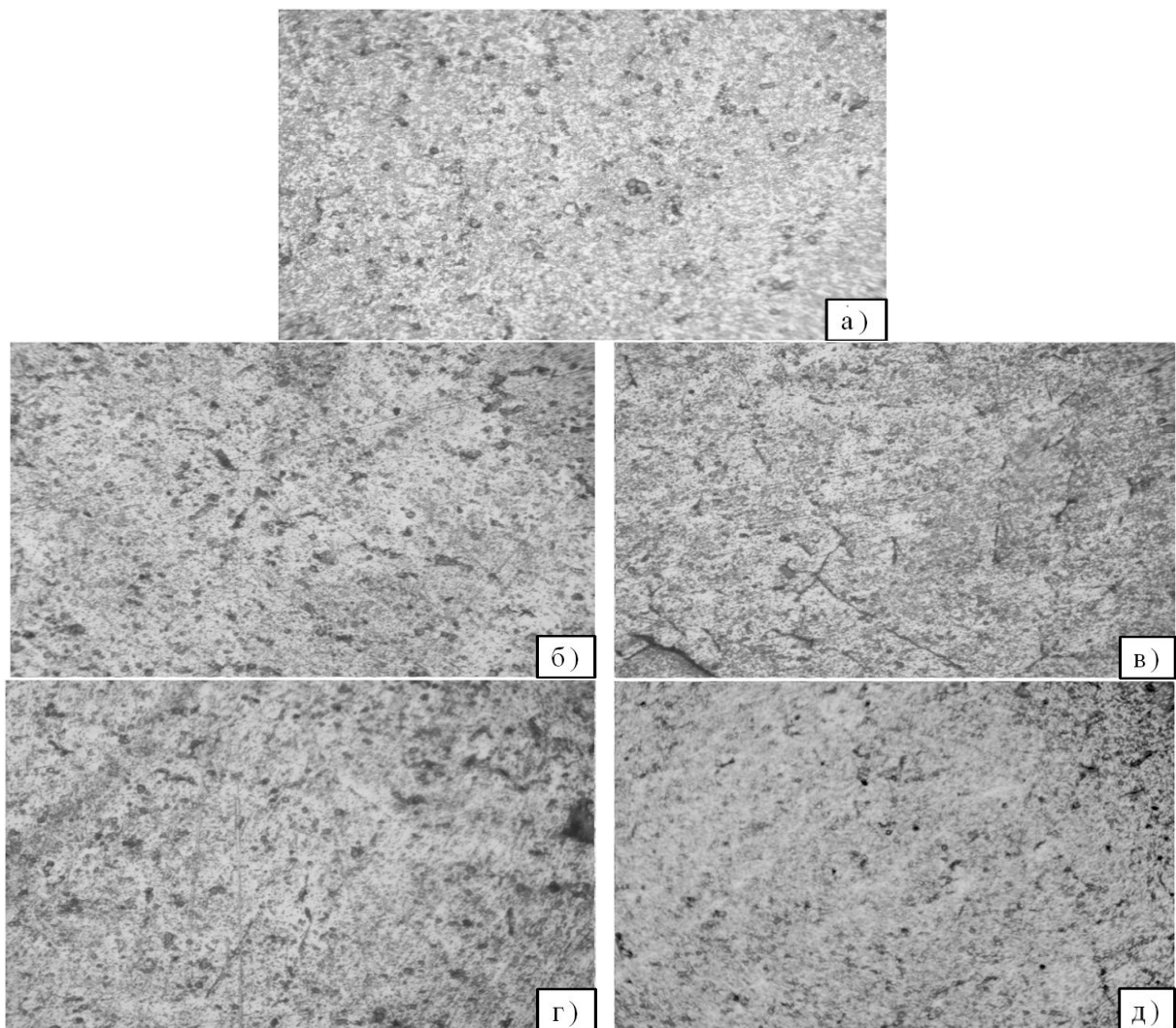


Рисунок 13 - Микроструктуры (x650) сплава E-AlMgSi (“алдрей”) (а), легированного галлием, мас.‰: 0.05(б), 0.1(в), 0.5(г), и 1.0(д)

Сдвиг в положительную область электрохимических потенциалов и снижение скорости коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) при легировании его галлием можно объяснить ростом степени гетерогенности структуры сплавов. Как видно из рисунка 13г,д в микроструктуре сплава E-AlMgSi (“алдрей”), содержащего 0,5 и 1,0 мас.% галлия не наблюдается первичные выделения фазы Mg₂Si. Фаза Mg₂Si у исходного сплава (рисунок 13а) и малолегированных галлием сплавов кристаллизуется в игольчатой форме на фоне твердого раствора алюминия (рисунок 13б).

В таблицах 11 и 12 представлены обобщенные результаты исследования анодного поведения сплавов систем E-AlMgSi –Ga (In, Ta). Потенциал коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с ростом концентрации галлия, индия, таллия смещается в положительном направлении оси ординат. При переходе от слабого электролита к сильному электролиту наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии независимо от содержания легирующего компонента. Так, с увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии исходного сплава E-AlMgSi (“алдрей”), уменьшается от -0.860 В, в среде 0.03 % NaCl до - 0.919 В, в среде 3 %- ного NaCl. Рост концентрации легирующего компонента способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Установленные зависимости характерны для сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с индием и таллием потенциал свободной коррозии и питтингообразования растут (таблица 11).

Таблица 11 - Потенциалы(х.с.э.) свободной коррозии(-E_{св.корр.}, В) и питтингообразования (-E_{п.о.}, В) алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с Ga, In и Ta, в среде электролита NaCl

| Среда NaCl, мас.% | Содержание Ga, In и Ta в сплаве, мас.% | Сплавы с галлием | | Сплавы с индием | | Сплавы с таллием | |
|-------------------|--|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | | -E _{св.корр.} | -E _{п.о.} | -E _{св.корр.} | -E _{п.о.} | -E _{св.корр.} | -E _{п.о.} |
| 0.03 | - | 0,860 | 0,600 | 0,860 | 0,600 | 0,860 | 0,600 |
| | 0.05 | 0,844 | 0,595 | 0,833 | 0,580 | 0,824 | 0,568 |
| | 0.1 | 0,838 | 0,587 | 0,820 | 0,568 | 0,810 | 0,557 |
| | 0.5 | 0,827 | 0,579 | 0,809 | 0,557 | 0,801 | 0,545 |
| | 1.0 | 0,817 | 0,565 | 0,800 | 0,544 | 0,792 | 0,532 |
| 0.3 | - | 0,890 | 0,680 | 0,890 | 0,680 | 0,890 | 0,680 |
| | 0.05 | 0,870 | 0,660 | 0,861 | 0,648 | 0,852 | 0,636 |
| | 0.1 | 0,862 | 0,649 | 0,852 | 0,637 | 0,845 | 0,625 |
| | 0.5 | 0,850 | 0,642 | 0,843 | 0,629 | 0,836 | 0,614 |
| | 1.0 | 0,842 | 0,636 | 0,830 | 0,620 | 0,822 | 0,606 |
| 3.0 | - | 0,919 | 0,735 | 0,919 | 0,735 | 0,919 | 0,735 |
| | 0.05 | 0,902 | 0,720 | 0,895 | 0,708 | 0,888 | 0,694 |
| | 0.1 | 0,894 | 0,710 | 0,887 | 0,700 | 0,879 | 0,680 |
| | 0.5 | 0,886 | 0,704 | 0,878 | 0,691 | 0,868 | 0,668 |
| | 1.0 | 0,879 | 0,696 | 0,870 | 0,680 | 0,860 | 0,656 |

С ростом концентрации хлорид-иона увеличивается плотность тока коррозии и соответственно, скорость коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. Наблюдается снижение скорости коррозии при переходе от сплавов с галлием к сплавам с индием. Для сплава E-AlMgSi (“алдрей”) также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации Cl⁻ в электролите (таблица 12).

Таблица 12 - Зависимость плотности тока коррозии и скорости коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с Ga, In и Ta, в среде электролита NaCl

| Среда NaCl, мас.% | Содержание Ga, In и Ta в сплаве, мас.% | Скорость коррозии | | | | | |
|-------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| | | сплавов с Ga | | сплавов с In | | сплавов с Ta | |
| | | $i_{корр.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{корр.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{корр.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ |
| 0.03 | - | 0,049 | 16,41 | 0,049 | 16,41 | 0,049 | 16,41 |
| | 0.05 | 0,047 | 15,74 | 0,046 | 15,41 | 0,043 | 14,40 |
| | 0.1 | 0,045 | 15,07 | 0,044 | 14,74 | 0,040 | 13,40 |
| | 0.5 | 0,043 | 14,40 | 0,042 | 14,07 | 0,038 | 12,73 |
| | 1.0 | 0,041 | 13,73 | 0,040 | 13,40 | 0,036 | 12,06 |
| 0.3 | - | 0,066 | 22,11 | 0,066 | 22,11 | 0,066 | 22,11 |
| | 0.05 | 0,065 | 21,77 | 0,064 | 21,44 | 0,062 | 20,72 |
| | 0.1 | 0,063 | 21,10 | 0,061 | 20,43 | 0,060 | 20,10 |
| | 0.5 | 0,060 | 20,10 | 0,059 | 19,76 | 0,058 | 19,43 |
| | 1.0 | 0,058 | 19,43 | 0,057 | 19,09 | 0,056 | 18,76 |
| 3.0 | - | 0,082 | 27,47 | 0,082 | 27,47 | 0,082 | 27,47 |
| | 0.05 | 0,080 | 26,80 | 0,075 | 25,12 | 0,073 | 24,45 |
| | 0.1 | 0,077 | 25,79 | 0,073 | 24,45 | 0,071 | 23,78 |
| | 0.5 | 0,075 | 25,12 | 0,071 | 23,78 | 0,069 | 23,19 |
| | 1.0 | 0,073 | 24,45 | 0,068 | 22,78 | 0,066 | 22,11 |

Таким образом, установлено, что анодная устойчивость повышается на 30-40%, при легировании Ga, In и Ta до 1.0 мас.% алюминиевого сплава E-AlMgSi (“алдрей”), в среде электролита NaCl.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Показано, что с ростом легирующего компонента теплоемкость сплавов уменьшается, от температуры растёт. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с таллием величина теплоемкость уменьшается [1, 3, 7, 8, 9-А].

2. Исследованиями температурных зависимостей изменения термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием, индием и таллием показано, что при переходе от сплавов с галлием к сплаву с таллием величины энтальпии и энтропии уменьшаются. С ростом температуры энтальпия и энтропия сплавов растёт, значение энергии Гиббса уменьшается. Изменение теплоемкости и термодинамических функций сплавов объясняется ростом гетерогенности структуры сплавов при их легировании [1, 3, 10-А].

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием, индием и таллием. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гипербалическому закону с истинной скоростью окисления порядка 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹; выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления имеют сплавы E-AlMgSi («алдрей») с галлием, а максимальные – относятся к сплавам с таллием. Среди легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации характерно для сплавов с таллием.

4. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием, индием и таллием. Показано, что добавки легирующего компонента в количествах от 0.05 до 1.0 мас.%, на 30-40% повышают коррозионную стойкость сплавов алюминия в нейтральной среде электролита NaCl. Показано, что добавки галлия, индия и таллия к сплаву E-AlMgSi («алдрей») повышают значение электрохимических потенциалов, в среде электролита NaCl. При этом отмечено, что с ростом концентрации хлорид-иона в электролите значение потенциалов уменьшаются и скорость коррозии сплавов растут [2, 11-А].

5. На основе преведённых исследований разработанны составы новых сплавов и защищены малыми патентами Республики Таджикистан №Tj1058 от 14.02.2020г., №Tj1059 от 25.07.2019г. и №Tj1099 от 12.03.2020г., которые прошли опытно-промышленное испытание в ООО «Нокили ТАлКо» (акт от 15.06.2020г.). Экономическая эффективность от использования 1000 тн разработанного сплава при утонщении сечении проводов на 10% составляет 200 000\$ США [4, 5, 6-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1. На основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов подгруппы галлия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с галлиевым покрытием имеют самый низкий показатель коррозии;

2. Разработанные сплавы и способы их получения рекомендуется для использования предприятиям промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан;

3. Опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[1-А]. Ганиев, И.Н. Теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием / И.Н. Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О. Одиназода, А.М. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.- 2019.- Т. 22.- № 3.- С. 219-227 (**Scopus**).

[2-А]. Ганиев, И.Н. Коррозия алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного индием / И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров, Р.Усмонов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.- 2019.- Т. 22.- № 3.- С. 2-7 (**Scopus**).

[3-А]. Ганиев, И.Н. О коэффициенте теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с индием / И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, **Ф.А. Алиев** // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук.- 2020.- № 2/2 (73).- С.

Изобретений:

[4-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1058. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, А.П.Абдулаков, Дж.Х.Дажйлоев, У.Ш.Якубов, Н.И.Ганиева, **Ф.А. Алиев**, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов / Приоритет изобретения от 25.07.2019 (дата госрегистрации 14.02.2020).

[5-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1059.Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, А.П.Абдулаков, А.М.Сафаров, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов, Ф.С.Давлатзода / Приоритет изобретения от 25.07.2019 (дата госрегистрации 14.02.2020).

[6-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1099.Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, А.П.Абдулаков, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, Н.И. Ганиева, **Ф.А. Алиев**, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов / Приоритет изобретения от 12.03.2020 (дата госрегистрации 24.06.2020).

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[7-А]. Ганиев, И.Н. Теплоемкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с индием /

И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научной конф. «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан». Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими.- 2019.- С. 23-27.

[8-А]. **Алиев, Ф.А.** Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием / Ф.А.Алиев, И.Н.Ганиев, А.М.Сафаров, А.П.Абдулаков, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Роль народного творчество в развитии и устойчивости национальной культуры», посвящённого объявлению 2019-2021гг. годам развития, деревня, туризма и народного творчество».- ТГПУ им. С. Айни.- 2019.- С. 263-267.

[9-А]. **Алиев, Ф.А.** Влияние добавок галлия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Х.О. Одиназода, Дж.Х. Джайлоев // Мат. Межд. конф. «Современные проблемы физики».- Физико-технический институт им. С.У. Умарова.- 2020.- С.

[10-А]. **Алиев, Ф.А.** Термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Мат. Межд. конф. «Современные проблемы физики».- Физико-технический институт им. С.У. Умарова.- 2020.- С.

[11-А]. **Алиев, Ф.А.** Потенциал свободной коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного индием / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Мат. Респ. научн-практ. конф. «Инновационное развитие науки», с участием международных организации, НАНТ.- 2020.- С.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН**

Бо ҳуқуқи дастнавис
УДК 620.193+669.715

АЛИЕВ Фирдавс Алиевич

**ХОСИЯТҲОИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ НОҚИЛИИ E-AlMgSi
("АЛДРЕЙ") БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ЗЕРГУРҶҲИ ГАЛЛИЙ**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосҳои
05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника),
05.17.03 – Технологияи равандҳои электрохимиявӣ ва
муҳофизат аз коррозия**

Душанбе – 2020

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

Роҳбари илмӣ: доктори илмҳои техникӣ, профессор, директори Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Сафаров Аҳрор Мирзоевич

Мушовири илмӣ: доктори илмҳои химия, профессор, академики АМИТ, роҳбари маркази «Маводшиносӣ ва мошинсозӣ» институти «Политехник»-и Донишгоҳи техникӣ Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
Ғаниев Изатулло Наврузович

Муқарризони расмӣ: доктори илмҳои химия, дотсент, мудирӣ кафедраи «Химияи органикӣ ва биология»-и Донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Н. Хусрав
Ғафуров Бобомурод Абдуқаҳорович

номзади илмҳои техникӣ, дотсент, декани факултети механикакунонии хоҷагии халқи Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур
Мирзоев Шамсулло Изатович

Муассисаи пешбар: Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А. Рудакӣ

Ҳимояи диссертатсия 21 декабри соли 2020, соати 11⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти кимиёи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ба номи В.И. Никитин шинос шавед: www.chemistry.tj

Автореферат санаи « ____ » _____ соли 2020 тавзеъ шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои химия



Маҳкамов Ҳ.Қ.

МУҚАДДИМА

Мубрамии таҳқиқот. Алюминий ва хўлаҳои он дар соҳаи электротехника ба сифати маводи ноқили ҷараёни электрикӣ ва конструксионӣ васеъ истифода бурда мешаванд. Алюминий ҳамчун ноқили барқӣ, дорои гузариши баланди электрикӣ ва гармӣ мебошад (пас аз мис, дар байни ҳама металлҳои аз ҷиҳати техникӣ истифодашаванда сатҳи баландтарин). Алюминий инчунин бо зичии кам, муқовимати баланди ба зангзани тобоварм дар шароити атмосфера, муқовимати баланд ба моддаҳои кимиёвӣ хос аст.

Бартари дигари алюминий дар он аст, ки вай ба маводҳои гарминигоҳдоранда ба монанди раған, лак ва термопластика рафтори бетараф дорад, ҳатто дар ҳарорати баланд. Алюминий аз дигар металлҳо бо хассосияти пасти магнитӣ, инчунин пайдоиши маҳсулоти хокаи ба осонӣ ҷудошаванда (Al_2O_3) дар камонҳои электрикӣ фарқ мекунад.

Дарачаи омӯзиши истифодаи алюминий ва хўлаҳои он ба ҳайси мавод барои дастгоҳҳои коммутатсионӣ, хати интиқоли барқ, рӯйпӯшҳо ва коммутаторҳо ва ғ. таҳти қоидаҳои махсус ё қоидаҳои умумии тарроҳӣ рӯя карда мешаванд.

Мавҷудияти иқтисодии истифодаи алюминий ба сифати маводи гузаранда бо таносуби мусоиди арзиши он ба арзиши мис шарҳ дода мешавад. Ғайр аз ин, бояд як омилро ба назар гирифт, ки арзиши алюминий дар тӯли солҳои зиёд қариб ки тағир намеёбад.

Ҳангоми истифодаи хўлаҳои алюминийи барқӣ барои сохтани сими хуб, ба монанди симҳои печ ва ғайра. аз сабаби нокифоягии онҳо ва шумораи ками хамсаҳо пеш аз нобудшавӣ, баъзе мушкилот ба миён меоянд.

Дар солҳои охир, хўлаҳои алюминийи коркард карда шуданд, ки ҳатто дар ҳолати нарм хусусиятҳои мустаҳкам доранд, ки онҳоро ҳамчун ноқили барқӣ истифода мебаранд.

Яке аз хўлаҳои алюминийи ин хўлаи E-AlMgSi ("алдрей") мебошад, ки ба хўлаҳои сахтбовар ва устувор ҳангоми коркарди термодинамикӣ тааллуқ дорад. Он бо қувваи баланд ва чандирии хуб тавсиф мешавад. Ин хўла бо коркарди дурусти гармӣ қувваи барқи баландро ба даст меорад. Ноқилҳои аз он сохташуда танҳо барои хатҳои интиқоли барқ истифода мешаванд.

Азбаски хатҳои интиқоли барқ аз алюминий ва хўлаҳои он дар фазои кушод истифода карда мешаванд, масъалаҳои баланд бардоштани муқовимат ба зангзани онҳо **масъалаи мубрам** мебошанд.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот муқарар намудани вобастагии ҳароратии хусусиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хўлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудааст, барои эҳтиёҷоти саноати электрикӣ пешбинӣ шудааст.

Масъалаҳои таҳқиқот:

- омӯختани вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат ва тағирёбии функсияҳои термодинамикии хўлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ва таҳияи таркиби хўлаи нав;

- омӯхтани хосияти кинетикаи оксидшавиҳои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва таллий, дар ҳолати сахт ва муайян кардани механизми оксидшавии онҳо;

- муайянкунии таҷрибавии таъсири галий, индий ва таллий ба рафтори аноди хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), дар муҳити электролити NaCl;

- коркарди таркиби хӯлаҳои чорчанда дар асоси хосиятҳои структуравӣ, гармиғунҷоишӣ, физикию химиявӣ ва муайянкунии соҳаҳои истифодабарии онҳо.

Объекти таҳқиқоти ин хӯлаи алюминийи гузаранда E-AlMgSi (aldrey) бо таркиби Al + 0.5Si + 0.5Mg (wt%), инчунин галлийи металлӣ, индий ва таллий мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот ин хӯлаи алюминийи ноқилии E-AlMgSi ("aldrey") буда, бо галлий, индий ва таллий мебошад.

Усулҳои таҳқиқот. Барои хӯлаҳои таҳқиқшуда нишондиҳандаҳои зерин чен карда шуданд: иқтидори гармии ҳар як хӯла дар ҳолати "хунуккунӣ". Усулҳои потенциостатикӣ (асбоби ПИ-50.1.1), фазаи рентгенӣ (РФА), металлографӣ ва термогравиметрии таҳлили намунаҳои хӯла истифода шуданд. Натиҷаҳои бадастомада бо усулҳои математикӣ дар барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot 10 коркард карда шуданд.

Соҳаи таҳқиқот ин маводшиносӣ ва технологияи синтези хӯлаҳои нави алюминийи ноқилии навъи E-AlMgSi ("aldrey") бо унсурҳои зергурӯҳи галлий мебошанд.

Марҳилаҳои таҳқиқот синтез ва сертификатсияи хӯлаҳои алюминийи нав, омӯзиши микроструктураи онҳо, омӯхтани хусусиятҳои ҳароратӣ, термофизикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи алюминийи ноқилии E-AlMgSi ("aldrey") бо галлий, индий ва таллий мебошад.

Пойгоҳи асосии иттилоотӣ ва озмоишии таҳқиқот. Тадқиқотҳои таҷрибавӣ бо истифодаи таҷҳизоти маъруфи илмӣ гузаронида шуданд: набзи потенциостати ПИ-50-1.1; тавозуни термогравиметрӣ; дастгоҳ барои чен кардани иқтидори гармии ҷисмҳои сахт дар ҳолати "хунуккунӣ", микроскопи металлографӣ (БИОМЕД-2). Коркарди математикии натиҷаҳо бо истифода аз бастаи стандартӣ барномаҳо ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot амалӣ карда шуд.

Этимоднокии натиҷаҳои диссертатсионӣ. Саҳеҳияти натиҷаҳои тадқиқот тавассути истифодаи усулҳои муосири тадқиқот бо истифода аз асбобу дастгоҳҳои замонавӣ ва такмилдодашуда, бозтавлидии кифоякунандаи онҳо ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти дигар муаллифон, таъмин мегардад.

Навгониҳои илмии таҳқиқот. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропии, энергия Гиббса) хӯлаи алюминийи ноқилии E-AlMgSi («алдрей») бо галий, индий ва таллий вобаста аз ҳарорат ва миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашуда муқаррар карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи алюминийи ноқилии E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва таллий афзоиш меёбад, дар ҳоле ки энергияи Гиббс коҳиш меёбад. Бо

зиёд шудани ҳиссаи галий, индий ва таллий дар хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), энталпия ва энтропия кам мешавад ва энергияи Гиббс меафзояд.

Муайян карда шуд, ки бо афзоиши ҳарорат, дараҷаи оксидшавии хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий дар ҳолати сахтӣ меафзояд. Сатҳи оксиди доимӣ ба 10^{-4} кг/м²*с⁻¹ баробар аст. Муайян карда шуд, ки оксиди хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ба қонуни гиперболикӣ итоат мекунад.

Боусули потенциостатикӣ дар ҳолати потенциодимикӣ бо суръати тобиши потенциал (2 мВ/с) муайян карда шудааст, ки илова кардани компоненти чавҳардор то 1,0 % - и вазн, ба коррозия устувории хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") - ро 20-30% зиёд менамояд. Ҳамзамон, тағйирёбии тамоми потенциалҳои электрикӣ ба қайд гирифта шудааст. Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои галий чавҳаронидашуда ба хӯлаҳо бо индий ва таллий чавҳаронидашуда, коҳиш (барои хӯлаҳо бо 1,0 % - и вазн иловагӣ) арзиши потенциалӣ ва камшавии суръати занг ба қайд гирифта мешавад.

Арзиши назарии таҳқиқот. Дар диссертатсия чанбаҳои назарии таҳқиқот: исботи таъсири сохторҳо, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии тавсифоти коррозсионӣ-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва таллий баён шудааст.

Аҳамияти амалии таҳқиқот. Таҳқиқотҳои гузаронидашуда имкон доданд, ки таркибҳои хӯлаҳо, ки бо ҳароратҳои баланд оксидшаванда дар ҳарорати баланд тавсиф мешаванд, интихоб карда шаванд ва концентратсияи оптималии иловаҳои чавҳардори (галий, индий ва талий) барои баланд бардоштани устувории коррозсионӣ хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») баён шудааст.

Умуман, дар асоси тадқиқоти гузаронидашуда, таркибҳои алоҳидаи хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий бо нахустпатентҳои хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда мешаванд.

Нуктаҳои ҷимояшавандаи диссертатсия:

- Натиҷаҳои таҳқиқи вобастагии ҳароратии қобилияти гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий;

- Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ чараёни оксидшавии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ва инчунин механизми оксидшавии онҳо. Натиҷаҳои муайянсозии маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо ва муайян кардани нақши онҳо дар ташаккули механизми оксидшавӣ;

- Вобаста аз хусусиятҳои анодӣ ва дараҷаи зангзании хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий чавҳаронидашуда аз концентратсияи элементи модифитсиронанда, дар муҳити электролитии NaCl;

- таркиби хоси хӯлаҳо, ки бо оксидшавии пастарин фарқ мекунанд ва муқовимати афзояндаи зангзанӣ тавсиф мешаванд, яъне ба коррозия устуворанд ҳамчун маҳсулоти ноқил барои истеҳсоли маҳсулоти электротехникӣ аҳамиятдоранд.

Саҳми шахсии докталаб дар таҳлили маълумоти маъмули илмӣ, дар гузориши масъала ва ҳалли масъалаҳои тадқиқот, омодакунӣ ва гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлил ва коркарди натиҷаҳои ба даст оварда, муайян намудани масъалаҳои асосӣ ва таҳияи хулосаҳои диссертатсия мебошад.

Таъйиди диссертатсия ва иттилоот оид ба истифодаи натиҷаҳои он. Натиҷаҳои асосии диссертатсия дар конференсиҳои зерин мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд:

Рес. научной конф. «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан», Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2019); Респ. научно-практ. конф. «Роль народного творчество в развитии и устойчивости национальной культуры» посвящённый объявлению 2019-2021гг. Годам развития, деревня, туризма и народного творчество», ТГПУ имени С. Айни (Душанбе, 2019); VII Межд. конф. «Современные проблемы физики», Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ (Душанбе, 2020); Респ. научн-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий» посвящ. 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук, РТСУ (Душанбе, 2020).

Интишоори натиҷаҳои диссертатсия. Аз рӯйи мавзӯи диссертатсия 8 мақола, аз ҷумла 3 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 5 мақола дар маводи конференсияҳо нашр шуда, 3 Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, чор боб, хулосаҳо ва замима иборат аст. Диссертатсия аз 154 саҳифаи компютерӣ, ки дорои 49 ҷадвал, 78 расм ва 86 номгӯи сарчашмаҳои адабиёт аст, баён шудааст.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар муқаддима масъалаҳои марбут ба кор ва муаммоҳои атрофи он сухан рафта, муҳимияти интихоби мавзӯ ва сохтори он кушода шудаанд.

Дар боби аввал сохтори ташаккули ҳӯлаҳои алюминий бо галлий, индий ва таллий тасвир шудааст; гармиғунҷоиши алюминий, магний, галлийи кремний, индий ва таллий; хусусиятҳои асосии оксидшавӣ ва рафтори коррозия-электрохимиявии ҳӯлаҳои алюминий бо галлий ва индий дар муҳитҳои гуногун. Дар асоси ин баррасӣ, нишон дода шудааст, ки гармиғунҷоиши ҳоси алюминий, магний, кремний, галлий, индий ва таллий хуб омӯхта шудааст. Дар бораи таъсири ҳарорат ва тозагии металлҳо ба ҳосиятҳои термикӣ ва термофизикии онҳо маълумот мавҷуд аст. Аммо, дар адабиёт маълумот дар бораи гармиғунҷоиш ва ҳосиятҳои термодинамикӣ, рафтори зангзанӣ-электрохимиявӣ ва хусусиятҳои оксидшавии ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi («алдрей») бо галлий, индий ва таллий мавҷуд нест.

Ҳамин тариқ, аз сабаби набудани маълумоти систематикӣ дар бораи ҳосиятҳои физико-кимиёвии ҳӯлаи алюминии ноқили E-AlMgSi («алдрей») бо галлий, индий ва таллий, охири хамчун объекти таҳқиқот дар ин қори рисола гирифта шудааст.

Дар боби дуоюм натиҷаи тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галлий, индий ва таллий оварда шудаанд.

Боби сеюм ба масъалаҳои омӯзиши амалии кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галлий, индий ва таллий дар ҳолати сахтӣ бахшида шудааст.

Дар боби чорум натиҷаҳои тадқиқоти потенциостатикии хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галлий, индий ва таллий дар муҳити электролити NaCl оварда шудаанд.

БОБИ 2. ТАҲҚИҚОТИ ХОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКАВӢ ВА ТАҒЙИРӢБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИ НОҚИЛИИ E-AlMgSi (АЛДРЕЙ) БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

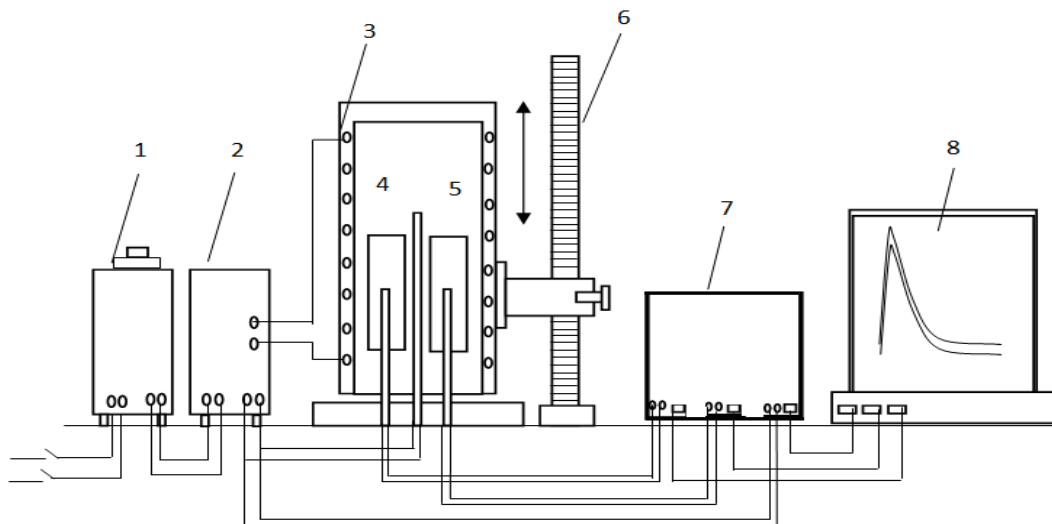
Дар адабиётҳо мо маълумот дар бораи хусусиятҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий чавҳаронида ёфт нашуд. Дар робита ба ин, ҳадафи ин таҳқиқот муайян кардани таъсири иловаҳои галлий, индий ва таллий ба гармиғунҷоиш ва тағирот дар функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi ("алдрей") мебошад. Синтези хӯлаҳо дар оташдони муқовимати лаборатории намуди СШОЛ дар ҳарорати 750 - 800 °C гузаронида шуд, ҳосил карда шудааст. Ҳамчун синтези хӯлаи ҳангоми бадастовариҳои хӯлаи E-AlMgSi, мо алюминийи тамғаи А6 -ро истифода мебардем, ки ба таври иловагӣ бо миқдори ҳисобшудаи кремний ва магний омехта карда шуд. Ҳангоми илова кардани алюминий бо кремний, кремнийе, ки дар алюминийи аввалия мавҷуд аст (ба андозаи 0,1%) ба назар гирифта шуд. Магний, ки бо фолгаи алюминий печонида шудааст, бо истифода аз занг ба гудозиши алюминий ворид карда шуд.

Галлийи металлӣ, индий ва таллий ба гудохтаҳо бо фолгаи алюминий печонида шуда буданд. Таҳлили химиявии хӯлаҳои ба даст овардашуда барои таркиби кремний ва магний дар озмоишгоҳи марказии Корхонаи воҳиди давлатии «Ширкати Алюминийи Тоҷик» гузаронида шуд. Таркиби хӯлаҳо инчунин бо тарозуи заряд ва хӯлаҳои бадастомада назорат мешуд. Таҳқиқот нишон дод, ки фарқи массаҳо аз 1 - 2% зиёд мешуд, ин намунаҳо аз нав гудохта мешудаанд. Сипас, аз хӯлаҳои гудохта бо усули рехтагирӣ дар қолабҳои графити намунаҳои силиндрӣ диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм намунаҳоро барои омӯختани гармиғунҷоиши хосиятҳо шлакро аз гудохта тоза карда барои омӯзиши гармиғунҷоиш тайёр карда шуд.

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳе гузаронида шуд, ки тарҳи он дар расми 1² оварда шудааст. Дастгоҳ аз ҷузъҳои зерин иборат аст: кӯраи баркии (3) ба пояи (6) маҳкам карда шудааст, ки метавонад ба боло ва поён давр занад (ақрабак самти даврзаниро нишон медиҳад). Намуна (4) ва эталон (5) (ки ҷой иваз карда метавонанд) силиндри дарозии 30 мм ва диаметраш 16 мм

²Патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ 877 «Насб барои муайян кардани гармиғунҷоиши ва гузаронандаи гармии ҷисмҳои сахт», приоритет изобретения от 20.04.2017 г.

мебошад. Ба сӯрохии як нӯги намуна термопараҳо гузошта мешавад. Охири термопараҳо ба ҳароратсанҷҳои рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 ва 9) васл шудаанд.



Расми 1 – Дастгоҳ барои муайянкунии гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт дар речаи «хунуккунӣ».

Қӯраи барқи тавассути автотрансформатор (1) ба кор дароварда, ҳарорати заруриро бо ёрии танзимкунандаи ҳарорат (2) чен карда мешавад. Аз рӯи нишондоди ҳароратсанҷи рақамии «Digital Multimeter DI9208L» қимати ҳарорати аввала ба қайд гирифта мешавад. Намунаи ва эталонро ба гармкунаки ворид намуда, то ҳарорати зарурӣ гарм карда, ҳароратро бо нишондоди ҳароратсанҷи рақамии «Digital Multimeter DI9208L», ки бо компютери (10) васл шудааст, назорат карда мешавад. Баъдан намунаи ченшаванда ва эталонро дар як вақт аз дохили қӯраи барқӣ берун карда, аз ҳамон лаҳза камшавии ҳарорат ба қайд гирифта мешавад. Нишондоди ҳароратсанҷҳои рақамии дар компютер (10) дар давоми вақти мушоҳида (10 с) сабт карда мешавад.

Барои чен кардани ҳарорат аз ҳароратсанҷи рақамии чандканалӣ истифода карда шуд, ки имкон дод, ки натиҷаҳои ченкунӣ мустақиман дар компютер дар шакли чадвал сабт карда шаванд. Дурустии ченкунии ҳарорат $0,1^\circ\text{C}$ буд. Ҳатогии нисбӣ ҳангоми чен кардани ҳарорат дар диапазони аз 40°C то $400^\circ\text{C} \pm 1\%$ буд. Ҳатогии чен кардани иқтидори гармӣ бо усули пешниҳодшуда, вобаста аз ҳарорат аз 4-6% зиёд намешавад.

Натиҷаи тадқиқотҳо бо истифода аз барномаҳои компютери «MSExcel» истифода шудааст. Барои соختани графикҳо бо истифода аз барномаҳои компютери «Sigma Plot» коркард карда шудаанд. Дар ин қиматҳо коэффитсиенти коррелятсия ба $R_{\text{корр}} > 0,989$ баробар мешавад.

Натиҷаҳои эксперименталии вобастагии ҳарорат аз вақти хунукшавии бо муодилаи зерин тавсиф карда мешавад:

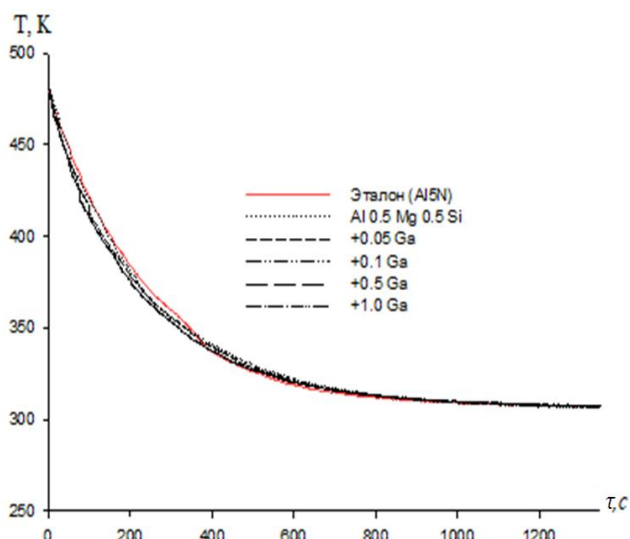
$$T = ae^{-br} + pe^{-kr}, \quad (1)$$

дар ин ҷо, a, b, p, k – бузургӣҳо; τ – вақти хунукшавӣ.

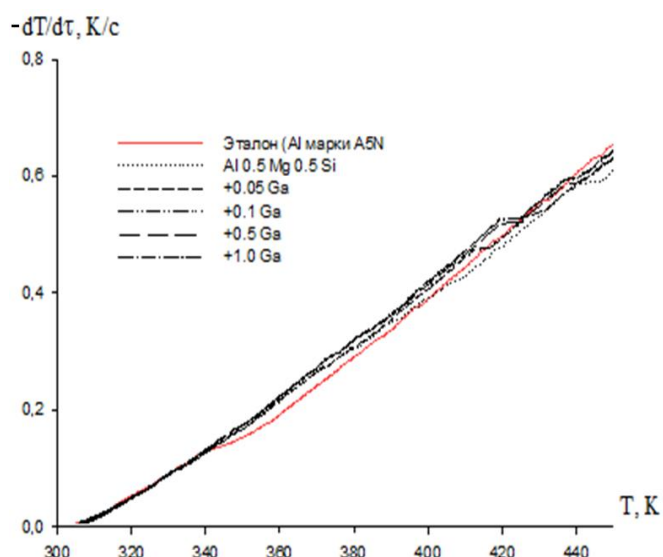
Вобаста ба муодилаи (1) бо τ , муодила барои муайян намудани суръати хунуккунии хӯлаҳоро дар намуди зерин ҳосил мекунем:

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

Муодилаи (2) барои ҳисоб кардани суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий чавҳаронида шуда, ҳисоб карда шудааст, ки дар расми 3 оварда шудаанд. Қимати коэффисентҳои a , b , p , k , ab , pk бо муодилаи (2) барои таҳқиқи хӯлаҳо дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.



Расми 2 – Вобастагии ҳарорат аз суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)



Расми 3 – Вобастагии ҳарорати суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

Ҷадвали 1 – Қимати зарифҳои a , b , p , k , ab , pk дар муодилаи (2) барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

| Миқдори галлий дар хӯла, вазн% | a , К | $b \cdot 10^{-3}$, c^{-1} | p , К | $k \cdot 10^{-5}$, c^{-1} | $ab \cdot 10^{-1}$, Kc^{-1} | $pk \cdot 10^{-3}$, Kc^{-1} |
|--------------------------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Хӯлаи E-AlMgSi | 165,61 | 4,46 | 314,72 | 2,27 | 7,38 | 7,14 |
| 0.05 Ga | 172,18 | 4,55 | 314,99 | 2,20 | 7,83 | 6,92 |
| 0.1 Ga | 159,14 | 4,71 | 314,85 | 2,02 | 7,49 | 6,35 |
| 0.5Ga | 153,82 | 4,64 | 313,99 | 1,81 | 7,13 | 5,67 |
| 1.0 Ga | 159,234 | 4,73 | 315,17 | 2,10 | 7,54 | 6,62 |
| Эталон | 494,26 | 5,01 | 319,92 | 2,57 | 0,25 | 8,23 |

Ғайр аз ин, мувофиқи қиматҳои ҳисобшудаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳо, мувофиқи муодилаи (3), гармиғунҷоиши хоси хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ва стандарт (Al тамғаи A5N) чавҳаронида шудааст:

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (8)$$

дар ин ҷо $m_1 = \rho_1 V_1$ – вазни намунаи якум, $m_2 = \rho_2 V_2$ – вазни намунаи дуюм, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ – суръати хунукшавии намунаҳо ҳангоми ҳарорати додашуда.

Гузaronидани регрессияи полиномӣ, барои вобастагии ҳароратӣ ба гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий омехта кардашуда муодилаи зерин (4) ба даст оварда шуд:

$$C_{P_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (4)$$

Қиматҳои зарибҳои a, b, c, d муодилаи (4) дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Ҷадвали 2 – Қиматҳои зарибҳои a, b, c, d ба муодилаи (4) барои намунаҳои хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ҷавҳаронида шуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

| Миқдори галлий дар хӯла, %-и вазнӣ | a , Дж/кг·К | b , Дж/кг·К ² | c , Дж/кг·К ³ | $d \cdot 10^{-4}$, Дж/кг·К ⁴ | Зариби коррелясионӣ R |
|------------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|--|-----------------------|
| Хӯла E-AlMgSi | -10394,96 | 84,30 | 0.21 | 1.71 | 0.9925 |
| 0.05 Ga | -10394,96 | 82,90 | -0,20 | 1,66 | 0.9899 |
| 0.1 Ga | -13788,22 | 106,85 | -0,26 | 2,11 | 0.9950 |
| 0.5 Ga | -19463,50 | 152,21 | -0,38 | 3,15 | 0.9980 |
| 1.0 Ga | -10147,32 | 78,49 | -0,19 | 1,51 | 0,9989 |
| Эталон | 645.88 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 1.0 |

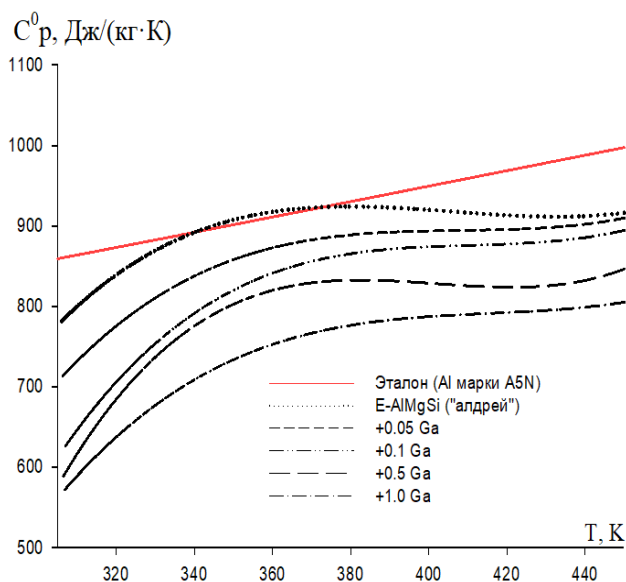
Натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳо бо формулаи (3) пас аз 25 К дар ҷадвали 3 ва дар расми 4 оварда шудаанд. вобастагии гармиғунҷоиши хӯлаҳо аз концентратсияи галлий дар хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") кам шуда, бо зиёдшавии ҳарорат меафзояд.

Ҷадвали 3 – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси кДж/(кг·К) хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий ва ҷавҳаронида шудааст ва эталон (Al тамғаи А5N)

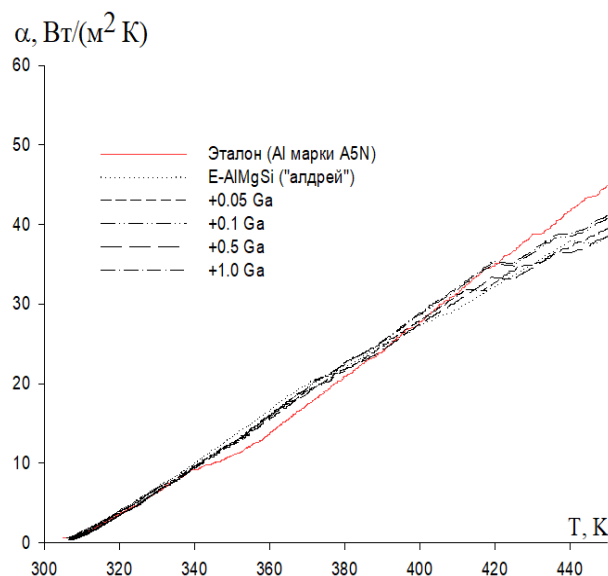
| Миқдори галлий дар хӯла, %-и вазнӣ | T, К | | | | | |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| Хӯла E-AlMgSi | 751,00 | 855,36 | 907,62 | 923,83 | 920,00 | 916,37 |
| 0.05 Ga | 678,55 | 794,12 | 858,13 | 886,15 | 893,72 | 909,80 |
| 0.1 Ga | 574,54 | 731,23 | 820,21 | 861,25 | 874,13 | 894,55 |
| 0.5 Ga | 531,77 | 712,59 | 802,69 | 831,60 | 828,86 | 846,53 |
| 1.0 Ga | 531,62 | 658,39 | 733,81 | 772,05 | 787,26 | 805,20 |
| Эталон | 854,62 | 877,90 | 901,55 | 925,45 | 949,48 | 997,46 |

Бо истифода аз гармиғунҷоиши хоси алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий чавҳаронидашуда ва қиматҳои ба тариқи таҷрибавӣ ба даст овардашуда суръати хунуккунии намунаҳо аз хӯлаҳо, вобастагии ҳароратии зариви гармидиҳии хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") мувофиқи муодилаи (5) ҳисоб карда шудааст

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



Расми 4 – Вобастагии ҳароратӣ гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлийчавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғай A5N)



Расми 5 – Вобастагии ҳароратии зариви гармидиҳӣхӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлийчавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғай A5N)

дар ин он: T ва T_0 ҳарорати намуна ва муҳити атроф мебошанд; S , m – мутаносибан масоҳати майдон ва массаи намуна. Вобастагии ҳароратии зариви гармидиҳӣ барои хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий чавҳаронидашуда дар расми 5 нишон дода шудааст.

Барои ҳисоб намудани вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаҳо формулаҳои (6)-(8) аз интегралҳои муодилаи (4) истифода бурда шуд:

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

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

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

дар ин ҷо, $T_0 = 298,15$.

Натиҷаҳои ҳисоб кардани вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс тибқи муодилаҳои (6) - (8) пас аз 25 K дар ҷадвали 4 оварда шудаанд.

Дар чадвалҳои 5, 6 натиҷаҳои таҳқиқот оид ба гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи E-AlMgSi (алдрей) бо галлий, индий ва таллий чавҳаронида шудаанд. Хӯлаҳои дорои вазни 1,0% - и аз компоненти чорум гармиғунҷоишии хӯлаҳоро зиёд менамояд, энтальпия ва энтропия ва афзоиши энергияи Гиббсро нишон медиҳанд.

Чадвали 4 – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии функсияи термодинамикии хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ва эталон (Al тамғаи A5N)

| Микдори галлий дар хӯла, %-и вазнӣ | Т.К | | | | | |
|---|--|---------|---------|---------|----------|----------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| | $[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | |
| Хӯла E-AlMgSi | 1,3799 | 21,5847 | 43,7138 | 66,6654 | 89,7383 | 135,4471 |
| 0.05 Ga | 1,2451 | 19,7762 | 40,5196 | 62,3809 | 84,6546 | 129,5626 |
| 0.1 Ga | 1,1125 | 18,4786 | 38,9238 | 60,9993 | 83,7508 | 129,9372 |
| 0.5Ga | 0,9674 | 16,7417 | 35,8409 | 56,3663 | 77,1572 | 118,5852 |
| 1.0 Ga | 0,9726 | 15,9695 | 33,4642 | 52,3503 | 71,8750 | 111,5986 |
| Эталон | 1,5795 | 23,2351 | 45,4777 | 68,3149 | 91,7514 | 140,4266 |
| $[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | | |
| Хӯла E-AlMgSi | 0,0046 | 0,0692 | 0,1348 | 0,1982 | 0,2577 | 0,3654 |
| 0.05 Ga | 0,0042 | 0,0634 | 0,1248 | 0,1852 | 0,2427 | 0,3484 |
| 0.1 Ga | 0,0037 | 0,0592 | 0,1198 | 0,1807 | 0,2394 | 0,3482 |
| 0.5Ga | 0,0033 | 0,0536 | 0,1102 | 0,1669 | 0,2205 | 0,3181 |
| 1.0 Ga | 0,0033 | 0,0512 | 0,1030 | 0,1551 | 0,2055 | 0,2991 |
| Эталон | 0,0053 | 0,0746 | 0,1405 | 0,2035 | 0,2640 | 0,3786 |
| $[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | | |
| Хӯла E-AlMgSi | -0,0043 | -0,9209 | -3,4739 | -7,6429 | -13,3499 | -28,9837 |
| 0.05 Ga | -0,0038 | -0,8394 | -3,1931 | -7,0741 | -12,4299 | -27,2549 |
| 0.1 Ga | -0,0034 | -0,7732 | -3,0065 | -6,7655 | -12,0232 | -26,7576 |
| 0.5Ga | -0,0031 | -0,6922 | -2,7354 | -6,2028 | -11,0526 | -24,5595 |
| 1.0 Ga | -0,0030 | -0,6705 | -2,5947 | -5,8237 | -10,3367 | -22,9901 |
| Эталон | -0,0049 | -1,0111 | -3,7068 | -8,0133 | -13,8629 | -29,9625 |

* $T_0 = 298.15$ К

Чадвали 5 – Вобастагии гармиғунҷоиши хоси алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий чавҳаронидашуда аз ҳарорат

| Микдори компонентҳои дар хӯла чавҳаронидашуда, %-и вазнӣ | Т, К | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| Хӯла E-AlMgSi | 751,00 | 855,36 | 907,62 | 923,83 | 920,00 | 916,37 |
| 1.0 Ga | 531,62 | 658,39 | 733,81 | 772,05 | 787,26 | 805,20 |
| 1.0 In | 493,21 | 614,10 | 688,58 | 729,13 | 748,21 | 771,83 |
| 1.0 Tl | 487,25 | 602,61 | 668,37 | 698,33 | 706,25 | 711,12 |
| Эталон | 854,62 | 877,90 | 901,55 | 925,45 | 949,48 | 997,46 |

Чадвали 6 - Вобастагии тағирёбии энтальпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), бо Ga, In ва Tl вобаста ба ҳарорат

| Микдори компонентҳои хӯла, %-и вазнӣ | T, K | | | | | |
|--|--|---------|---------|---------|----------|----------|
| | 300 | 325 | 350 | 375 | 400 | 450 |
| | [H ⁰ (T) – H ⁰ (T ₀ [*])], кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | |
| ХӯлаE-AlMgSi | 1,3799 | 21,5847 | 43,7138 | 66,6654 | 89,7383 | 135,4471 |
| 1.0 Ga | 0,9726 | 15,9695 | 33,4642 | 52,3503 | 71,8750 | 111,5986 |
| 1.0In | 0,9022 | 14,8532 | 31,2205 | 48,9997 | 67,4982 | 105,4415 |
| 1.0 Tl | 0,8914 | 14,6323 | 30,6086 | 47,7526 | 65,3414 | 100,6836 |
| Эталон | 1,5795 | 23,2351 | 45,4777 | 68,3149 | 91,7514 | 140,4266 |
| | [S ⁰ (T) – S ⁰ (T ₀ [*])], кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | 0,0046 | 0,0692 | 0,1348 | 0,1982 | 0,2577 | 0,3654 |
| 1.0 Ga | 0,0033 | 0,0512 | 0,1030 | 0,1551 | 0,2055 | 0,2991 |
| 1.0In | 0,0030 | 0,0476 | 0,0961 | 0,1452 | 0,1929 | 0,2823 |
| 1.0 Tl | 0,0030 | 0,0469 | 0,0942 | 0,1415 | 0,1869 | 0,2702 |
| Эталон | 0,0053 | 0,0746 | 0,1405 | 0,2035 | 0,2640 | 0,3786 |
| | [G ⁰ (T) – G ⁰ (T ₀ [*])], кҶ/кг барои хӯлаҳо | | | | | |
| Сплав E-AlMgSi | -0,0043 | -0,9209 | -3,4739 | -7,6429 | -13,3499 | -28,9837 |
| 1.0 Ga | -0,0030 | -0,6705 | -2,5947 | -5,8237 | -10,3367 | -22,9901 |
| 1.0In | -0,0028 | -0,6230 | -2,4155 | -5,4325 | -9,6620 | -21,5740 |
| 1.0 Tl | -0,0027 | -0,6145 | -2,3761 | -5,3260 | -9,4371 | -20,9051 |
| Эталон | -0,0049 | -1,0111 | -3,7068 | -8,0133 | -13,8629 | -29,9625 |

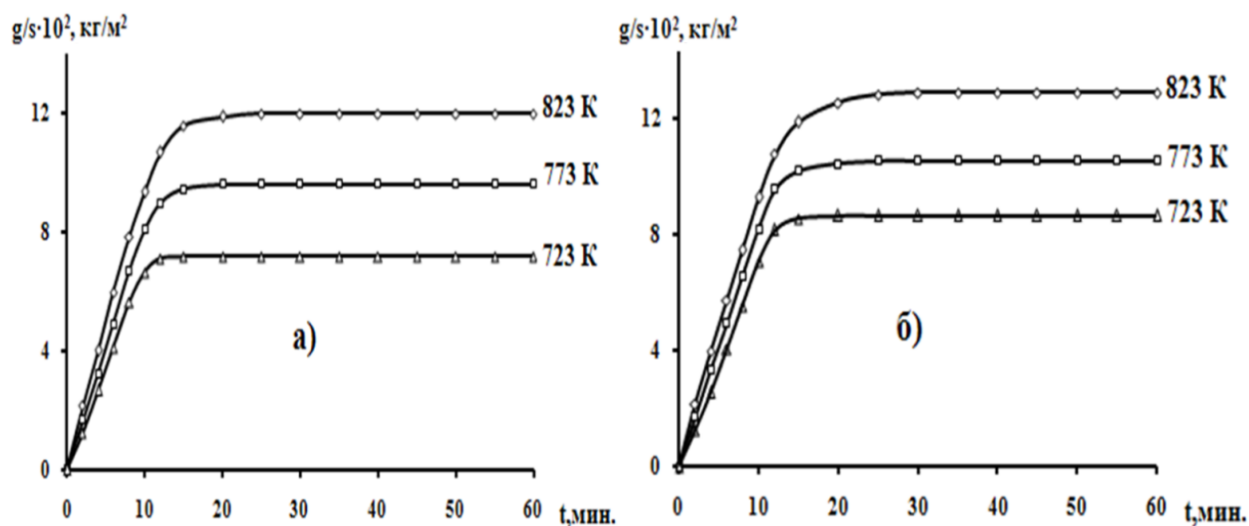
Ҳангоми аз хӯлаҳои бо галлий ба хӯлаҳои бо таллий гузаштан, қобилияти гармӣ, энтальпия ва энтропияи хӯлаҳо кам шуда, қимати энергияи Гиббс меафзояд.

БОБИ 3. ТАҲҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ НОҚИЛИИ E-AlMgSi ("алдрей") БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

Барои муайян кардани суръати оксидшавӣ бештар усули термогравиметрӣ истифода мешавад, ки дар омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳои сахт ва моеъ татбиқи васеъ пайдо кардааст. Афзалиятҳои ин усул аз содагии нисбии тарроҳии сахтафзор ва имконияти истифодаи он барои ҳарорати баланд (> 1773K) иборатанд.

Мо дар рафти омӯзишӣ кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") -ро бо галлий чавҳаронидашуда ба микдори зерин синтезиронида шудааст омӯхтем: 0,05; 0,1; 0,5; 1,0%. Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ин хӯлаҳо дар расмҳои 6-9 ва дар чадвалҳои 7-9 оварда шудаанд.

Меъёри ҳақиқии оксидшавии ноқили алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), вобаста аз ҳарорат, аз $2.67 \cdot 10^{-4}$ то $3.28 \cdot 10^{-4}$ кг · м⁻² · с⁻¹ мебошад. Энергияи намоёни фаъолшавии раванди оксидшавӣ, ки аз нишебии хати рости lgK-1/T ҳисоб карда шудааст, 149,0 кДж / мол мебошад, дар чадвали 7 оварда шудааст.



Расми 6 - Качхаттаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") (а) с 0.05 (бо 0.05 %-и вазни галлий (б), дар ҳолати сахт

Оксидкунии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi (алдрей), ки 0,05% галлий дар ҳолати сахт дорад, дар муҳити ҳаво дар ҳарорати 723К, 773К ва 823К гузаронида шуд. Хатҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳо дар расми 6б нишон дода шудаанд. Сатҳи оксидшавии хӯла вобаста ба вақт ва ҳарорат каме меафзояд. Аммо, зиёд шудани вазни хоси намуна то 20 дақиқа дар 823К ба $3,34 \cdot 10^{-4}$ кг/м² баробарии доимӣ ба даст меорад. Энергияи намоёни фаъолшавии раванди оксидшавӣ 120,3 кДж / мол (Ҷадвали 7) мебошад.

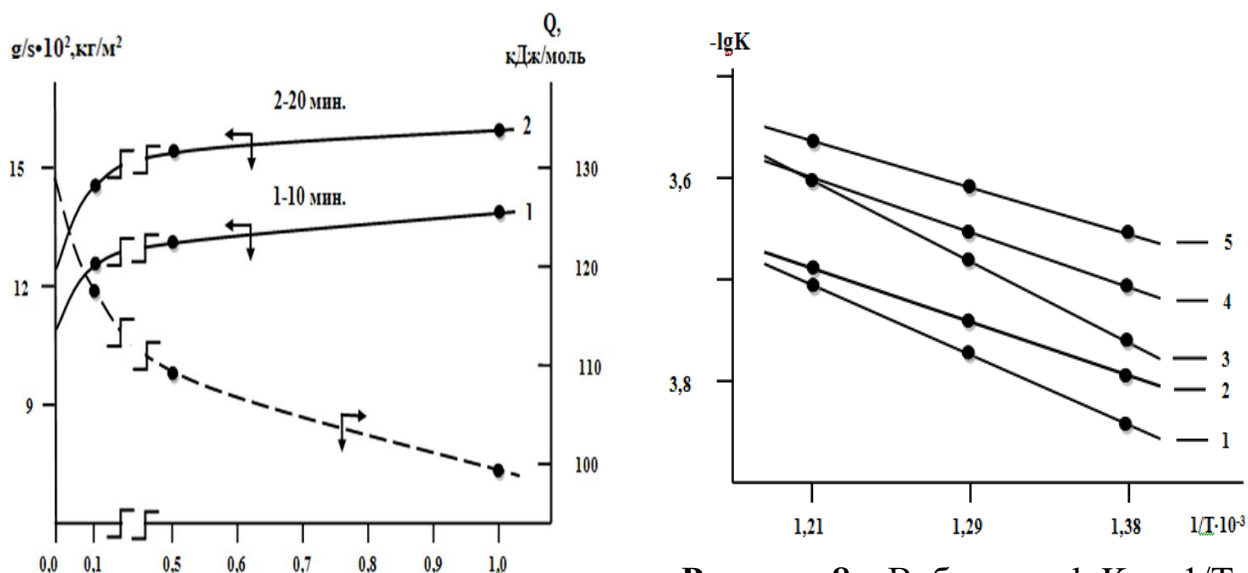
Ҷадвали 7 - Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии алюминийи гузарандаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий дар ҳолати сахт

| Миқдори Ga дар хӯла, %-и вазнӣ | Ҳарорати оксидшавӣ, К | Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, К·10 ⁻⁴ , кг·м ⁻² ·с ⁻¹ | Энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ, кҶ/мол |
|--------------------------------|-----------------------|---|---|
| 0.0 | 723 | 2.67 | 128.5 |
| | 773 | 2.89 | |
| | 823 | 3.28 | |
| 0.05 | 723 | 2.72 | 120.3 |
| | 773 | 2.91 | |
| | 823 | 3.34 | |
| 0.1 | 723 | 2.81 | 117.8 |
| | 773 | 3.00 | |
| | 823 | 3.41 | |
| 0.5 | 723 | 2.98 | 108.5 |
| | 773 | 3.14 | |
| | 823 | 3.53 | |
| 1.0 | 723 | 3.09 | 98.9 |
| | 773 | 3.22 | |
| | 823 | 3.66 | |

Афзоиши суст, вале ҳамвор дар ғафсии активатсияи оксид мушоҳида мешавад, ки ин раванди оксидшавӣ дар 20 дақиқаро комилан пешгирӣ мекунад. Ҳангоми зиёд шудани ғафсии плёнкаи оксид, суръати ҷараёни оксидшавӣ яқбора суст шуда, бо баланд шудани ҳарорат зиёд мешавад. Ҳангоми ҳарорати 723К дар сатҳи галлий 1,0%, сатҳи оксидшавӣ $3,09 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$, пас дар 823К мутаносибан ба $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$ мерасад. Энергияи зохирии фаъолсозӣ дар ин ҳолат арзиши 98,9 кДж / молро ташкил медиҳад (ҷадвали 7).

Иловаҳои галлий дар ҳаҷми 0,05% ба таври ночиз ба оксидшавандаи хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi (алдрей) таъсир мерасонанд. Афзоиши минбаъдаи концентратсияи галлий оксидшавандаи хӯлаи аввали гузаронандаи E-AlMgSi ("алдрей") -ро меафзояд (Расми 7).

Вобастагии $\lg K-1/T$, ки дар расми 8 нишон дода шудааст, барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий ҷавҳаронида шудааст, нишон медиҳад, ки раванди оксидшавӣ боқимонда аз ҳарорат меафзояд.



Расми 7 – Изохрони оксидшавии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), бо галлий ҳангоми 823 К

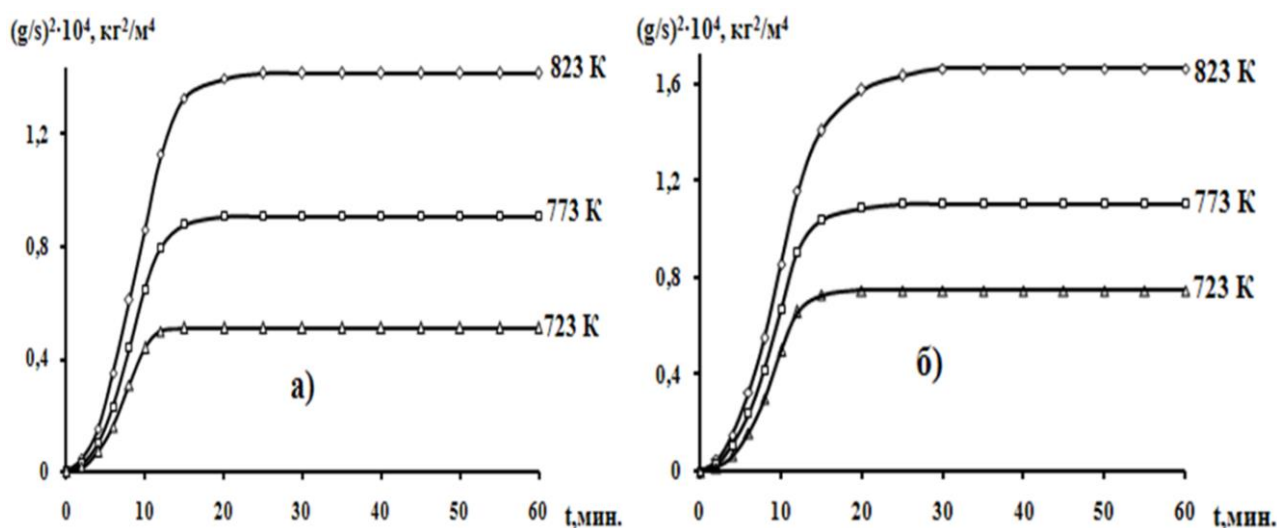
Рисунок 8 – Вобастагии $\lg K$ аз $1/T$ барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), (1), бо галлий, вазн%: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5)

Дар ҷадвали 8 натиҷаҳои коркарди қатъҳои кинетикии оксидшавӣ дар шакли вобастагӣ $(g/s)^2$ -т барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), ки аз 0,05 то 1,0% галлийро дар бар мегиранд, нишон дода шудааст (Расми 9). Бояд ба хулоса омад, ки табиати оксидшавии хӯлаҳо ба вобастагии гиперболий иттифог мекунад.

Дар ҷадвали 9 қиматҳои энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо концентратсияҳои гуногун бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда нишон дода шудаанд. Дар байни унсурҳои омехта, хӯлаҳои дорои галлий дорои энергияи баландтарини фаъолшаванда мебошанд.

Чадвали 8 - Натиҷаҳои коркарди полиномаҳои қачхати оксидшавии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), дар ҳолати сахт

| Миқдори галлий дар хӯла, %-и вазн | Ҳарорати оксидшавӣ, К | Полиномаҳои қачхати оксидшавии хӯлаҳо | Коэффитсиенти коррелятсионӣ, R |
|-----------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------|
| 0.0 | 723 | $y = - 5 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$ | 0,981 |
| | 773 | $y = - 5 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$ | 0,988 |
| | 823 | $y = - 8 \cdot 10^6 x^4 + 0,000x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$ | 0,994 |
| 0.05 | 723 | $y = - 2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,019x^2 + 0,878x$ | 0,983 |
| | 773 | $y = - 2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,025x^2 + 1,055x$ | 0,990 |
| | 823 | $y = - 2 \cdot 10^5 x^4 - 0,000x^3 - 0,027x^2 + 1,193x$ | 0,995 |
| 0.1 | 723 | $y = - 3 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 + 0,004x^2 + 0,788x$ | 0,991 |
| | 773 | $y = - 4 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 + 0,005x^2 + 0,898x$ | 0,995 |
| | 823 | $y = - 3 \cdot 10^5 x^4 - 0,001x^3 - 0,007x^2 + 1,092x$ | 0,997 |
| 0.5 | 723 | $y = - 0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,007x^2 + 0,746x$ | 0,992 |
| | 773 | $y = - 0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,014x^2 + 0,823x$ | 0,997 |
| | 823 | $y = - 0,5 \cdot 10^3 x^4 - 0,001x^3 + 0,004x^2 + 0,999x$ | 0,999 |
| 1.0 | 723 | $y = - 0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,001x^3 + 0,012x^2 + 0,756x$ | 0,990 |
| | 773 | $y = - 0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,002x^3 + 0,021x^2 + 0,801x$ | 0,996 |
| | 823 | $y = - 0,5 \cdot 10^4 x^4 - 0,002x^3 + 0,016x^2 + 0,934x$ | 0,998 |



Расми 9 – қачхатаи кинетикии квадрати оксидшавии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей») (а) с 0.05 (б) вазн % галлий

Дар асоси таҳқиқоте, ки дар кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии E-AlMgSi («алдрей») бо иловаи галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудаанд, қонунҳои зерини тағирот дар хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавӣ дар ҳолати сахт муқаррар карда шуданд:

1. муқаррар карда шуд, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гипербола иттиҳот мекунад, ки сатҳи оксиди ҳақиқии тартиби $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$;

2. Муайян карда шуд, ки қиматҳои пасттарини сатҳи оксидшавӣ дорои хӯлаҳои E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий мебошанд ва ҳадди аксар ба хӯлаҳои бо таллий омехта шудаанд.

Ҷадвали 9 – Вобастагии энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаи галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахт

| Элементи ҷавҳаронидашуда % - и вазн | 0,0 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Галлий | 128,5 | 120.3 | 117.8 | 108.5 | 98.9 |
| Индий | | 114.1 | 109.6 | 99.4 | 91.8 |
| Таллий | | 108.9 | 100.3 | 91.5 | 84.1 |

БОБИ 4. ТАҲҚИҚОТИ РАҒТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ НОҚИЛИИ E-AlMgSi (АЛДРЕЙ) БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ҶАВҲАРОНИДАШУДА

Дар қолиби рехтагии графитӣ меҳварҳои металли (стержни) диаметри 8мм ва дарозии 140мм рехта ба даст оварда шуд. Қисми ғайрикории намунаҳоро бо қатрон (омехтаи 50% канифол ва 50% парафин) изолятсия намудем. Ба сифати сатҳи корӣ паҳлуи электрод хизмат расонид. Пеш аз ғутонидани намуна ба маҳлули корӣ қисми паҳлуи, нӯги намунаро бо қоғази сунбода сайқал дода, тамиз намуда, бодикқат бо спирт шуста пас аз он ба маҳлули электролити NaCl барои таҳқиқот воридонида шуд. Ҳарорати маҳлул дар ячейка 20 °C ба таври доимӣ бо ёрии термостати МЛШ-8 нигоҳ дошта шуд. Барои омӯзиши хосиятҳои электрохимиявии хӯлаҳои чоргона чунин усули таҳқиқот истифода бурда шуд. Озмоиши электрохитиявии намунаҳоро бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ дар потенциостати ПИ-50.1.1 бо суръати тобиши потенциали 2 мВ/с дар муҳити электролити NaCl гузаронида шуд. Ба сифати электроди таҳқиқотӣ-муқоисавӣ хлорию нукрагӣ ва ҳамчун электроди ёрирасон - платинагӣ хизмат расонид.

Намунаҳоро бо усули потенциодинамикӣ дар самти мусбӣ аз потенциал поляризаторсия намуда, ҳангоми ворид карда то ногаҳон зиёдшавии чараён дар натиҷаи питтингҳосилкунӣ муқаррар карда мешавад. Сипас намунаҳоро дар самти мӯқобил поляризаторсия намуда аз рӯи бурида гузаштани қатҳатҳо бузургии потенциали репассивиро муайян карда шуд. Сипас аз рӯи минтақаи катод то қимати потенциали -1,3В барои дур кардани пардаи оксидӣ бо сатҳи электрод дар натиҷаи ишқорноккунии сатҳи электрод ҳаракат карда шуд. Дар охир намунаҳоро аз сари нав поляризаторсия намуда аз рӯи қатҳати анодӣ параметрҳои асосии электрохимиявӣ муайян карда шуд.

Ҳамин тавр аз қатҳатҳои ҳосилкардашудаи поляризаторсионӣ, характеристикаҳои асосии электрохимиявии хӯлаҳо: потенциали питтингҳосилкунӣ ($E_{п.о.}$), потенциал ва чараёни зангзанӣ ($E_{кор.}$ ва $i_{кор.}$) муайян карда шуд. Потенсиали репассивӣ ($E_{р.п.}$), ба таври графикӣ ба мисли қатҳавии якум ба ҳаракати баргашти қатҳати анодӣ ё ин, ки ба мисли бурида гузаштани хати рост ва ҳаракати баргашт муайян карда шуд. Ҳисоби чараёни зангзанӣ ҳамчун характеристикаи асосии раванди зангзанӣ аз рӯи қатҳати катодӣ бо

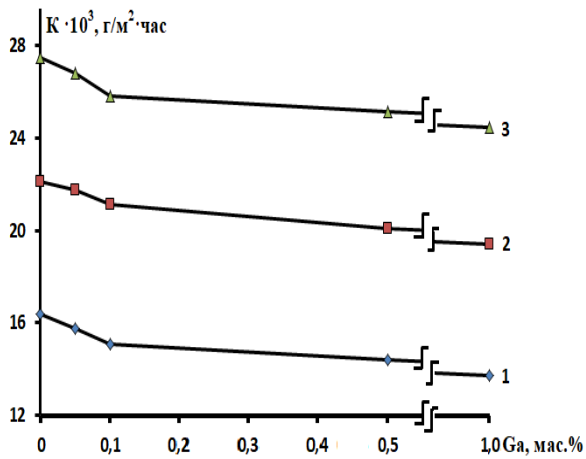
назардошти моилии таффеловӣ $vk=0,12V$ ба роҳ монда шуд, азбаски дар муҳити нейтралӣ раванди питтингҳосилкуни зангзании алюминий ва хӯлаҳои он аз рӯи реаксияи катодии ионизатякунии оксиген назорат карда мешавад. Суръати зангзанӣ дар навбати худ функсияи ҷараёни зангзанӣ мебошад, ки аз рӯи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад: $K = i_{кор} \cdot k$, дар ин ҷо $k = 0.335$ г/А·соат барои алюминий.

Натиҷаҳои таҳқиқоти коррозия-электрохимиявӣ хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, дар маҳлули электролит NaCl, дар чадвал оварда шудаанд (чадвали 10 ва расми 10-12). Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки иловаҳои галлий аз 0,05 то 1,0% -и вазн ба хӯлаи ибтидоии AlMgSi ("алдрей") дар воситаҳои ахбори омӯхташуда коррозия, репассиватсия ва потенциалро ба доираи мусбати қиматҳо мегузаронанд ва дар айни замон муқовимати хӯлаҳо ба зангзании питтингҳосилкунӣ меафзояд.

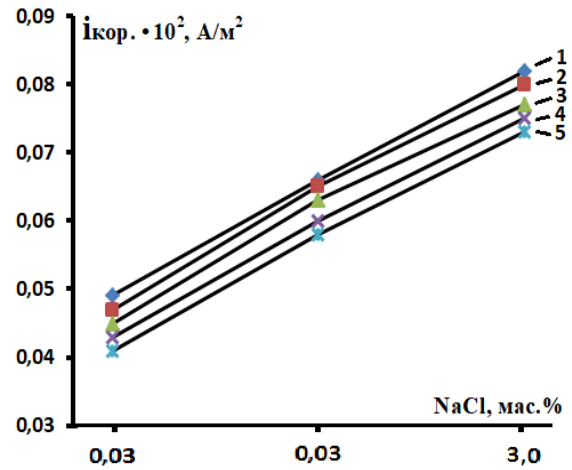
Чадвали 10 – Тағсифоти коррозия-электрохимиявӣ хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, дар муҳити электролитии NaCl

| Муҳит NaCl, % - и вазни | Миқдори галлий дар хӯла, %-и вазн | Потенциалҳои электрохимиявӣ (э.х.н.) | | | | Суръати коррозия | |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---|--|
| | | -E _{св.кор.} | -E _{кор.} | -E _{п.о.} | -E _{рп.} | $i_{кор} \cdot 10^2$, А/м ² | $K \cdot 10^3$, г/м ² ·час |
| 0.03 | - | 0,860 | 1,100 | 0,600 | 0,720 | 0,049 | 16,41 |
| | 0.05 | 0,844 | 1,082 | 0,595 | 0,710 | 0,047 | 15,74 |
| | 0.1 | 0,838 | 1,067 | 0,587 | 0,710 | 0,045 | 15,07 |
| | 0.5 | 0,827 | 1,050 | 0,579 | 0,704 | 0,043 | 14,40 |
| | 1.0 | 0,817 | 1,044 | 0,565 | 0,700 | 0,041 | 13,73 |
| 0.3 | - | 0,890 | 1,180 | 0,680 | 0,768 | 0,066 | 22,11 |
| | 0.05 | 0,870 | 1,164 | 0,660 | 0,756 | 0,065 | 21,77 |
| | 0.1 | 0,862 | 1,147 | 0,649 | 0,752 | 0,063 | 21,10 |
| | 0.5 | 0,850 | 1,132 | 0,642 | 0,748 | 0,060 | 20,10 |
| | 1.0 | 0,842 | 1,119 | 0,636 | 0,748 | 0,058 | 19,43 |
| 3.0 | - | 0,919 | 1,240 | 0,735 | 0,800 | 0,082 | 27,47 |
| | 0.05 | 0,902 | 1,224 | 0,720 | 0,780 | 0,080 | 26,80 |
| | 0.1 | 0,894 | 1,217 | 0,710 | 0,776 | 0,077 | 25,79 |
| | 0.5 | 0,886 | 1,210 | 0,704 | 0,769 | 0,075 | 25,12 |
| | 1.0 | 0,879 | 1,200 | 0,696 | 0,760 | 0,073 | 24,45 |

Вобастагии сатҳи зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») аз таркиби галлий дар муҳити электролитҳои 0,03, 0,3 ва 3,0% - и NaCl дар расми 10 нишон дода шудааст. Илова кардани галлий ба хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") суръати зангзании онро дар тамоми муҳитҳои омӯхташудаи электролит NaCl коҳиш медиҳад. Дар ин ҳолат, афзоиши консентратсияи электролит NaCl (иони хлорид) ба афзоиши суръати зангзании хӯлаҳо мусоидат мекунад (расми 11). Сатҳи зангзанӣ ва зичии ҷараёни зангзании хӯлаи E-AlMgSi (алдрей) дар консентратсияи вазни 1,0% галлий ҳадди аққал доранд. Аз ин рӯ, таркиби мушаххаси хӯлаҳо аз ҷиҳати зангзанӣ оптималист.

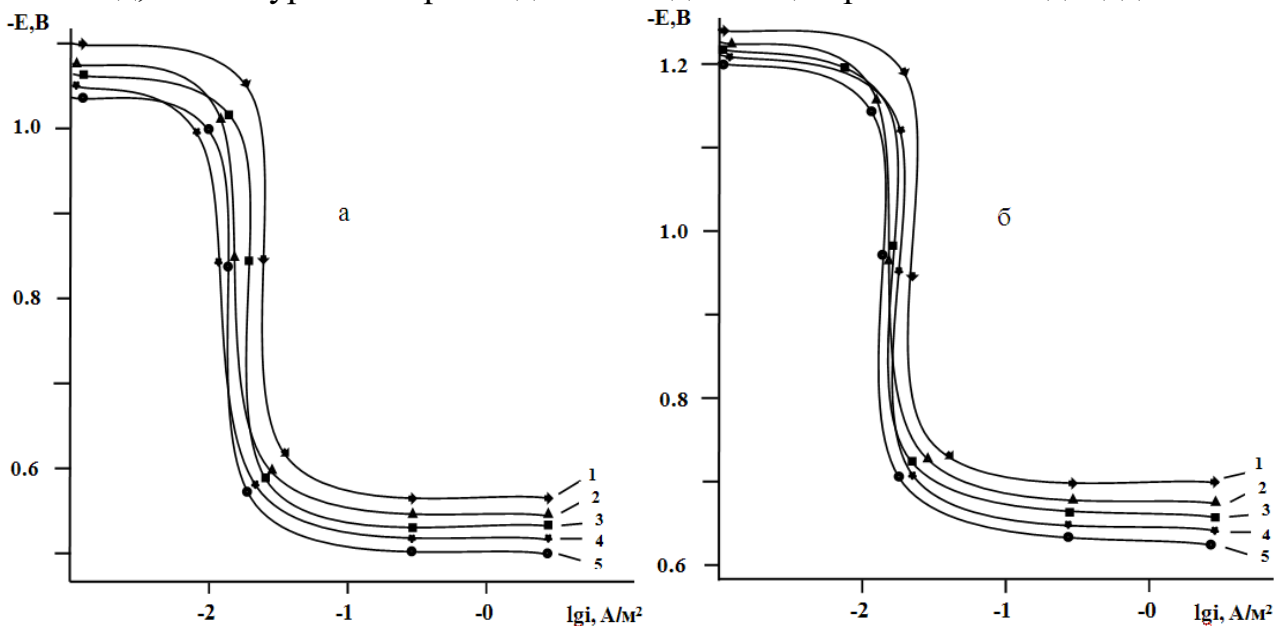


Расми 10 – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") аз консентратсияи галлий, дар муҳити электролит 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0% (3) NaCl



Расми 11 – Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") (1) дорои галлий, %- и вазн: 0.01 (2); 0,05 (3); 0.1 (4); 0,5 (5) консентратсияи NaCl

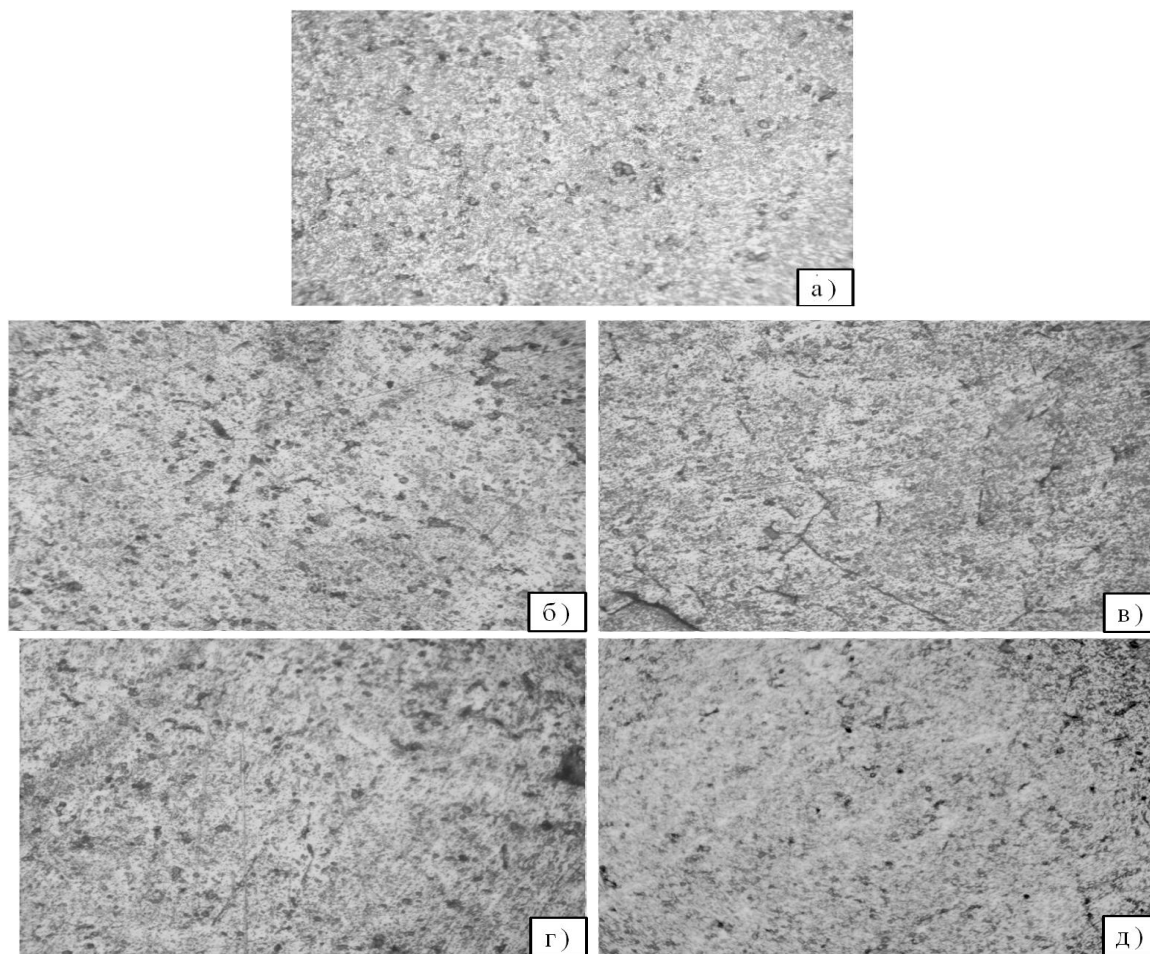
Шохаҳои анодии қачхатаи поляризатсияи хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий дар расми 12 нишон дода шудааст. Тавре ки аз қачхата дида мешавад, бо афзоиши миқдори галлий, гузариш ба сӯи минтақаи арзишҳои мусбии ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ дар муҳити электролитии NaCl мушоҳида мешавад, ки ин суръати парокандагии анодии қоҳишро нишон медиҳад.



Расми 12 - Қачхатаи поляризатсионии анодии 2 мВ/с хӯлаҳои алюминий ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, %- и вазн: 0.01(1), 0.05(2), 0.1(3), 0.5(4), дар муҳити электролитии 0,03% (а) ва 3% (б) NaCl

Гузариш ба минтақаи мусбати потенциалҳои электрохимиявӣ ва қоҳиш ёфтани хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") ҳангоми омехта бо галлийро бо афзоиши дараҷаи гетерогении сохтори хӯла шарҳ додан мумкин аст. Чӣ тавре ки аз расми 13 г, д, дар микроструктураи хӯлаи E-AlMgSi ("aldrey"), ки 0,5 ва 1,0%-и галлий дорад, ҳеҷ гуна боришоти ибтидоии фазаи Mg₂Si мушоҳида намешавад.

Фазаи Mg_2Si дар хӯлаи аввалия (расми 13а) ва хӯлаҳои бо галлий сабук сабукшуда дар шакли оккуляри дар заминаи маҳлули алюминии саҳт кристалл мешаванд (расми 13б).



Расми 13 - Микроструктураҳои (х650) хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") (а) бо галлий омехта, вазни % - и : 0.05(б), 0.1(в), 0.5(г), и 1.0(д)

Дар ҷадвали 11 ва 12 натиҷаҳои умумии омӯзиши рафтори анодии хӯлаҳои системаҳои E-AlMgSi -Ga (In, Ta) оварда шудаанд. Потенсиали зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо афзоиши консентратсияи галлий, индий, таллий ба самти мусбати меҳвари ордината ҳаракат мекунад. Ҳангоми аз электролитҳои заиф ба электролитҳои қавӣ гузаштан, новобаста аз мундариҷаи компоненти ҷавҳаронидашуда, камшавии арзиши потенсиали коррозия озод мушоҳида мешавад. Ҳамин тариқ, бо зиёд шудани консентратсияи иони хлорид, потенсиали коррозияи озоди хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») аз - 0,860 V, дар муҳити 0,03% NaCl то - 0,919 V, дар муҳити 3% NaCl коҳиш меёбад. Афзоиши консентратсияи ҷузъичавҳаронидашуда ба афзоиши миқёси потенсиалҳои питингҳосилкунӣ ва репасиватсия дар ҳама воситаҳо, новобаста аз консентратсияи иони хлор, мусоидат мекунад. Вобастагии муқарраршуда ба хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо галлий, индий ва таллий омехта шудаанд, хос аст. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо галлий ба хӯлаҳои бо индий ва таллий гузаштан, потенсиали зангзании озод ва питингҳосилкунӣ меафзояд (Ҷадвали 11).

Ҷадвали 11 - Вобастагии потенциалҳои (х.с.э.) озоди зангзании ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) ва питингҳосилкунии ($-E_{\text{п.о.}}$, В) ҳӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей") Ga, In ва Ta, дар муҳити электролит NaCl

| Муҳит NaCl, % - и вазн | Миқдори Ga, In ва Tl дар ҳӯла, вазн% | Ҳӯла бо галлий | | Ҳӯла бо индий | | Ҳӯла бо таллий | |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------------------|
| | | $-E_{\text{занг.озо}}$ | $-E_{\text{пит.хос.}}$ | $-E_{\text{занг.озо}}$ | $-E_{\text{пити}}$ | $-E_{\text{занг.озо}}$ | $-E_{\text{питин.}}$ |
| 0.03 | - | 0,860 | 0,600 | 0,860 | 0,600 | 0,860 | 0,600 |
| | 0.05 | 0,844 | 0,595 | 0,833 | 0,580 | 0,824 | 0,568 |
| | 0.1 | 0,838 | 0,587 | 0,820 | 0,568 | 0,810 | 0,557 |
| | 0.5 | 0,827 | 0,579 | 0,809 | 0,557 | 0,801 | 0,545 |
| | 1.0 | 0,817 | 0,565 | 0,800 | 0,544 | 0,792 | 0,532 |
| 0.3 | - | 0,890 | 0,680 | 0,890 | 0,680 | 0,890 | 0,680 |
| | 0.05 | 0,870 | 0,660 | 0,861 | 0,648 | 0,852 | 0,636 |
| | 0.1 | 0,862 | 0,649 | 0,852 | 0,637 | 0,845 | 0,625 |
| | 0.5 | 0,850 | 0,642 | 0,843 | 0,629 | 0,836 | 0,614 |
| | 1.0 | 0,842 | 0,636 | 0,830 | 0,620 | 0,822 | 0,606 |
| 3.0 | - | 0,919 | 0,735 | 0,919 | 0,735 | 0,919 | 0,735 |
| | 0.05 | 0,902 | 0,720 | 0,895 | 0,708 | 0,888 | 0,694 |
| | 0.1 | 0,894 | 0,710 | 0,887 | 0,700 | 0,879 | 0,680 |
| | 0.5 | 0,886 | 0,704 | 0,878 | 0,691 | 0,868 | 0,668 |
| | 1.0 | 0,879 | 0,696 | 0,870 | 0,680 | 0,860 | 0,656 |

Ҷадвали 12 - Вобастагии зичии ҷараёни зангзанӣ ва суръати зангзании ҳӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо Ga, In ва Ta, дар муҳити электролит NaCl

| Муҳит NaCl, вазн% | Миқдори Ga, In и Tl, вазн% | Суръати коррозия | | | | | |
|-------------------|----------------------------|--|--|--|--|--|--|
| | | Ҳӯлаҳо бо Ga | | Ҳӯлаҳо бо In | | Ҳӯлаҳо бо Tl | |
| | | $i_{\text{корр.}} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{\text{корр.}} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ | $i_{\text{корр.}} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$ | $K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ |
| 0.03 | - | 0,049 | 16,41 | 0,049 | 16,41 | 0,049 | 16,41 |
| | 0.05 | 0,047 | 15,74 | 0,046 | 15,41 | 0,043 | 14,40 |
| | 0.1 | 0,045 | 15,07 | 0,044 | 14,74 | 0,040 | 13,40 |
| | 0.5 | 0,043 | 14,40 | 0,042 | 14,07 | 0,038 | 12,73 |
| | 1.0 | 0,041 | 13,73 | 0,040 | 13,40 | 0,036 | 12,06 |
| 0.3 | - | 0,066 | 22,11 | 0,066 | 22,11 | 0,066 | 22,11 |
| | 0.05 | 0,065 | 21,77 | 0,064 | 21,44 | 0,062 | 20,72 |
| | 0.1 | 0,063 | 21,10 | 0,061 | 20,43 | 0,060 | 20,10 |
| | 0.5 | 0,060 | 20,10 | 0,059 | 19,76 | 0,058 | 19,43 |
| | 1.0 | 0,058 | 19,43 | 0,057 | 19,09 | 0,056 | 18,76 |
| 3.0 | - | 0,082 | 27,47 | 0,082 | 27,47 | 0,082 | 27,47 |
| | 0.05 | 0,080 | 26,80 | 0,075 | 25,12 | 0,073 | 24,45 |
| | 0.1 | 0,077 | 25,79 | 0,073 | 24,45 | 0,071 | 23,78 |
| | 0.5 | 0,075 | 25,12 | 0,071 | 23,78 | 0,069 | 23,19 |
| | 1.0 | 0,073 | 24,45 | 0,068 | 22,78 | 0,066 | 22,11 |

Ҳангоми зиёд шудани концентратсияи иони хлорид, зичии ҷараёни коррозия ва мувофиқан, суръати зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо галлий, индий ва таллий омехта карда мешавад. Ин вобастагӣ барои ҳама хӯлаҳо, сарфи назар аз таркиб ва хусусиятҳои физико-химиявии ҷузъи ыавҷаронидашуда, хос аст. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо галлий ба хӯлаҳои бо индий гузаштан пастшавии сатҳи зангзанӣ ба назар мерасад. Хӯлаи E-AlMgSi (алдрей) инчунин бо афзоиши суръати зангзанӣ бо зиёд шудани концентратсияи Cl дар электролит тавсиф мешавад (Ҷадвали 12).

Ҳамин тариқ, маълум шуд, ки вақте Ga, In ва Ta то 1,0%-и хӯлаи алюминийи E-AlMgSi (алдрей) дар электролит NaCl илова карда мешавад, устувории анодӣ 30-40% меафзояд.

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмӣ диссертатсия:

1. Дар режими "хунуккунӣ" вобастагҳои ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи электрикии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда таҳқиқ карда шуд. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми зиёд шудани ҷузъи ҷавҳаронӣ, миқдори гармиғунҷоиши хӯлаҳо кам ва бо баланд шудани ҳарорат зиёд мешавад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо галлий ба хӯлаҳои бо таллий гузаштан, қобилияти гармиғунҷоиш кам мешавад [1, 3, 7, 8, 9-М].

2. Омӯзиши вобастагии ҳароратии тағироти функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда нишон дод, ки ҳангоми аз хӯлаҳои бо галлий ба хӯлаи таллий гузаштан, бузургҳои энтальпия ва энтропия кам мешаванд. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат энтальпия ва энтропияи хӯлаҳо меафзояд, қимати энергияи Гиббс бошад паст мешавад. Тағирёбии гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикии хӯлаҳо бо зиёд шудани гетерогенияти сохтори хӯлаҳо ҳангоми ҷавҳаронӣ шарҳ дода мешавад [1, 3, 10-М].

3. Бо усули термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi (алдрей), ки бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудаанд, омӯхта шуд. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гипербола итоат мекунад ва сатҳи оксидшавии ҳақиқии тартиби 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹. Муайян карда шуд, ки қимати пасти сатҳи оксидшавӣ барои хӯлаҳои E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ва қиматҳои максималӣ барои хӯлаҳои таллий мушоҳида мешаванд. Дар байни унсурҳои омехта қимати баландтарини энергияи ба назар намоён барои хӯлаҳои бо таллий хос аст.

4. Рафтори анодии хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда бо усули потенциостатикӣ дар режими потенциодинамикӣ бо суръати тобиши потенциалилаш 2 мВ/с омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки илова намудани ҷузъи ҷавҳаронӣ ба миқдори аз 0,05 то 1,0%-и муқовимати зангзании хӯлаҳои алюминийро дар муҳити нейтралӣ электролит NaCl 30-40% зиёд мекунад. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои галлий, индий ва таллий ба хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") арзиши потенциалҳои электрохимиявиро дар муҳити электролити NaCl зиёд мекунанд. Қайд карда шуд, ки бо зиёд шудани концентратсияи иони хлорид дар

электролит, қиматҳои потенциалҳо кам шуда, суръати зангзании хӯлаҳо меафзояд [2, 11-М].

5. дар асоси таҳқиқотҳои анҷом додашуда, таркиби хӯлаҳои нав коркард ва бо патентҳои хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон №Тj1058 аз 14.02.2020с., №Тj1059 аз 25.07.2019с. ва №Тj1099 аз 12.03.2020с., ҳифз шуда, аз санҷиши таҷрибавӣ – саноатӣ дар корхонаи ҚСП “Ноқили ТАЛКО” аз санад (15.06.2020с.) гузаштанд. Фоидаи иқтисодӣ аз истифодаи 1000тн хӯла ба сифати ноқили ҳангоми 10%кам намудани сатҳи буриши он ба 200 000\$ ИМА баробар шуд [4, 5, 6-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

1. Дар асоси таҳқиқоти физикӣ-химиявӣ иҷронамуда, ҳудуди ҷавҳаронии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей») бо элементҳои зергурӯҳи галлий илмӣ асоснок карда шудааст. Махсусан, нишон дода шудааст, ки миқдории оптималии элементҳои зергурӯҳи галлий дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») ба консентратсияи 0,05-1,0%-и вазн мутобиқ аст. Хӯлаҳои бо галлий ҷавҳаронидашуда бо қимати хурдтарини коррозия фарқ менамоянд;

2. Хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои ҳосил кардани онҳо ба муассисаҳои саноати тобеи Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон барои истифода пешниҳод карда мешавад;

3. Хӯлаҳои навро барои таҷриба, дар озмоишгоҳи Муассисаи илмӣ давлатии Маркази тадқиқотии технологияи инноватсионӣ дар назди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ҳосил карда, ба муассисаҳои ҳавасманд пешниҳод кардан мумкин аст.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАҶАИ ИЛМӢ АЗ РӢИИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ

Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон наиришуда:

[1-А]. Ганиев, И.Н. Теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием / И.Н. Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О. Одиназода, А.М. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.- 2019.- Т. 22.- № 3.- С. 219-227 (**Scopus**).

[2-А]. Ганиев, И.Н. Коррозия алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного индием / И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров, Р.Усмонов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники.- 2019.- Т. 22.- № 3.- С. 2-7 (**Scopus**).

[3-А]. Ганиев, И.Н. О коэффициенте теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с индием / И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, **Ф.А. Алиев** // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук.- 2020.- № 2/2 (73).- С.

Ихтироот:

[4-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1058. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, А.П.Абдулаков, Дж.Х.Дажйлоев, У.Ш.Якубов, Н.И.Ганиева, **Ф.А. Алиев**, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов / Приоритет изобретения от 25.07.2019 (дата госрегистрации 14.02.2020).

[5-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1059. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, А.П.Абдулаков, А.М.Сафаров, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов, Ф.С.Давлатзода / Приоритет изобретения от 25.07.2019 (дата госрегистрации 14.02.2020).

[6-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1099. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н.Ганиев, А.П.Абдулаков, Дж.Х. Дажйлоев, У.Ш. Якубов, Н.И. Ганиева, **Ф.А. Алиев**, А.Р.Рашидов, Ё.Дж.Холов / Приоритет изобретения от 12.03.2020 (дата госрегистрации 24.06.2020).

*Мақолаҳои дар маводҳои конфронсҳои
байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашршуда:*

[7-А]. Ганиев, И.Н. Теплоемкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с индием / И.Н.Ганиев, **Ф.А. Алиев**, Х.О.Одиназода, А.М.Сафаров, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научной конф. «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан». Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими.- 2019.- С. 23-27.

[8-А]. **Алиев, Ф.А.** Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием / Ф.А.Алиев, И.Н.Ганиев, А.М.Сафаров, А.П.Абдулаков, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Роль народного творчество в развитии и устойчивости национальной культуры», посвящённого объявлению 2019-2021гг. годам развития, деревня, туризма и народного творчество».- ТГПУ им. С. Айни.- 2019.- С. 263-267.

[9-А]. **Алиев, Ф.А.** Влияние добавок галлия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Х.О. Одиназода, Дж.Х. Дажйлоев // Мат. Межд. конф. «Современные проблемы физики».- Физико-технический институт им. С.У. Умарова.- 2020.- С.

[10-А]. **Алиев, Ф.А.** Термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Дж.Х. Дажйлоев // Мат. Межд. конф. «Современные проблемы физики».- Физико-технический институт им. С.У. Умарова.- 2020.- С.

[11-А]. **Алиев, Ф.А.** Потенциал свободной коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного индием / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Дж.Х. Дажйлоев // Мат. Респ. научн-практ. конф. «Инновационное развитие науки», с участием международных организации, НАНТ.- 2020.- С.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Алиев Фирдавс Алиевич дар мавзӯи «Ҳосиятҳои хӯлаи алюминийи ноқилии AlMgSi ("алдрей") бо элементҳои зергурӯҳи галлий» барои дарёфти дараҷаи илми номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосҳои 05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника), 05.17.03 – Технологияи равандҳои электрохимиявӣ ва муҳофизат аз коррозия

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи алюминийи AlMgSi ("алдрей"), галлий, индий, таллий гармиғунҷоиш, функсияҳои термодинамикӣ, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, энергияи активатсия, методи потенциостатикӣ, потенциали озоди коррозия, пitting-ҳосилкунӣ, суръати коррозия.

Мавод, усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳҳои истифодашуда. Маводи тадқиқот хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо таркиби Al + 0.5Si + 0.5Mg % -и вазн, инчунин галлий, индий ва таллий буд. Таҳқиқотҳо тавассути чен кардани гармиғунҷоиш дар ҳолати "хунуккунӣ", усулҳои термогравиметрӣ, металлографӣ, марҳилаи рентгенӣ, потенциостатикӣ гузаронида шуданд.

Мақсади таҳқиқот муқарар намудани вобастагии ҳароратии хусусиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи алюминийи алюминий E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудааст, барои эҳтиёҷоти саноати электрикӣ пешбинӣ шудааст.

Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва навоғонҳои онҳо. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропии, энергия Гиббс) хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi («алдрей») бо галлий, индий ва таллий вобаста аз ҳарорат ва миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашуда муқаррар карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий афзоиш меёбад, дар ҳоле ки энергияи Гиббс коҳиш меёбад. Бо зиёд шудани ҳиссаи галлий, индий ва таллий дар хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), энталпия ва энтропия кам мешавад ва энергияи Гиббс меафзояд. Муайян карда шуд, ки бо афзоиши ҳарорат, дараҷаи оксидшавии хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий дар ҳолати сахтӣ меафзояд. Сатҳи оксиди доимӣ ба 10^{-4} кг/м²*с⁻¹ баробар аст. Муайян карда шуд, ки оксиди хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ба қонуни гиперболикӣ итоат мекунад. Бо усули потенциостатикӣ дар ҳолати потенциодимикӣ бо суръати тобиши потенциал (2 мВ/с) муайян карда шудааст, ки илова кардани компоненти ҷавҳардор то 1,0 % -и вазн, ба коррозия устувории хӯлаи хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") - ро 20-30% зиёд менамояд. Ҳамзамон, тағйирёбии тамоми потенциалҳои электрикӣ ба қайд гирифта шудааст. Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои галлий ҷавҳаронидашуда ба хӯлаҳо бо индий ва таллий ҷавҳаронидашуда, коҳиш (барои хӯлаҳо бо 1,0 % -и вазн иловагӣ) арзиши потенциалӣ ва камшавии суръати занг ба қайд гирифта мешавад.

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

- дар асоси таҳқиқоти физикӣ-химиявӣ иҷронамуда, худуди ҷавҳаронии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо элементҳои зергурӯҳи галлий илмӣ асоснок карда шудааст. Махсусан, нишон дода шудааст, ки миқдории оптималии элементҳои зергурӯҳи галлий дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») ба консентратсияи 0,05-1,0%-и вазн мутобиқ аст. Хӯлаҳои бо галлий ҷавҳаронидашуда бо қимати хурдтарини коррозия фарқ менамоянд;

- хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои ҳосил кардани онҳо ба муассисаҳои саноати тобеи Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон барои истифода пешниҳод карда мешавад;

- хӯлаҳои навро барои таҷриба, дар озмоишгоҳи Муассисаи илмӣ давлатии Маркази тадқиқотии технологияи инноватсионӣ дар назди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ҳосил карда, ба муассисаҳои ҳавасманд пешниҳод кардан мумкин аст.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати электротехника.

АННОТАЦИЯ

диссертации Алиева Фирдавса Алиевича «Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.02.01 – материаловедение (в электротехнике), 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Ключевые слова: сплав E-AlMgSi («алдрей»), галлий, индий, таллий, теплоемкость, термодинамические функции, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, термогравиметрический метод, кинетика окисления, энергия активации, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, питтингообразования, скорость коррозии.

Объекты, методы исследования и использованная аппаратура. Объектом исследования служил сплав E-AlMgSi («алдрей») состава Al+0,5Si+0,5Mg (мас.%), а также металлический галлий, индий и таллий. Исследования проводились измерением теплоемкости в режиме «охлаждения», термогравиметрическим, металлографическим, рентгенофазовым, потенциостатическим методами.

Целью исследования является установление температурных зависимостей термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием, индием и таллием, предназначенного для нужд электротехнических отраслей промышленности.

Полученные результаты и их новизна. Установлены основные закономерности изменения теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием в зависимости от температуры и количества легирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается. С увеличением доли галлия, индия и таллия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») энтальпия и энтропия уменьшаются, а энергия Гиббса растёт. Показано, что с ростом температуры скорость окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием, в твердом состоянии увеличивается. Константа скорости окисления имеет порядок 10^{-4} кг/м²·с⁻¹. Установлено, что окисление сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, индием и таллием подчиняется гиперболическому закону. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки легирующих компонентов до 1,0 мас.% увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава E-AlMgSi («алдрей») на 20-30%. При этом отмечается сдвиг всех электротехнических потенциалов. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с индием и таллием наблюдается уменьшение (для сплавов с 1,0 мас.% добавки) величина потенциалов и уменьшение скорости коррозии.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- на основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов подгруппы галлия в сплаве E-AlMgSi («алдрей») соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с галлиевым покрытием имеют самый низкий показатель коррозии;

- разработанные сплавы и способы их получения рекомендуется для использования предприятиями промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан;

- опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

Область применения: электротехнической промышленности.

ANNOTATION

for the dissertation of Aliyev Firdavs Alievich "properties of aluminum conductive alloy E-AlMgSi ("aldrey") with elements of the gallium subgroup", submitted for the degree of candidate of technical sciences by specialties 05.02.01 - materials science (in electrical engineering), 05.17.03 - Technology of electrochemical processes and protection against corrosion

Key words: alloy E-AlMgSi ("aldrey"), gallium, indium, thallium, heat capacity, thermodynamic functions, enthalpy, entropy, Gibbs energy, thermogravimetric method, oxidation kinetics, activation energy, potentiostatic method, free corrosion potentials, pitting formation, corrosion rate.

Research methods and equipment used. The object of the study was the E-AlMgSi alloy ("aldrey") with the composition Al + 0.5Si + 0.5Mg (wt%), as well as metallic gallium, indium, and thallium. The studies were carried out by measuring the heat capacity in the "cooling" mode, thermogravimetric, metallographic, X-ray phase, potentiostatic methods.

The aim of the work is the establishment of temperature dependences of thermodynamic, kinetic and anode properties aluminium проводникового alloy E-AlMgSi ("алдрей"), alloyed by gallium, индием and the thallium, intended for needs of electrotechnical industries.

Scientific novelty of research. The main regularities of changes in heat capacity and changes in thermodynamic functions (enthalpy, entropy and Gibbs energy) of aluminum conductive alloy E-AlMgSi ("aldrey") with gallium, indium and thallium, depending on the temperature and amount of the alloying component, have been established. It is shown that with increasing temperature, the heat capacity, enthalpy and entropy of the aluminum conductive alloy E-AlMgSi ("aldrey") with gallium, indium and thallium increase, while the Gibbs energy decreases. With an increase in the proportion of gallium, indium, and thallium in the E-AlMgSi ("aldrey") alloy, the enthalpy and entropy decrease, while the Gibbs energy increases. It is shown that with increasing temperature the oxidation rate of the aluminum conductive alloy E-AlMgSi ("aldrey") with gallium, indium and thallium in the solid state increases. The oxidation rate constant is of the order of $10^{-4} \text{kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. It was found that the oxidation of the alloy E-AlMgSi ("aldrey") with gallium, indium and thallium obeys a hyperbolic law. The potentiostatic method in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV / s has established that the addition of alloying components up to 1.0 wt% increases the corrosion resistance of the initial E-AlMgSi alloy ("aldrey") by 20-30%. At the same time, a shift in all electrical potentials is noted. When passing from alloys with gallium to alloys with indium and thallium, a decrease (for alloys with 1.0 wt.% Additive) the potential value and a decrease in the corrosion rate are observed.

Recommendations about practical use of results:

- on the basis of the spent physical and chemical researches borders of aluminium alloy E-AlMgSi («алдрей») with elements of a subgroup of gallium are scientifically proved. In particular, it has been shown, that the optimum quantity of elements of a subgroup of gallium in alloy E-AlMgSi («алдрей») corresponds to concentration of 0,05-1,0 % on weight. Alloys with галлиевым a covering have the lowest indicator of corrosion;

- the developed alloys and ways of their reception it is recommended for use to the industry enterprises the industries subordinated to the Ministry and new technologies of Republic Tajikistan;

- experimental batches of new alloys can be made on the basis of the State scientific institution the Center of research of innovative technologies at National academy of sciences of Tajikistan for the purpose of delivery to the interested enterprises and departments.

Application: electrical industry.

Разрешено в печать 16.09.2020 г., подписано в печать 18.09.2020 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,5. Тираж 100 экз

Отпечатано в типографии «Донишварон».

734063, г.Душанбе, ул.Амоналная, 3/1