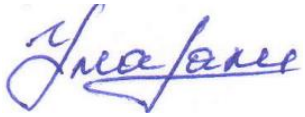
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА

На правах рукописи

УДК 669.017:620.197



ЯКУБОВ Умарали Шералиевич

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10 С КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии (PhD) – доктор по специальности

6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Душанбе – 2020

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

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана
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, старший научный сотрудник лаборатории переработки местного глинозем-и углеродсодержащего сырья ГУ НИИ «Металлургия» ГУП «ТАлКо»
Асрори Мурoдиён

Ведущая организация: Институт энергетики Таджикистан

Защита состоится 25 ноября 2020 года в 9^{00} часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-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. В современных материалах должны сочетаться высокие свойства и качества для обеспечения необходимого ресурса и надёжности работы изделий авиационно-космической техники, машиностроения, атомной энергетики, радиотехники, электроники и т.д. В связи с этим особое значение приобретает производство и использование алюминия и его сплавов, обладающих высокой коррозионной стойкостью, механической прочностью и других специфических свойств.

Особый интерес для современного машиностроения представляют высокопрочные литейные алюминиевые сплавы со свойствами идентичных деформируемых сплавов. Основным фактором, определяющим механические и технологические свойства литейного сплава, является состав, в том числе и содержащий вредных примесей и газов, зависящие от технологии плавки, а также состава исходных материалов и флюсов.

Степень изученности разрабатываемой проблемы обясняется тем, что в настоящее время разработки посвящённые прецизионным сплавам на основе некондиционного алюминия в литературе отсутствует. Поэтому разработка таких сплавов путём его легирования третьим элементом является **актуальной задачей**. Подобный подход позволяет превратить некондиционный металл в нужный и полезный продукт для техники. Иногда, для блокировки отрицательного влияния железа, сплавы легируют марганцем в количествах 0,5-1,0%. В фазе $FeAl_3$ до 1/10 часть атомов железа может замещаться атомами марганца. В результате образуется новая фаза Al_3FeMn. Кристаллы указанной фазы отличаются более компактной формой в отличие от игольчатой структуры фазы $FeAl_3$.

Для изменения формы кристаллов интерметаллида в эвтектике (α-$Al+FeAl_3$), в качестве модифицирующего элемента нами были выбраны металлические кальций, стронций и барий, как поверхностно активные компоненты тройного сплава. Подобный подход позволяет разработать новые композиции сплавов на основе алюминия. Выбор исходного сплава Al+5мас.%Fe+10мас.%Si (АЖ5К10) объясняется тем, что состав данного сплава состоит из эвтектик (α-$Al+FeAl_3$) и (α-$Al+Si+FeSiAl_5$), которые примыкают к алюминиевому углу системы Al-Fe-Si и плавится при температуре 670-727 ^{0}C.

Повышенное содержание примесей, как кремний и железо в первичном алюминии и алюминиевых сплавах являются главным преткновением к их широкому применению в различных областях производства. Фазы с алюминием, которые образуются из примесей кремния и железа, в итоге приводят к внутренним дефектам, таких как структурной неоднородности, что оказывает отрицательное влияние на качество продукции. Следовательно, затратным являются очистки железа из алюминия.

Необходимость выполнения исследования по теме диссертации объясняется тем, что очистка алюминия от железа фильтрованием и другими способами является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Поэтому в качестве альтернативного варианта использования технического алюминия с повышенным содержанием железа в работе рассматривается разработка сплавов на основе системы алюминий-железо-кремниевых. Для этого в качестве легирующих элементов используются элементы кальция, стронция и

бария, так как в литературе сообщается об их положительном влиянии на электропроводность и коррозионную стойкость алюминия технической чистоты.

Тема диссертационной работы входила в проект «Разработка новых сплавов на основе некондиционного алюминия и изучение их физико-химических свойств (ГР 0116 TJ00548) выполняемой Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана на 2015-2020г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования изучение температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса), кинетике высокотемпературного окисления и коррозионно-электрохимического поведения алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, предназначенного в качестве конструкционного материала для нужд отдельных отраслей промышленности.

Задачи исследования:

- изучена температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием;
- изучена кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с указанными элементами в твердом состоянии и определен механизм процесса их окисления;
- изучено влияние добавок кальция, стронция и бария на анодное поведение и коррозионную стойкость алюминиевого сплава АЖ5К10 в нейтральной среде электролита NaCl;
- оптимизированы составы четырёхкомпонентных сплавов на основе установления их структуры, теплофизических, физико-химических свойств и определения возможных областей их использования.

Объектом исследования являлся алюминиевый сплав АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием на основе некондиционного алюминиевые производства Таджикской алюминиевой компании ГУП «ТАлКо».

Предметом исследования являлся алюминиевый сплав АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием на основе низкосортного металла с повышенным содержанием железа и кремния.

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

Отраслям исследования является материаловедения и технология синтеза новых алюминиевых сплавов на основе низкосортного алюминия.

Этапы исследования включают синтез и сертификацию новых алюминиевых сплавов, исследование их микроструктуры, изучения тепловых,

теплофизических, кинетических и анодных характеристик алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием.

Основная информация 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 (ERGOLUX AMC). 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 воспроизводимостью и сравнением результатов с данными других авторов.

Научная новизна исследований:

- установлены закономерности изменения теплоемкости и термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием в зависимости от температуры и количества модифицирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, увеличиваются, а значение энергия Гиббса уменьшается. С увеличением доли модифицирующего компонента в сплаве АЖ5К10 энтальпия и энтропия уменьшаются, а энергия Гиббса увеличивается;

- показано, что с ростом температуры скорость окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, в твердом состоянии увеличивается. Константа скорости окисления имеет порядок 10^{-4}, кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Установлено, что окисление сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием описывается гиперболическим уравнением;

- потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки модифицирующих компонентов до 1,0 мас.% увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава АЖ5К10 на 50-80%. При этом отмечается сдвиг электрохимических потенциалов в положительную область значений. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием наблюдается рост скорости коррозии, далее к сплавам с барием его уменьшение (для сплавов с 1,0 мас.% добавки).

Теоретическая ценность исследования. В диссертации изложены теоретические аспекты исследований влияния структуры, температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций, закономерности изменений кинетических и энергетических характеристик коррозионно-электрохимическое поведение, алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием; влияние коррозионной среды и концентрации модифицирующих добавок на коррозионной стойкости и окисляемости алюминиевого сплава АЖ5К10.

Практическая ценность исследований заключается в разработке состава новых сплавов и металлургического способа улучшения коррозионной стойкости алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированием кальцием, стронцием, барием, и защите их малыми патентами Республики Таджикистан.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования температурных зависимостей теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием;
- кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, а также механизм окисления сплавов. Результаты идентификации продуктов окисления сплавов и установления их роли в формировании механизма окисления;
- зависимости анодных характеристик и скорости коррозии алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, от концентрации модифицирующего компонента в среде электролита NaCl;
- оптимальные составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью и повышенной коррозионной стойкостью, представляющие интерес в качестве анодного материала для изготовления протекторов, при защите от коррозии стальных конструкций и сооружений.

Личный вклад соискателя заключается в анализе литературных данных, в постановке и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, в формулировке основных положений и выводов диссертации.

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

Международных: XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM - 2019». Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва (г.Астана, 2019); XXI Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество». Сибирский государственный индустриальный университет (г.Новокузнецк, 2019); Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, соискателей и учёных «Мухандис-2019». Таджикский технический университет им. М.С. Осими (г.Душанбе, 2019); IV Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», посвященной памяти д.х.н., профессоров Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. Таджикский национальный университет (г.Душанбе, 2019); VII Международной научно-практической конференции «ЛУЧШАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ 2017» (г.Пенза, 2017); XXI Международной научно-практической конференции «Исследование различных направлений современной науки» (г.Москва, 2017); Международной конференции «Перспективы развития физической науки», посвященной памяти (80-летию) профессора Хакимова Ф.Х. Таджикский национальный университет

(г.Душанбе, 2017).

Республиканских: Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». Российско-Таджикский (Славянский) университет (г.Душанбе, 2019); Республиканской научно-практической конференции (с международном участием) «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в СОШ и ВУЗах» и «Инновация в преподавании естественных наук», посвященной 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Таджикский национальный университет (г.Душанбе, 2019); Республиканкой научно-практической конференции «Наука и техника для устойчивого развития» (г.Душанбе, 2018); Республиканской научно-практической конференции «Стратегия и аспекты развития горной промышлености Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Душанбе (г.Душанбе, 2017); Научно-практическом семинаре «Наука-производству», посвященной 100- летию НИТУ «МИСиС» (г.Турсунзаде, 2017).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликованы 6 статей в журналах рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и 13 статей в материалах международных и республиканских конференций, а также получено 2 малых патента Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 136 страницах компьютерного набора, включая 32 таблицы, 66 рисунков и 106 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 железом, кремнием, кальцием, стронцием и барием; теплофизические свойства алюминия, железа, кремния, кальция, стронция и бария; особенности окисления и коррозионно-электрохимического поведения сплавов алюминия с железом, кремнием, кальцием, стронцием и барием в различных средах. На основе выполненного обзора показано, что теплофизические свойства алюминия, железа, кремния, кальция, стронция и бария хорошо изучены. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Однако в литературе отсутствует информация о физических свойствах коррозионно-электрохимическом поведении и особенностях окисления сплава АЖ5К10 с кальция, стронция и бария.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

Во второй главе приведены результаты исследования теплофизических свойств и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 с щелочноземельными металлами.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием, в твердом состоянии.

В четвертой главе приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием, в среде электролита NaCl.

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

ГЛАВА 2. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ

Одним из методов, позволяющим корректно установить температурную зависимость теплоемкости металлов и сплавов в области высоких температур, является метод сравнения скоростей охлаждения двух образцов, исследуемый и эталонный по закону охлаждения Ньютона – Рихмана.

Расчет теплоемкости основывается на следующих уравнениях. Количество тепла, переданное образцов объёма dV за время $d\tau$, равно

$$\delta Q = C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV, \qquad (1)$$

где C_P^0-удельная теплоемкость металла, p-плотность металла, T-температура образца (принимается одинаковая во всех точках образца, так как линейные размеры тела, малы, а теплопроводность металла велика).

Величину δQ можно подсчитать кроме того по закону Ньютона-Рихмана

$$\delta Q = a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau, \qquad (2)$$

где dS-элемент поверхности, T_0-температура окружающей среды, a-коэффициент теплоотдачи.

Приравнивая выражения (1) и (2), получим

$$C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \qquad (3)$$

Количество тепла, которое теряет весь объем образца, равно

$$Q = \int_V C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = \int_S a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \qquad (4)$$

Полагая, что C_P^0, p не зависят от координатах точек объема, а a, T и T_0 не зависят от координат точек поверхности образца, может написать

$$C_P^0 \cdot p \cdot V \frac{dT}{d\tau} = a(T - T_0)S, \qquad (5)$$

или

$$C_P^0 \cdot m \frac{dT}{d\tau} = a(T - T_0)S, \qquad (6)$$

где V – объем всего образца, а $\rho \bullet V = m$ – масса,

S – площадь поверхности всего образца.

Соотношение (6) для двух образцов одинакового размера при допущении, что $S_1 = S_2$, $T_1 = T_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$ пишется так

$$C_{P_1}^0 = C_{P_2}^0 \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1} = C_{P_2}^0 \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_2}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_1}. \quad (7)$$

Следовательно, зная массы образцов m_1 и m_2, скорости их охлаждения и удельную теплоемкость $C_{P_1}^0$, можно вычислить скорость охлаждения и удельную теплоемкость $C_{P_2}^0$, из уравнения

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

где $m_1=\rho_1 V_1$ –масса первого образца, $m_2=\rho_2 V_2$ –масса второго образца, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ - скорости охлаждения образцов при данной температуре.

Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения (термограммы) данных образцов. Кривая охлаждения представляет собой зависимость температуры образца от времени при охлаждении его в неподвижном воздухе.

Сплавы алюминия с железом, кремнием и щелочноземельными металлами получали в шахтной лабораторной печи СШОЛ при температуре 850-900 ^{0}C с добавлением лигатуры алюминия с 10 мас.% Ca, Sr и Ba к сплаву АЖ5К10. Контроль элементного состава сплавов проводился в Центральной заводской лаборатории Алюминиевой компании ГУП «ТАлКо», а также взвешиванием шихты и полученных сплавов. Образцы сплавов имели размер длиной 30 мм и диаметром 16 мм для исследования теплоемкости. Теплоемкость сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, измеряли в режиме «охлаждения».

Нами исследование теплоёмкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на рисунке 1. Схема установки для измерения теплоёмкости твёрдых тел, включает узлы: электропечь (3), смонтированная 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. Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 и 9).

Электропечь 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 электропечь нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показания цифровых термометров

на компьютере (10). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра на компьютер через каждый 10с, до охлаждения температуры образца и эталона ниже 35 ^{0}С.

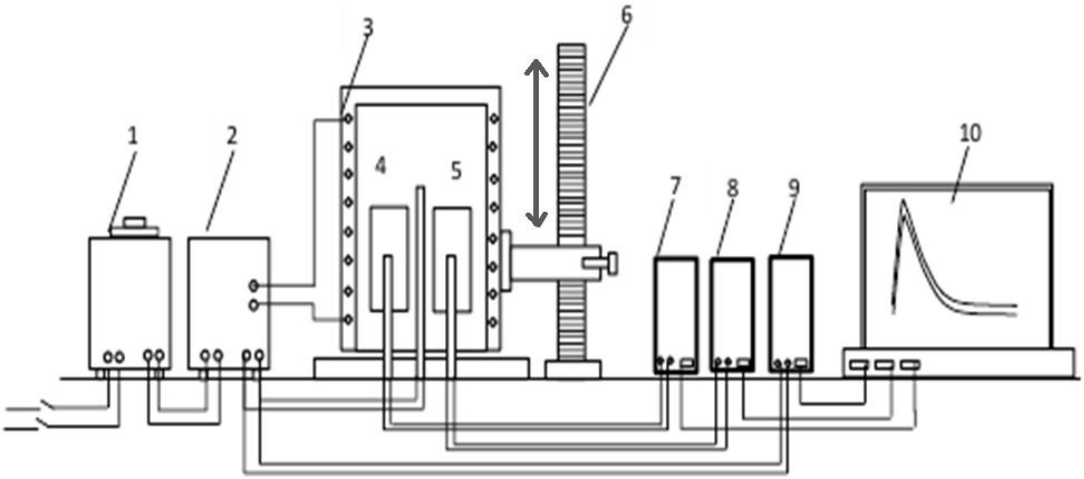


Рисунок 1 – Установка для определения теплоёмкости твёрдых тел в режиме «охлаждения»**:** 1-автотрансформатор; 2-терморегулятор; 3-электропечь; 4-образец измеряемый; 5-эталон 6-стопка электропечи; 7-цифровой термометр измеряемого образца; 8-цифровой термометр общего назначения; 9-цифровой термометр эталона; 10-регистрационный прибор.

Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы «MS Excel». Графики строились с использованием программы «Sigma Plot». Коэффициент корреляции Rкорр = 1,0 ÷ 0,9507 подтверждал правильность выбора аппроксимирующей функции. Для определения температуры использовали многоканальный цифровой термометр, который позволял фиксировать результаты измерений прямо на компьютере в виде таблиц. Временной интервал фиксации температуры составлял 10 секунд. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 40 ^{0}С до 400 ^{0}С составляла ±1%, а в интервале более 400 ^{0}С ±2.5%. Погрешность измерение теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4%.

Полученные зависимости температуры сплавов от времени с достаточной точностью описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \qquad (9)$$

где *a, b, p, k*-постоянные для данного образца; τ-время охлаждения.

Дифференцируя (9) по τ, получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплавов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \qquad (10)$$

По этой формуле нами были вычислены скорости охлаждения эталона и образцов из сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием. Графики температуры охлаждения изучаемых образцов из сплавов от времени представлены на рисунке 2. Процесс охлаждения для всех образцов

достаточно близка друг к другу и температуры идентично уменьшаются. При охлаждении на кривых для образцов из сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием не обнаружены термические остановки, связанные с фазовым переходом или превращением.

Кривые скорости охлаждения сплавов от температуры представлены на рисунке 3. Обработкой их установлены экспериментальные значения коэффициентов *a, b, p, k, ab, pk* уравнения (9), которые приведены в таблице 1. Расчет скорости охлаждения образцов проводился по уравнению (10).

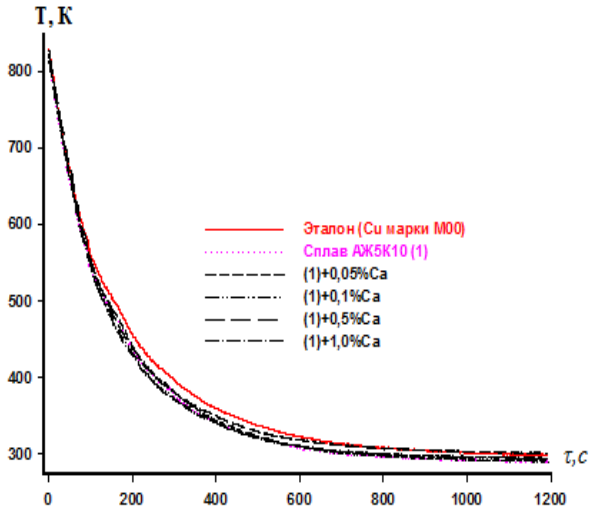


Рисунок 2 – Зависимость температуры от времени охлаждения для образцов из алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки M00)

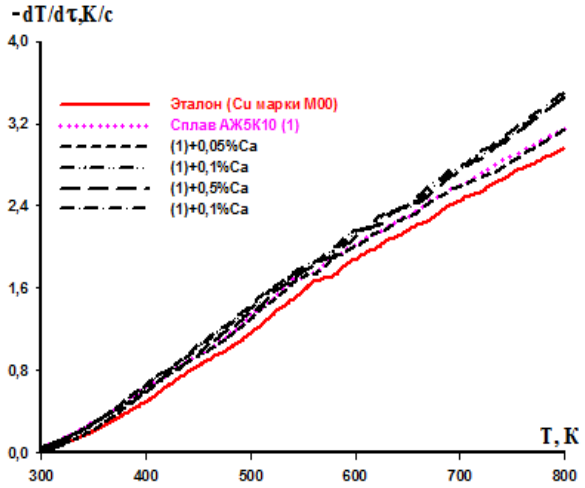


Рисунок 3 – Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки M00)

Таблица 1 – Значения коэффициентов *a, b, p, k, ab, pk* в уравнении (9) для алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки M00)

Содержание кальция в сплаве, мас.%	*a*, *K*	$b \cdot 10^{-3}$, c^{-1}	*ρ*, *K*	$k \cdot 10^{-5}$, c^{-1}	$a \cdot b$, $K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}$, $K \cdot c^{-1}$
Сплав АЖ5К10	488,57	6,64	309,43	5,30	3,25	1,64
0,05	494,58	6,59	311,79	5,80	3,26	1,81
0,1	503,26	7,14	313,81	5,20	3,60	1,63
0,5	503,44	7,29	325,14	6,40	3,67	2,08
1,0	498,91	7,24	314,21	5,39	3,61	1,69
Эталон	481,34	6,48	329,32	8,12	3,12	2,67

Для определения удельной теплоемкости сплава АЖ5К10 с кальцием использовали формулу (8). Были получены полиномы температурной зависимости удельной теплоемкости сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки M00), описываемые уравнением

$$C_P^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \qquad (11)$$

Значения коэффициентов уравнении (11) представлены в таблице 2.

В таблице 3 приведены результата расчета температурной зависимости удельной теплоемкости сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона через 100К. Видно, что в исследованном температурном интервале с ростом температуры теплоемкость сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием растёт, а от содержания кальция уменьшается.

Таблица 2 – Значения коэффициентов *a*, *b*, *c*, *d* в уравнении (11) для алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00)

Содержание кальция в сплаве, мас.%	*a*, Дж/кг·К	$b \cdot 10^{-2}$, Дж/кг·К^2	$c \cdot 10^{-5}$, Дж/кг·К^3	$d \cdot 10^{-8}$, Дж/кг·К^4	Коэффициент корреляции *R*
Сплав АЖ5К10	-4,0493	2,95	-5,3	3,13	0,9570
0,05	-3,8881	2,83	-5,1	2,95	0,9599
0,1	-4,3605	3,11	-5,6	3,26	0,9507
0,5	-4,5189	3,15	-5,6	3,2	0,9568
1,0	-4,5015	3,18	-5,7	3,37	0,9509
Эталон	0,3245	0,0275	-0,0287	0,0142	1,0000

Таблица 3 – Температурная зависимость удельной теплоёмкости (кДж/кг·К) алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00)

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ5К10	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
0,05	0,8399	1,2159	1,2869	1,2299	1,2219	1,4399
0,1	0,8187	1,2219	1,2895	1,2171	1,2003	1,4347
0,5	0,7821	1,2171	1,3061	1,2411	1,2141	1,4171
1,0	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
Эталон	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

Используя вычисленные данные по теплоемкости сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием и экспериментально полученные скорости охлаждения образцов, был рассчитан коэффициент теплоотдачи (*a*, Вт/м^2·К) для алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00) по следующей формуле

$$a = \frac{C_P^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S}. \qquad (12)$$

Для сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, температурная зависимость коэффициента теплоотдачи представлена в таблице 4.

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (13)-(15) для сплава АЖ5К10 с кальцием были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (11)

$$\left[H^0(T) - H^0(T_0)\right] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (13)$$

$$\left[S^0(T) - S^0(T_0)\right] = a\ln\frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (14)$$

$$\left[G^0(T) - G^0(T_0)\right] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (15)$$

где T_0 = 298,15 К.

Таблица 4 – Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи (Вт/К·м^2) алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00)

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ5К10	0,0043	0,0578	0,1028	0,1341	0,1521	0,1658
0,05	0,0043	0,0564	0,1005	0,1336	0,1512	0,1647
0,1	0,0023	0,0592	0,1078	0,1413	0,1605	0,1812
0,5	0,0015	0,0535	0,1043	0,1382	0,1588	0,1797
1,0	0,0024	0,0581	0,1053	0,1378	0,1569	0,1772
Эталон	0,0033	0,0452	0,0890	0,1217	0,1387	0,1501

Таблица 5 – Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00)

Содержание кальция в сплаве, мас.%	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Сплав АЖ5К10	1,560	108,701	236,247	362,108	482,973	614,314
0,05	1,535	106,988	232,915	357,568	476,895	604,548
0,1	1,504	107,145	234,697	360,379	479,970	608,812
0,5	1,435	105,079	233,322	361,165	482,809	611,652
1,0	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
Эталон	0,712	39,869	80,168	121,419	163,517	206,442
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов						
Сплав АЖ5К10	0,005	0,311	0,595	0,825	1,011	1,186
0,05	0,005	0,308	0,590	0,819	1,004	1,175
0,1	0,005	0,306	0,591	0,820	1,004	1,176
0,5	0,005	0,300	0,586	0,819	1,007	1,178
1,0	0,005	0,293	0,566	0,785	0,960	1,125
Эталон	0,002	0,115	0,205	0,280	0,345	0,402
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов						
Сплав АЖ5К10	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
0,05	-0,018	-16,219	-62,250	-133,876	-226,008	-335,649
0,1	-0,005	-15,317	-60,556	-131,537	-223,006	-331,952
0,5	-0,004	-14,905	-59,559	-130,257	-221,819	-331,039
1,0	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
Эталон	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

* T_0 = 298,15 К.

Результаты расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона по уравнениям (13)-(15) через 100К представлены в таблице 5.

В таблицах 6, 7 обобщены результаты исследования теплофизических и термодинамических свойств алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием для сплава, содержащего 1.0мас.% четвёртого компонента.

Таблица 6 – Температурная зависимость удельной теплоёмкости алюминиевого сплава АЖ5К10 с 1.0мас.% кальцием, стронцием и барием и эталона (Cu марки М00)

Содержание ЩЗМ в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ5К10	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
1,0%Ca	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
1,0%Sr	0,7579	1,1702	1,2421	1,1710	1,1543	1,3894
1,0%Ba	0,7582	1,1573	1,2176	1,1389	1,1210	1,3637
Эталон	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

Таблица 7 – Температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ5К10 с 1,0мас.% кальцием, стронцием и барием и эталона (Cu марки М00)

Содержание ЩЗМ в сплаве, мас.%	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Сплав АЖ5К10	1,560	108,701	236,247	362,107	482,973	614,314
1,0%Ca	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
1,0%Sr	1,391	101,455	224,084	345,108	460,098	584,362
1,0%Ba	1,429	102,900	225,676	345,867	459,563	582,834
Эталон	0,712	39,869	80,168	121,419	163,517	206,442
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов						
Сплав АЖ5К10	0,0052	0,3108	0,5952	0,8249	1,0112	1,1862
1,0%Ca	0,0047	0,2929	0,5661	0,7851	0,9604	1,1252
1,0%Sr	0,0047	0,2897	0,5630	0,7839	0,9612	1,1268
1,0%Ba	0,0048	0,2939	0,5677	0,7870	0,9623	1,1266
Эталон	0,0024	0,1149	0,2048	0,2800	0,3449	0,4022
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов						
Сплав АЖ5К10	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
1,0%Ca	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
1,0%Sr	-0,004	-14,413	-57,425	-125,218	-212,725	-317,050
1,0%Ba	-0,004	-14,675	-58,154	-126,346	-214,067	-318,430
Эталон	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

$^*T_0$ = 298,15 К.

Видно, что от температуры наблюдается рост теплоемкости (таблица 6) и при переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием теплоемкость растёт и далее к сплавам с барием уменьшается.

В целом характеристики теплофизических свойств и изменений термодинамических функций алюминиевых сплавов систем АЖ5К10 – Ca (Sr, Ba) показали, что с повышением температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшается. От концентрации ЩЗМ теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов АЖ5К10 уменьшаются, а значение энергии Гиббса увеличивается.

ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10 С КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ, В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

В данном разделе представлены результаты изучения влияния добавок кальция на окисление алюминиевого сплава АЖ5К10. Содержание кальция в сплаве составляло 0.01-1.0 мас.%. Эксперименты проведены при температурах 773, 823 и 873 К в атмосфере воздуха. Результаты исследования обобщены в таблицах 8, 9 и на рисунках 4-7.

Расчеты значений кажущейся энергии активации окисления сплавов показали, что модифицирование кальцием до 1.0 мас.% сплава АЖ5К10 повышает скорость его окисления. При этом значение кажущейся энергии активации окисления уменьшается с 178,0 до 120,8 кДж/моль (таблица 8). Если сравнить скорости окисления сплавов при одинаковых температурных то можно увидеть, что у алюминиевого сплава АЖ5К10 содержащего 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 и 1.0 мас.% кальций скорость окисления больше по сравнению с исходным сплавом.

По уравнению $K=g/s\cdot\Delta t$ рассчитана скорость окисления, сплавов по касательным, проведенным от начала координат к кривым окисления. Для алюминиевого сплава АЖ5К10, например с содержанием 1.0 % кальция скорость окисления при температурах 773, 823 и 873 К изменяется от $2.54 \cdot 10^{-4}$ до $3{,}01\cdot10^{-4}$ кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Численное значение величины энергии активации процесса окисления сплавов различного состава рассчитана нами по углу наклона зависимости lgK-1/T. Например, для сплава АЖ5К10 с 1,0 мас.% кальцием она равна 120,8 кДж/моль (таблица 8).

Отмечается повышение скорости окисления образцов из сплавов с ростом температуры (рисунок 4). Окисление сплавов протекает по разному. Первоначально процесс окисления интенсивно растёт. Через 20 мин. процесс становится близким к нулю. Отмечается проявление защитного оксидного слоя.

На рисунке 5 в координатах $(g/s)^2$-t представлены кинетические кривые процесса окисления для алюминиевого сплава АЖ5К10 и сплава с 0,01 мас.% кальцием. Видно, что кривые не укладываются в прямую линию, что свидетельствует о непараболическом механизме окисления сплавов.

В таблице 9 приведены полученные математической обработкой квадратичных кривых процесса окисления сплавов системы АЖ5К10 – Ca. Установленные модели свидетельствуют о гиперболическом механизме

процесса окисления исследованных сплавов, о чём свидетельствует значение n в уравнении $y = kx^n$, которое составляет $n = 2 \div 3$.

Таблица 8 – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, в твердом состоянии

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^4$, кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль
0.0	773	1.42	178.0
	823	1.61	
	873	1.76	
0.01	773	1.72	170.3
	823	1.92	
	873	2.10	
0.05	773	1.90	159.7
	823	2.13	
	873	2.32	
0.1	773	2.07	142.2
	823	2.40	
	873	2.56	
0.5	773	2.28	136.5
	823	2.64	
	873	2.79	
1.0	773	2.54	120.8
	823	2.91	
	873	3.01	

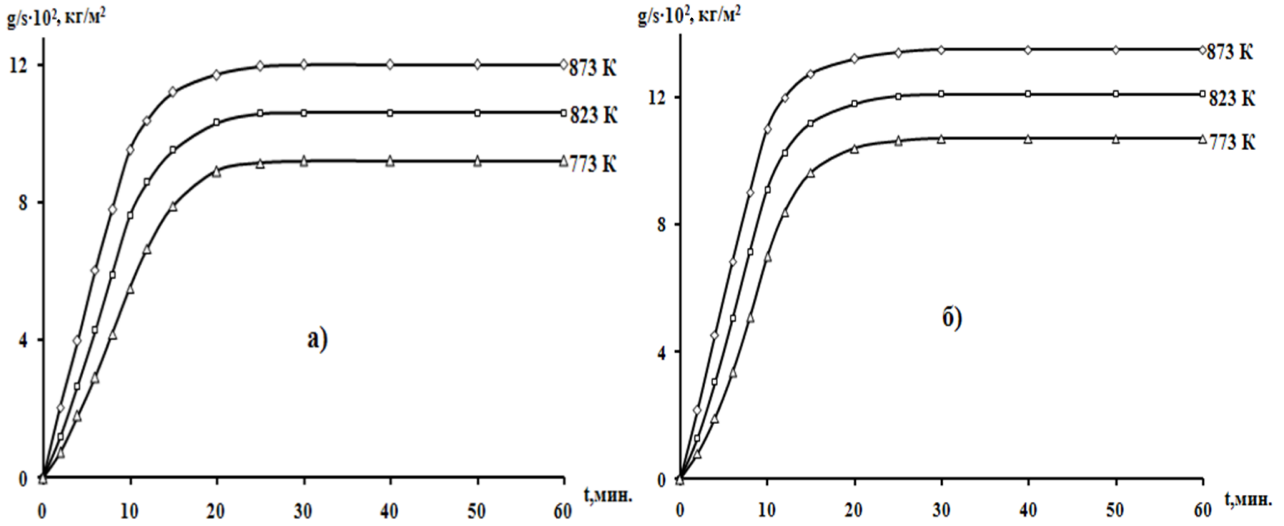


Рисунок 4 – Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 (а), содержащего 0.01 мас.% (б) кальция, в твердом состоянии

На рисунке 6 приведены изохронны окисления сплавов за времени окисления 10 и 20 минут при температуре 773. Установлено, что с увеличением

содержание кальция в исходном сплаве привес растёт. Кажущаяся энергия активации окисления с ростом содержания кальцием уменьшается.

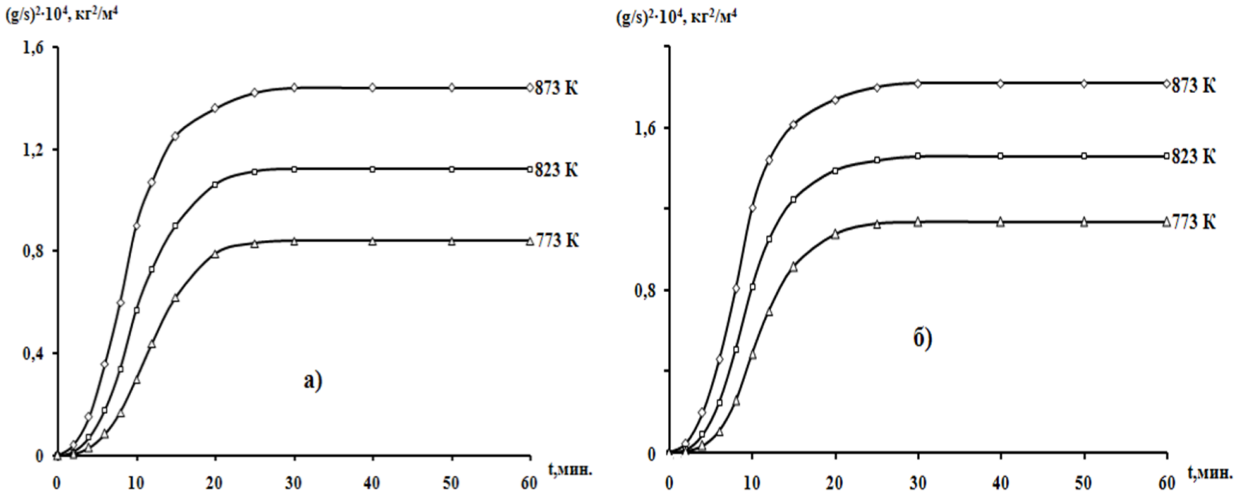


Рисунок 5 – Квадратичные кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 (а), содержащего 0.01 мас.% (б) кальция, в твердом состоянии

Таблица 9 – Результаты математической обработки квадратичных кинетических кривых окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, в твердом состоянии

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Полиномы кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции R
0.0	773	$y_* = 0{,}3\cdot10^{-5}x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}054x^2 + 1{,}420x^{**}$	0,988
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}062x^2 + 1{,}609x$	0,991
	873	$y = 0{,}3\cdot10^{-5}x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}059x^2 + 1{,}736x$	0,996
0.01	773	$y = -0{,}1\cdot10^{-5}x^4 + 0{,}001x^3 - 0{,}064x^2 + 1{,}379x$	0,984
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}063x^2 + 1{,}509x$	0,992
	873	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}064x^2 + 1{,}646x$	0,997
0.05	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}061x^2 + 1{,}328x$	0,992
	823	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}058x^2 + 1{,}755x$	0,990
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}059x^2 + 1{,}565x$	0,996
0.1	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}324x$	0,994
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}574x$	0,995
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}061x^2 + 1{,}755x$	0,993
0.5	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}347x$	0,990
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}065x^2 + 1{,}575x$	0,992
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}062x^2 + 1{,}765x$	0,995
1.0	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}057x^2 + 1{,}367x$	0,993
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}065x^2 + 1{,}582x$	0,995
	873	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}057x^2 + 1{,}367x$	0,993

y^* - привес массы сплавов; x^{**} - продолжительность времени окисления.

Зависимость lgK-1/T (рисунок 7) приведена для алюминиевого сплава АЖ5К10, с добавками кальция. Минимальное значение энергии активации (120.8 кДж/моль) соответствует сплаву с содержанием 1.0 % кальция. Скорость окисления данного сплава максимальна и равна $3.01 \cdot 10^{-4}$ кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$ при 873 К. Другие составы по сравнению с указанным сплавом имеют меньшее значение скорости окисления.

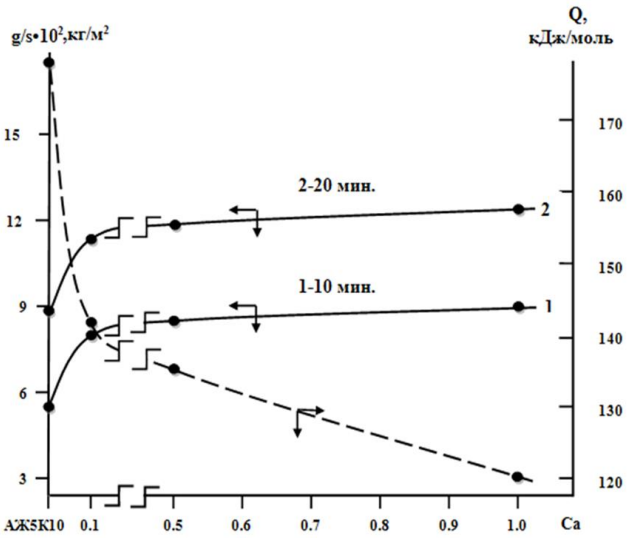


Рисунок 6 – Изохронны окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием при температуре 773 К.

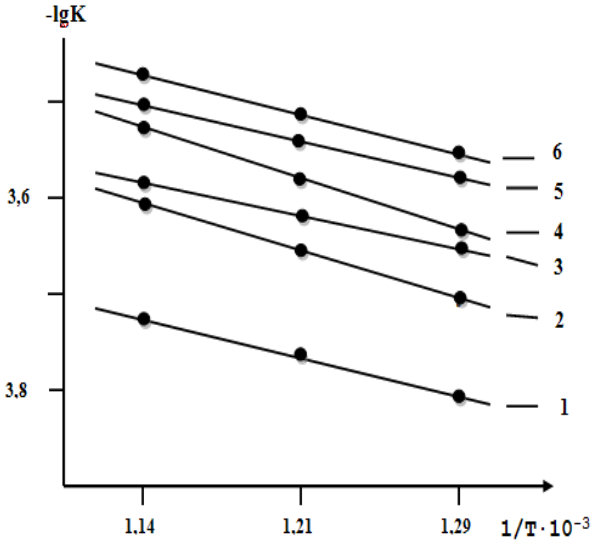


Рисунок 7 – Зависимость lgK от 1/T для сплава АЖ5К10 (1) с кальцием, мас.%: 0.01(2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5).

Величины эффективной энергии активации процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, различной концентрации приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Сравнительное значение эффективной энергии активации (кДж/моль) с процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием

Содержание компонентов в сплаве, мас.%	Добавка, мас.%					
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Ca	178.0	170.3	159.7	142.2	136.5	120.8
Sr	178.0	161.8	149.9	134.5	123.3	110.1
Ba	178.0	147.5	131.3	118.8	109.1	98.5

Видно, что при переходе от сплавов с кальцием к сплавам с барием величина эффективной энергии активации уменьшается, и вместе с этим устойчивость сплавов к высокотемпературному окислению падает. Это в целом, коррелируется со свойствами щелочноземельных металлов, у которых в пределах подгруппы при переходе от кальция к барию химическая активность характеризуется ростом.

ГЛАВА 4. ПОТЕНЦИОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ5К10, МОДИФИЦИРОВАННОГО КАЛЬЦИЕМ, СТРОНЦИЕМ И БАРИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Из полученных сплавов отливали в графитовую изложницу стержни диаметром 8 мм 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, обезжиривали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная 20 ^{0}C с помощью термостата МЛШ-8. Для изучения электрохимических свойств тройных 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 хлорсеребряный, вспомогательным - платиновый. Образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питингообразования. Затем образцы поляризовали в обратном направлении и по пересечению кривых определяли величину потенциала репассивации. Далее шли в катодную область до значения потенциала -1,2 В 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 таффеловской наклонной $в_к$ = 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: $К = i_{кор.} \cdot к$, где к = 0.335 г/А· час для алюминия.

Результаты исследований представлены в таблицах 11 и 12. Результаты исследования свидетельствуют, что в первые минуты погружения сплава в раствор электролита NaCl происходит резкое смещение потенциала свободной коррозии (стационарного потенциала) в положительную область. У сплавов со стронцием стабилизация потенциала свободной коррозии наблюдается в течение 30-40 мин. Динамика изменения потенциала свободной коррозии в среде электролита NaCl различной концентрации похожи.

Исследования показывают, что добавки кальция, стронция и бария в пределах 0.01-1.0 мас.% способствуют смещению потенциала свободной коррозии (стационарного потенциала) в положительную область как в среде 3%-ного NaCl, так и в средах 0.3% и 0.03%-ного NaCl. При этом потенциалы питингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (таблица 11).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0.01-1.0% кальция, стронция и бария в 1.5-2.0 раза меньше, чем у исходного алюминиевого сплава АЖ5К10 (таблица 12). Добавки кальция, стронция и бария к сплаву АЖ5К10 способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чём свидетельствует смещение в более положительную область анодных ветвь патенциодинамических кривых, модицированных сплавов.

Таблица 11 – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) и питтингообразования ($-E_{п.о.}$, В) сплавов систем АЖ5К10-Ca (Sr, Ba), в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание ЩЗМ в сплаве, мас.%	Сплавы с Ca		Сплавы со Sr		Сплавы с Ba	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$
0.03	-	0.750	0.645	0.750	0.645	0.750	0.645
	0.01	0.621	0.530	0.618	0.486	0.614	0.500
	0.1	0.595	0.500	0.594	0.468	0.588	0.476
	0.5	0.584	0.488	0.580	0.456	0.575	0.462
	1.0	0.576	0.476	0.570	0.444	0.564	0.450
0.3	-	0.950	0.660	0.950	0.660	0.950	0.660
	0.01	0.776	0.588	0.764	0.558	0.760	0.564
	0.1	0.760	0.558	0.752	0.532	0.746	0.538
	0.5	0.750	0.542	0.746	0.524	0.738	0.526
	1.0	0.742	0.530	0.738	0.512	0.732	0.514
3.0	-	1,000	0.700	1,000	0.700	1,000	0.700
	0.01	0.832	0.600	0.830	0.620	0.824	0.586
	0.1	0.808	0.578	0.804	0.592	0.800	0.560
	0.5	0.796	0.566	0.792	0.584	0.788	0.548
	1.0	0.788	0.552	0.784	0.572	0.780	0.534

При этом по мере увеличения концентрации хлорид – иона в электролите NaCl скорость коррозии сплавов увеличивается не зависимо от содержания модифицирующего компонента – кальция, стронция и бария, что сопровождается смещением в положительную область потенциалов коррозии, питингообразования и репассивации. Данная зависимость характерна для всех сплавов не зависимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. При переходе от сплавов содержащих кальция к сплавам со стронцием наблюдается рост скорости коррозии, далее к сплавам с барием его уменьшение, что коррелируется со свойствами самых металлов. Для сплава алюминия с железом и кремнием, также, характерна рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите (таблица 12).

Таблица 12 – Зависимость скорости коррозии сплавов систем АЖ5К10-Ca (Sr, Ba), в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание ЩЗМ в сплаве, мас.%	Скорость коррозии					
		сплавов с Ca		сплавов со Sr		сплавов с Ba	
		$i_{кор.}\cdot10^2$	$K\cdot10^3$	$i_{кор.}\cdot10^2$	$K\cdot10^3$	$i_{кор.}\cdot10^2$	$K\cdot10^3$
		А/м^2	г/м^2·час	А/м^2	г/м^2·час	А/м^2	г/м^2·час
0.03	-	12.39	3.7	12.39	3.7	12.39	3.7
	0.01	11.39	3.4	11.72	3.5	12.06	3.6
	0.1	9.04	2.7	10.05	3.0	10.38	3.1
	0.5	8.04	2.4	9.38	2.8	9.04	2.7
	1.0	7.03	2.1	8.71	2.6	8.37	2.5
0.3	-	15.42	4.6	15.42	4.6	15.42	4.6
	0.01	12.73	3.8	14.74	4.4	14.07	4.2
	0.1	10.05	3.0	13.06	3.9	12.39	3.7
	0.5	9.04	2.7	12.39	3.7	11.30	3.4
	1.0	8.04	2.4	11.30	3.4	10.38	3.1
3.0	-	19.43	5.8	19.43	5.8	19.43	5.8
	0.01	17.42	5.2	18.76	5.6	18.42	5.5
	0.1	15.07	4.5	16.75	5.0	17.08	5.1
	0.5	14.07	4.2	16.08	4.8	16.08	4.8
	1.0	13.40	4.0	15.41	4.6	15.07	4.5

В целом можно отметить, что добавки модифицирующего элемента (кальций, стронций и барий) к исходному сплаву АЖ5К10 оказывают модифицирующее влияние, то есть существенно изменяют форму кристаллов интерметаллида Fe_2SiAl_8 и $FeSiAl_5$ от игольчатого к шаровидному, также сокращается их размер. Результатом этого является повышение коррозионной стойкости модифицированных сплавов более чем в 2 раза по сравнению с исходным сплавом АЖ5К10. При этом значительно затормаживается анодный процесс коррозии в результате улучшения структуры оксидных пассивных плёнок, уменьшение его электронной проводимости. Таким образом, установлено положительное влияние модифицирующих добавок кальция, стронция и бария на анодные характеристики и скорость коррозии сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl (таблица 12).

На основании проведенных исследований можно заключить, что установленные закономерности могут использоваться при разработке состава новых композиций сплавов на основе низкосортного некондиционного алюминия для нужд технологии противокоррозионной защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты исследования.

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием. Показано, что с ростом концентрации модифицирующего компонента и температуры теплоемкость сплавов увеличивается. При переходе

от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием величина теплоемкости и коэффициента теплоотдачи сплавов уменьшается [1, 2, 9, 11, 12, 13-А].

2. Исследованиями температурных зависимостей изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 с элементами подгруппы кальция показано, что при переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием величины энтальпии и энтропии уменьшаются. С ростом температуры энтальпия и энтропия сплавов растут, значение энергии Гиббса уменьшается [1, 2, 9, 11, 12, 13-А].

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием. Установлено, что окисление сплавов описывается гиперболой уравнения с истинной скоростью окисления порядка 10^{-4}, кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления относятся к сплаву АЖ5К10 с кальцием, а максимальные к сплавам со стронцием [10-А].

4. Установлено, что фазовый состав продуктов окисления определяется активностью металла, входящего в состав сплава, который играет основную роль в формировании на поверхности образцов сплава оксидной пленки. Доминирующей фазой в продуктах окисления сплавов является оксид алюминия [10-А].

5. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием. Показано, что добавки модифицирующего компонента в пределах 0.01-1.0 мас.% на 50-80% повышают коррозионную стойкость исходного алюминиевого сплава АЖ5К10 в среде электролита NaCl [3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21-А].

6. Изучением коррозионно-электрохимического поведения алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием в среде электролита NaCl показано, что добавки модифицирующих элементов независимо от состава электролита уменьшают скорость коррозии исходного сплава. Также исследованием влияния хлорид-иона на электрохимические характеристики алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием показано, что снижение его концентрации в 10 и 100 раз способствует уменьшению скорости коррозии сплавов в два раза и сдвигу электродных потенциалов в более положительную область [3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21-А].

7. На основании выполненных исследований разработаны составы новых сплавов, которые защищены двумя малыми патентами Республики Таджикистан. Сплавы в качестве анодов предлагаются для защиты от коррозии стальных конструкций и сооружений [7, 8-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

1. Установленные физико-химические параметры сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием рекомендуются для пополнения страниц соответствующих справочников.

2. Разработанные сплавы и способы их получения таже реконмендуется рекомендуются для использования другим предприятиями машиностроительной и хлопкоперерабатывающей промышленности, подведомственными 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

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

[1-А]. Ганиев, И.Н. Влияния кальция на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, А.Г. Сафаров // Вестник Казанского технологического университета. -2018. -Т. 21. -№ 8. -С. 11-15.

[2-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияние стронция на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, А.Г. Сафаров, Н.И. Ганиева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия естественных наук. -2018. -№ 3. -С. 61-67.

[3-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Амини Р.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». -2018. -Т. 18. -№ 3. -С. 5-15.

[4-А]. **Якубов, У.Ш.** Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (технологического университета). -2018. -№ 43 (69). -С. 23-27.

[5-А]. **Якубов, У.Ш.** О коррозионном потенциале сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами, в среде электролита NaCl / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Ганиева Н.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. -2018. -Т. 16. -№ 3. -С. 109-119.

[6-А]. Ганиев, И.Н. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, А.Х. Хакимов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. -2017. -№ 4 (22). -С. 57-62.

Изобретения по теме диссертации:

[7-А]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 860, C 22 C 21/00. Протекторный сплав на основе алюминия / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, Л.А. Бокиев, М.Ш. Джураева // №1701120; заявл.01.06.2017, опубл. 01.12.2017.

[8-А]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1004, МПК C 22 C 21/00. Протекторный сплав на основе алюминия / И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, А.Х. Хакимов, А.Г. Сафаров, Н.И. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** Дж.Х. Джайлоев // №1901275; заявл.25.01.2019, опубл. 14.06.2019.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[9-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияние стронция на изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов // Мат. XIV Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM - 2019». ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, г.Астана. -2019. -С. 1051-1055.

[10-А]. **Якубов, У.Ш.** Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Н.И. Ганиева, Дж.Х Джайлоев // Мат. XXI Межд. научно-прак. конф. «Металлургия: технологии, инновации, качество». СибГИУ, г.Новокузнецк. -2019. -С. 260-265.

[11-А]. **Якубов, У.Ш.** Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева // Мат. IV Межд. науч. конф. «Вопросы физической и координационной химии», посвяще. памяти д.х.н., профессор Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. ТНУ, г.Душанбе. -2019. -С. 111-115.

[12-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияния кальция на температурную зависимость изменений термодинамических функций сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева // Мат. Межд. научно-прак. конф. студенты, магистрантов, соискателей и учёных «Мухандис-2019». ТТУ им. М.С. Осими, г.Душанбе. -2019. -С. 48-52.

[13-А]. **Якубов, У.Ш.** Удельная теплоёмкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ5К10 со стронцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева, Л.А. Бокиев // Мат. Респ. научно-прак. конф. «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». РТСУ, г.Душанбе. -2019. -С. 365-369.

[14-А]. **Якубов, У.Ш.** Коррозия алюминиевого сплава АЖ5К10 с щелочноземельными металлами / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ганиев Н.И. // Мат. Респ. научно-прак. конф. (с международном участием) «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в СОШ и ВУЗах» и «Инновация в преподавании естественных наук», посвящ. 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. ТНУ, г.Душанбе. -2019. -С. 207-211.

[15-А]. **Якубов, У.Ш.** Потенциодинамическое исследование сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / У.Ш.

Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-прак. конф. «Наука и техника для устойчивого развития», ТУТ, г.Душанбе, -2018. -С. 215-217.

[16-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияние добавок кальция на коррозионный потенциал и потенциал питингообразования сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, Н.Р. Эсанов // Мат. VII Межд. научно-прак. конф. «Лучшая научная статья 2017», г.Пенза. -2017. -С. 19-25.

[17-А]. **Якубов, У.Ш.** Влияние бария и хлорид-иона на потенциал свободной коррозии сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, М.Ш. Джураева // Мат. XXI Межд. научно-прак. конф. «Исследование различных направлений современной науки». г.Москва. -2017. -С. 124-126.

[18-А]. **Якубов У.Ш.** Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Л.А. Бокиев // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Стратегия и аспекты развития горной промышлености Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г.Душанбе. -2017. -С. 179-181.

[19-А]. **Якубов, У.Ш.** Потенциодинамическое исследование сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, А.Х. Хакимов // Мат. научно-прак. семинара «Наука-производству» посвящ. 100 летию НИТУ «МИСиС». г.Турсунзаде. -2017. -С.36-38.

[20-А]. **Якубов, У.Ш.** Потенциал свободной коррозии сплава АЖ5К10 с кальцием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, Н.Р. Эсанов, М.Ш. Джураева // Мат. Межд. конф. «Перспективы развития физической науки», посвящ. памяти (80-летию) профессора Хакимова Ф.Х. ТНУ, г.Душанбе. -2017. -С. 177-180.

[21-А]. Ганиев, И.Н. Влияние железа на потенциал коррозии алюминия в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Л.А. Бокиев, **У.Ш. Якубов** // Мат. XIII Межд. научно-прак конф. «Нумановские чтения», посвящ.70-летию основании Института химии им. В.И. Никитина АН РТ и достижения химической науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан, г.Душанбе. -2016. -С. 121-124.

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

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 669.017:620.197

ЯКУБОВ Умарали Шералиевич

ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХӮЛАИ АЛЮМИНИЙИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси
6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав

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 химия, профессор, академики Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Ғаниев Изатулло Наврузович

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

номзади илмҳои техникӣ, дотсент, ходими калони илмии озмоишгоҳи коркарди ашёи гилхоку карбондори маҳаллии МД ИИТ «Металлургия»-и КВД «Ширкати алюминийи тоҷик»
Асрори Муродиён

Муассисаи пешбар: Институти энергетикии Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия 25 ноябри соли 2020, соати 9^{00} 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 МДИ «Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон шинос шавед: www.chemistry.tj

Автореферат санаи «____» _____ соли 2020 тавзеъ шудааст.

Котиби илмии
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои химия **Маҳкамов Ҳ.Қ.**

МУҚАДДИМА

Мубрамияти таҳқиқот. Маводи муосир барои таъминоти захираҳои зарурӣ, хосият ва сифати баланди этимоднокии кори маҳсулоти технологияҳои кайҳонӣ, мошинсозӣ, энергияи атомӣ, радиотехника, электроника ва ғайра бояд ба ҳисоб гирифт. Дар ин робита, истеҳсол ва истифодаи алюминий ва хӯлаҳои он, ки дорои зангзании баланд, муқовимати механикӣ ва дигар хусусиятҳои хос мебошанд, аҳаммияти хосса дорад.

Таваҷҷуҳи махсус барои мошинсозии муосир, хӯлаҳои рехтагарии алюминий бо хосиятҳои хӯлаҳои шабеҳи хӯлаҳои қадшаванда пешниҳод карда мешавад. Омилҳои асосии муайянкунандаи хусусиятҳои механикӣ ва технологии хӯлаи рехтагарӣ ин таркиб аз ҷумла ифлосиҳо ва газҳои зарарнок вобаста ба технологияи гудозиш инчунин аз таркиби ибтидоии маводҳо ва флюсҳо иборат аст.

Дараҷаи омӯзиши муаммои коркардашаванда, коркарди хӯлаҳои пастсифат дар асоси алюминийи ғайрикондинсионӣ бо роҳи ҷавҳаронидани сеюм элемент **масъалаи таъхирнопазир** мебошад. Чунин рафтор имконият медиҳад, ки металли ғайрикондинсиониро ба маҳсулоти муфид барои техника табдил дод. Баъзан, барои кам кардани таъсири манфии оҳан, хӯларо бо манган дар миқдори 0,5-1,0% ҷавҳаронида мешавад. Дар фазаи $FeAl_3$ то қисман 1/10 атомҳои оҳанро бо атомҳои манган иваз намуд. Дар натиҷа, фазаи нави Al_3FeMn ба вуҷуд меояд. Кристаллҳои фазаи нишондиҳандашудаи шакли дар муқоиса аз структураҳои фазаи шакли $FeAl_3$ нисбатан фарқ мекунад.

Барои тағйири шакли кристаллҳои интерметаллӣ дар эвтектикаи (α-Al + $FeAl_3$), яъне ба сифати ҷавҳаронидани металлҳои иловашавандаи калсий, стронсий ва барий ҳамчун ҷузъҳои фаъоли компоненти хӯлаи се интихоб карда шуданд. Чунин рафтор имконияти коркарди хӯлаи нави композисиониро дар асоси алюминий ташкил медиҳад. Интихоби хӯлаи ибтидоӣ Al+5вазн.%Fe+10вазн.%Si (АЖ5К10) онро мефаҳмонад, ки таркиби хӯлаи мазкур (α-Al + $FeAl_3$) ва (α-Al + Si + $FeSiAl_5$), иборат аз эвтектика буда ягона алоқа ба кунҷи алюминийи системаи Al-Fe-Si дар ҳароратҳои 670-727 ^{0}C гудохта мешавад.

Миқдори аз ҳад зиёди омехтаҳо, ба монанди слитсий ва оҳан дар алюминии аввалия ва хӯлаҳои алюминий монеаи асосӣ оид ба истифодаи васеи онҳо дар соҳаҳои гуногуни истеҳсолот мебошад. Фаза бо алюминий, ки аз омехтаҳои кремний ва оҳан ҳосил шуда, ҳамчун структураи гуногунтаркибӣ пайдо мегардад, ки ба сифати маҳсулот таъсири манфӣ мерасонад.

Зарурати гузаронидани таҳқиқот оид ба мавзӯи рисола бо он шарҳ дода мешавад, ки тозакунии алюминий аз оҳан тавассути полоиш ва дигар усулҳо меҳнатталаб ва гаронарзиш мебошад. Бинобар ин ба ҳайси варианти алтернативӣ коркарди истифодаи алюминии техникӣ бо миқдори зиёди оҳан дар кори мазкур коркарди хӯлаҳо дар асоси системаи алюминий-оҳану-кремний дида баромада шудааст. Барои ин ба ҳайси унсурҳои ҷавҳаронӣ элементҳои калсий, стронсий ва барий мавриди истифода қарор мегиранд, зеро дар адабиёт оиди таъсири мусбати онҳо ба баркгузаронандагӣ ва устувории зидди зангзании алюминии тозаи техникӣ маълумот дода мешавад.

Мавзӯи рисола дар барномаи лоиҳаи «Коркарди хӯлаҳои нав дар асоси алюминийи ғайрикондетсионӣ ва омӯзиши хосиятҳои физикавӣ-химиявии онҳо (Рақами бақайдгирии давлати 0116TJ00548)» дар Институти химияи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон дар солоҳои 2015-2020 иҷро шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади таҳқиқот омӯзиши вобастагии гармиғунҷоиш ва тағийрёбии функсияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) аз ҳарорат; кинетикаи оксидшавии баландҳарорат ва рафтори коррозионно-электрохимиявии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, ки ба сифати маводҳои конструксионӣ барои соҳаҳои алоҳидаи саноат пешкаш карда мешавад.

Вазифаи таҳқиқот:

- омӯхтани вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда;
- омӯхтани хусусиятҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо элементҳои номбаршуда, ҷавҳаронидашуда ва муайян намудани механизми раванди оксидшавӣ;
- омӯзиши иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба рафтори анодӣ ва ба коррозия устуворӣ хӯлаи алюминийи АЖ5К10, дар муҳити нейтралии электролити NaCl;
- коркарди таркиби хӯлаҳои чорчанда дар асоси барқароркунии структуравӣ онҳо, гармиғунҷоиш, хосиятҳои физикию химиявӣ ва муайянкунии имконияти истифодабарии онҳо.

Объекти таҳқиқоти хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий дар заминаи истеҳсоли алюминийи пастсифати ширкати алюминийи тоҷик КВД "ТАлКо" ба роҳ монда шудааст.

Мавзӯи тадқиқот хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий дар асоси металли пастсифати дорои миқдори зиёди оҳан ва кремний мебошад.

Усулҳои тадқиқот: усули тадқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар режими "хунуккунӣ" бо истифодаи бақайдгирии худкори ҳарорати намуна аз вақти хунуккунӣ; усули термогравиметрӣ барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳолати сахт; усули электрохимиявии омӯхтани хосиятҳои анодии хӯлаҳо бо усули потенсиостатикӣ.

Соҳаи таҳқиқоти маводшиносӣ ва технологияи синтези хӯлаҳои алюминийи нав дар асоси алюминийи пастсифат мебошад.

Марҳилаҳои таҳқиқот синтез ва сертификатсияи хӯлаҳои алюминийи нав, омӯзиши микроструктураи онҳо, омӯзиши хусусиятҳои ҳароратӣ, термофизикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барийро дар бар мегирад.

Маълумоти асосӣ ва заминаи таҷрибавӣ. Таҳқиқоти таҷрибавӣ бо ёрии таҷҳизоти маъруфи илмӣ: потенсиостати импулсии навъи ПИ-50-1.1; тавозуни

термогравиметрӣ; дастгоҳ барои чен кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт дар реҷаи "хунуккунӣ", микроскопи металлографӣ (ERGOLUX AMC). Коркарди математикии натиҷаҳо бо истифодаи бастаҳои стандартӣ ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot гузаронида шуд.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. 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:

- Муносиб кардани асосҳои қонунияти таъғирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шуда, вобаста аз ҳарорат ва миқдори элементҳои ҷавҳарӣ. Маълум гардид, ки бо зиёдшавии ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий меафзояд ва бузургии энергияи Гиббс паст мешавад. Бо зиёдшавии миқдори элементҳои ҷавҳарӣ хӯлаи АЖ5К10 бузургии энталпия ва энтропия паст мешавад, қимати энергияи Гиббс бошад баланд меравад;

- Нишон дода шудааст, ки бо зиёдшавии ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ меафзоянд. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби 10^{-4}·кг/м^2·с$^{-1}$ доро мебошад. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда ба қонуни гипербола итоат менамояд;

- Бо усули потенсостатикӣ дар реҷаи потенсиодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши патенсиал (2 мВ/с) муқаррар карда шудааст, ки иловаҳои унсурҳои ҷавҳаронӣ то 1.0% - и вазн ба коррозия устувории хӯлаи АЖ5К10 – ро аз 50% то 80% зиёд мекунанд. Дар ин ҳолат потенсиалҳои электрохимиявӣ ба самти мусбат майл мекунанд. Ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо стронсий устуворӣ ба коррозия меафзояд ва ба хулаҳои бо барий бошад, паст мешаванд (иловаи хӯлаҳои 1.0% - и вазн).

Арзиши назариявии таҳқиқот. Дар рисола ҷанбаҳои назариявии тадқиқот: исботи таъсири сохторҳо, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағирёбии фукнсияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии тавсифоти коррозионӣ-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий; муҳитҳои коррозионӣ ва консентратсияҳои иловаҳои ҷавҳаронӣ ба устувории коррозионӣ ва оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 баён шудааст.

Арзиши амалии таҳқиқот муқаррар намудани коркарди хӯлаҳои нав ва бо роҳи металлургӣ баланд бардоштани ба коррозия устувории хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, бо нахустпатентҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд.

Муқаррарот, ба ҳимоя пешниҳод мегардад:

- натиҷаҳои тадқиқи вобастагиҳои ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда;

- параметрҳои кинетикӣ ва энергетикии раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, инчунин механизми оксидшавии онҳо. Натиҷаҳои муайянсозии маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо ва муайян кардани нақши онҳо дар ташаккули механизми оксидшавӣ;

- вобастагии характеристикаи анодӣ ва суръати коррозияи хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда аз консентратсияи элементи ҷавҳаронида, дар муҳити электролитии NaCl.

- таркиби хоси хӯлаҳо, ки бо оксидшавии пастарин фарқ мекунанд ва ба коррозия устуворанд, ба сифати маводи анодӣ барои тайёр кардани протекторҳо ҳангоми муҳофизати конструксияҳои пӯлодӣ аз коррозия аҳамият доранд.

Саҳми шахсии муаллиф хотима ва 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 рисола мебошад.

Арзёбии рисола ва маълумот дар бораи истифодаи натиҷаҳои он. Муқаррароти асосии рисола дар ҳамоишҳои зерин мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд:

Байналмилалӣ: XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM - 2019». Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, (ш.Астана, 2019); XXI Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество». Сибирский государственный индустриальный университет (ш.Новокузнецк, 2019); Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, соискателей и учёных «Мухандис-2019». Таджикский технический университет им. М.С. Осими (ш.Душанбе, 2019); IV Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», посвященной памяти д.х.н., профессоров Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. Таджикский национальный университет (ш.Душанбе, 2019); VII Международной научно-практической конференции «ЛУЧШАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ 2017» (ш.Пенза, 2017); XXI Международной научно-практической конференции «Исследование различных направлений современной науки» (ш.Москва, 2017); Международной конференции «Перспективы развития физической науки», посвященной памяти (80-летию) профессора Хакимова Ф.Х. Таджикский национальный университет (ш.Душанбе, 2017).

Ҷумҳуриявӣ: Республиканской научно-практической конференции «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». Российско-Таджикский (Славянский) университет (ш.Душанбе, 2019); Республиканской научно-практической конференции (с международном участием) «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в СОШ и ВУЗах» и «Инновация в преподавании естественных наук», посвященной 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева.

Таджикский национальный университет (ш.Душанбе, 2019); Республиканкой научно-практической конференции «Наука и техника для устойчивого развития» (ш.Душанбе, 2018); Республиканской научно-практической конференции «Стратегия и аспекты развития горной промышлености Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Душанбе (ш.Душанбе, 2017); Научно-практическом семинаре «Наука-производству», посвященной 100- летию НИТУ «МИСиС» (ш.Турсунзада, 2017).

Нашри натиҷаҳои рисола. Аз рӯйи мавзӯи рисола 6 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои аз тарафи КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсияшуда ва 13 мақола дар маводи конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ нашр шуда, 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми рисола. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулоса ва иловаҳо иборат аст. Рисола аз 136 саҳифаи компютерӣ, ки 32 ҷадвал, 66 расм, ва 106 феҳрасти адабиёти истифодашуда ба муқова оварда шудааст.

МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

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

Дар боби аввал маълумот оиди сохторҳосилкунии хӯлаҳои алюминий бо оҳан, силитсӣ, калсий, стронсий ва барий; хосиятҳои гармию физикавии алюминий, оҳан, силитсӣ, калсий, стронсий ва барий; муҳимияти оксидшавӣ ва рафтори коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаҳои алюминий бо оҳан, силитсӣ, калсий, стронсий ва барий дар муҳитҳои гуногун қайд карда шудааст. Аз иттилооти адабиётҳои таҳлил намуда маълум мегардад, ки хосиятҳои гармию физикавии алюминий, оҳан, силитсӣ, калсий, стронсий ва барий хуб омӯхта шуд. Оиди хосиятҳои физикавию рафтори коррозионии электрохимиявӣ ва оксидшавии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда дар адабиётҳо маълумот мавҷуд набуд.

Ҳамин тариқ, аз сабаби набудани маълумот оиди хосиятҳои физико-химиявии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба сифати мавзӯи рисолаи доктории мазкур маҳз ин масъаларо интихоб намудем.

Дар боби дуюм натиҷаи тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯла алюминийи АЖ5К10 бо металҳои шиқорзаминӣ оварда шудаанд.

Боби сеюм ба масъалаҳои омӯзиши амалии кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар ҳолати сахтӣ бахшида шудааст.

Дар боби чорӯм натиҷаҳои тадқиқоти потенсиостатикии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролитии NaCl оварда шудаанд.

Рисолаи мазкур бо хулосаҳои умумӣ аз натиҷаҳои корӣ анҷом дода шуда ва феҳристи адабиёти истифодашуда ва иловаҳо (замимаҳо) ба итмом мерасад.

БОБИ 2. ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИ ГАРМИҒУНҶОИШ ВА ТАҒЙИРЁБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӮЛАИ АЛЮМИНИЙИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ, ҶАВҲАРОНИДАШУДА

Барои чен кардани гармиғунҷоиши хӯлаҳои металлӣ аз қонуни хунуккунии Нютон–Рихман истифода бурда шуд. Тибқи он ҳама гуна ҷисми ҳарорataш аз ҳарорати муҳит баланд, ҳатман хунук мешавад, ки суръати он аз коэффисиенти гармидиҳӣ ва бузургии гармиғунҷоиши ҷисм вобаста мебошад.

Ҳисоби гармиғунҷоиш вобастаги дорад аз муодилаҳои нишондодашуда.

Миқдори гармии талафшудаи ҳаҷми dV-и металл дар вақти dτ, баробар аст

$$\delta Q = C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV, \tag{1}$$

дар ин ҷо дар ин ҷо C_P^0- гармиғунҷоиши хоси металл, ρ - зичии металл, T – ҳарорати намуна (дар ҳамаи нуқтаҳои намуна якхел қабул карда мешавад, чунки андозаҳои хаттии ҷисм кам ва гармигузаронандагии металл зиёд аст).

Бузургии δQ -ро ҳисоб намудан мумкин аст, илова бар ин аз рӯи қонуни Нютон–Рихман

$$\delta Q = a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau, \tag{2}$$

дар ин ҷо dS – элементи сатҳ, T_0 – ҳарорати муҳити атроф, α - зариби гармидиҳӣ.

Ибораҳои (1) ва (2)-ро баробар намуда, ҳосил мекунем

$$C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \tag{3}$$

Миқдори гармие, ки сатҳи ҳаҷми намунаро талаф мекунад, баробар аст:

$$Q = \int_V C_P^0 \cdot p \cdot d\tau \cdot dV = \int_S a(T - T_0) \cdot dS \cdot d\tau. \tag{4}$$

Фарз карда мешавад, ки C_P^0, ρ ва $\frac{dT}{d\tau}$ аз меҳвари нуқтаҳои ҳаҷм вобаста нест, α, T ва T_0 -и намуна аз меҳвари нуқтаҳои сатҳи намуна вобаста набуда, чунин навишта мешавад:

$$C_P^0 \cdot p \cdot V \frac{dT}{d\tau} = a(T - T_0)S, \tag{5}$$

ё ин ки,

$$C_P^0 \cdot m \frac{dT}{d\tau} = a(T - T_0)S, \tag{6}$$

дар ин ҷо V – ҳаҷми сатҳи намуна ва ρ • V- m – масса, S – масоҳати сатҳи ҳамаи намуна.

Таносуби (6) барои ду намунаҳои андозаи якхеладошта ҳангоми дурустии S_1 - S_2, T_1 - T_2, α_1 - α_2 чунин навишта мешавад

$$C_{P_1}^0 = C_{P_2}^0 \cdot \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1} = C_{P_2}^0 \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta\tau}\right)_2}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta\tau}\right)_1}. \tag{7}$$

Пайгирона, вазни намунаҳо m_1 ва m_2-ро дониста, суръати хунукшавии онҳо ва гармиғунҷоиши хоси $C_{P_1}^0$, суръати хунукшавӣ ва гармиғунҷоиши хоси $C_{P_2}^0$-ро аз муодилаи зерин ҳисоб намудан мумкин аст

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

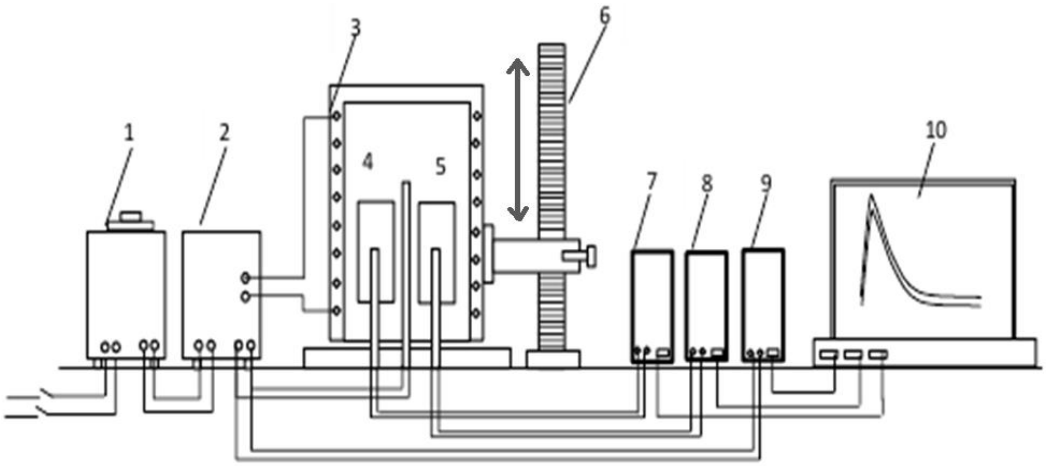
дар ин ҷо $m_1=\rho_1 V_1$ – вазни намунаи якум, $m_2=\rho_2 V_2$ – вазни намунаи дуюм, $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ – суръати хунукшавии намунаҳо ҳангоми ҳарорати додашуда.

Барои муайян намудани суръати хунукшавӣ, каҷхаттаи хунукшавии намунаҳои додашударо месозанд. Каҷхаттаи хунукшавӣ, вобастагии ҳарорати намуна аз вақт ҳангоми хунук намудани он дар ҳавои беҳаракат мебошад.

Хӯлаи алюминий бо оҳан, силитсӣ ва металлҳои ишқорзаминӣ дар оташдонҳои кушодаи шахтавӣ тамғаи СШОЛ дар ҳароратҳои то 850-900 ^{0}C, лигатураи алюминий бо 10 % массавӣ металлҳои ишқорзаминӣ барои хӯлаи АЖ5К10 ҳосил карда шудааст. Назорати таркиби элементҳои хӯла дар Маркази озмоишгоҳи КВД «ТАлКо» санҷида шуда, ки аз он шихтаҳо хӯла ҳосил карда шудааст. Таҳқиқот нишон дода шудааст, ки фарқи массаҳо аз 1% зиёд мешуд, ин намунаҳо аз нав гудохта мешудаанд. Лигатура пешакӣ, дар қӯраҳои вакуумии муқовиматӣ гудохта шудааст. Аз хӯлаҳои гудохта, бо усули рехтагарӣ дар қолабҳои графитӣ намунаҳои диаметрашон 16 мм ва дарозиашон 30 мм барои омӯзиши гармиғунҷоиш тайёр карда шуд. Гармиғунҷоиши хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, дар реҷаи “хунукшавӣ” омӯхта шудааст.

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳе гузаронида шуд, ки тарҳи он дар расми 1 оварда шудааст. Дастгоҳ аз ҷузъҳои зерин иборат аст: қӯраи барқии (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 дарозиаш 30 мм ва диаметраш 16 мм мебошад. Ба сӯрохии як нӯги намуна термопараҳо гузошта мешавад. Охири термопараҳо ба ҳароратсанҷҳои рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 ва 9) васл шудаанд.

Қӯраи барқи тавассути автотрансформатор (1) ба кор дароварда, ҳарорати заруриро бо ёрии танзимкунандаи ҳарорат (2) чен карда мешавад. Аз рӯйи нишондоди ҳароратсанҷи рақамии қимати ҳарорати аввала ба қайд гирифта мешавад. Намунаи ва эталонро ба гармкунаки ворид намуда, то ҳарорати зарурӣ гарм карда, ҳароратро бо нишондоди ҳароратсанҷи рақамии, 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 дар давоми вақти мушоҳида 10 с сабт карда мешавад. Дар таҷриба температураи намуна ва эталон то ҳарорати хонагӣ 35 ^{0}C хунук карда мешаванд.



Расми 1 – Дастгоҳ барои муайянкунии гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт дар реҷаи «хунуккунӣ»: 1-автотрансформатор; 2-ҳарорат танзимкунанда; 3- қӯраи барқӣ; 4-намунаи ченшаванда; 5-эталон; 6-пояи қураи барқӣ; 7-ҳароратсанҷи рақамии намуна; 8-ҳароратсанҷи рақамии эталон; 9-ҳароратсанҷи рақамии таъйиноти умумӣ; 10-асбоби қайдкунанда (компютер).

Натиҷаи тадқиқотҳо бо истифода аз барномаҳои компютерии «MSExcel» истифода шудааст. Барои сохтани графикҳо бо истифода аз барномаҳои компютерии «Sigma Plot» коркард карда шудаанд. Дар ин қиматҳо коэффитсиенти коррелятсия ба Rкорр =1,0 ÷ 0,9507 баробар мешавад. Барои ҳисоб кардани ҳарорат бо истифодаи аз ҳароратсанҷи рақамӣ, ки бо асбоби қайдкунанда (компютер) васл шудааст, назорат карда, монанди ҷадвал нишон дода мешавад. Фосилаи муваққатии ба қайд гирифташудаи ҳарорат 10 сонияро ташкил дод. Хатогии нисбии ченкунии ҳарорат дар фосилаи аз 40 ^{0}C то 400 ^{0}C ±1% ва дар фосилаи зиёда аз 400^{0}C ± 2.5%-ро ташкил дод. Хатогии ченкунии гармиғунҷоиши хос аз рӯи усули пешниҳодшуда аз 4% зиёд намешавад.

Натиҷаҳои вобастагии ҳарорат аз вақти хунукшавии бо муодилаи муҳим тавсиф дода мешавад

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \qquad (9)$$

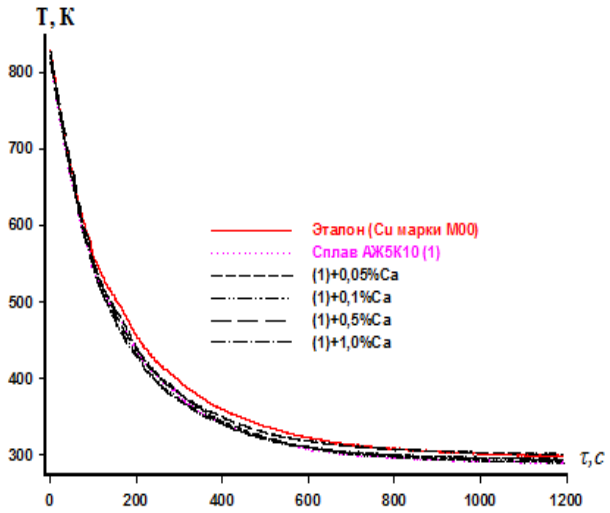
дар ин ҷо a b, p, k – доимиҳо барои намунаи додашуда, τ –вақти хунукшавӣ.

Вобаста ба муодилаи (9) бо τ, муодила барои муайян намудани суръати хунуккунии хӯлаҳоро дар намуди зерин ҳосил мекунем

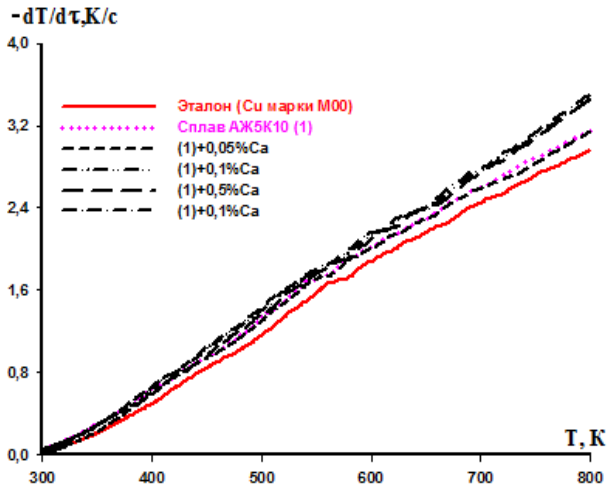
$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \qquad (10)$$

Бо ин муодила натиҷаҳои суръати хунукшавии эталон ва намунаҳои хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда ҳисоб карда шудааст. Омӯзиши нақшаи ҳароратӣ хунукшавии намунаҳои хӯлаҳо аз вақт, дар расми 2 оварда шудааст. Раванди хунукшавӣ дар тамоми намунаҳо пайи ҳам хастанд ва ҳарорат хамавақт паст мешавад. Дар ҳолати каҷхаттаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ҷавҳаронидашуда ҳарорат нигоҳ дошта нашудааст, вобастаги дорад аз гузариши вазавӣ ё ин ки табдил ёфтан.

Каҷхаттаи суръати хунукшавии хӯлаҳо вобастаги аз ҳарорат, дида мешавад дар расми 3. Қимати зарибҳои *a*, *b*, *p*, *k*, *ab*, *pk* дар муодилаи (9) барои хӯлаҳои таҳқиққардашуда дар ҷадвали 1 оварда шудаанд. Ҳисоби суръати хунукшавии намунаҳо дар муодилаи (9) оварда шудааст.



Расми 2 – Вобастагии ҳарорат аз суръати хунукшавии наммунаҳои хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи M00)



Расми 3 – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи M00)

Ҷадвали 1 – Қимати зарибҳои a, b, p, k, ab, pk дар муодилаи (9) барои хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи M00)

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	*a*, *K*	$b\cdot10^{-3}$, c^{-1}	*ρ*, *K*	$k\cdot10^{-5}$, c^{-1}	$a\cdot b$, $K\cdot c^{-1}$	$pk\cdot10^{-2}$, $K\cdot c^{-1}$
Хӯлаи АЖ5К10	488,57	6,64	309,43	5,30	3,25	1,64
0,05	494,58	6,59	311,79	5,80	3,26	1,81
0,1	503,26	7,14	313,81	5,20	3,60	1,63
0,5	503,44	7,29	325,14	6,40	3,67	2,08
1,0	498,91	7,24	314,21	5,39	3,61	1,69
Эталон	481,34	6,48	329,32	8,12	3,12	2,67

Барои ҳисоби гармиғунҷоиши хоси хӯлаи АЖ5К10 бо калсий муодилаи (8) истифода бурда шудааст. Натиҷаҳои ҳисоб нишон медиҳад, ки вобастагии полиноми ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи M00) бо муодилаи намуди (11) навишта мешавад:

$$C_P^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \qquad (11)$$

Қимати зарибҳои муодилаи (10) дар ҷадвали 2 оварда шудааст.

Дар ҷадвали 3 натиҷаҳои вобастагии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон, баъд аз ҳар 100 К ҳисоб карда шудааст. Дида мешавад, ки таҳқиқоти ҳудуди ҳарорат вобастаги аз ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ҷавҳаронидашуда шуда меафзоят, бо зиёдшавии миқдори калсий паст мешавад.

Ҷадвали 2 – Қимматҳои коэффисиентҳои a, b, c, d дар муодилаи (11) барои хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	a, Ҷ/кг·К	$b\cdot10^{-2}$, Ҷ/кг·К^2	$c\cdot10^{-5}$, Ҷ/кг·К^3	$d\cdot10^{-8}$, Ҷ/кг·К^4	Зариби коррелятсионӣ R
Хӯлаи АЖ5К10	-4,0493	2,95	-5,3	3,13	0,9570
0,05	-3,8881	2,83	-5,1	2,95	0,9599
0,1	-4,3605	3,11	-5,6	3,26	0,9507
0,5	-4,5189	3,15	-5,6	3,2	0,9568
1,0	-4,5015	3,18	-5,7	3,37	0,9509
Эталон	0,3245	0,0275	-0,0287	0,0142	1,0000

Ҷадвали 3 – Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси (кҶ/кг·К) хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Хӯлаи АЖ5К10	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
0,05	0,8399	1,2159	1,2869	1,2299	1,2219	1,4399
0,1	0,8187	1,2219	1,2895	1,2171	1,2003	1,4347
0,5	0,7821	1,2171	1,3061	1,2411	1,2141	1,4171
1,0	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
Эталон	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

Қимматҳои суръати хунуккуние, ки бо усули озмоишӣ ба даст оварда шудаанд ва натиҷаи гармиғунҷоиши хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ҷавҳаронидашударо истифода намуда, коэффитсенти гармидиҳиро вобаста аз ҳарорат (Вт/К·м^2) хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи М00) муайян намудем бо муодилаи зерин

$$a = \frac{C_P^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0)\cdot S}. \qquad (12)$$

Хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ҷавҳаронидашуда, Натиҷаҳои коэффитсиети гармидиҳӣ аз ҳарорат дар ҷадвали 4 оварда шудаанд.

Барои ҳисоб намудани вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаҳо формулаҳои (13)-(15) аз интегралҳои муодилаи (10) истифода бурда шуд

$$\left[H^0(T) - H^0(T_0)\right] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \qquad (13)$$

$$\left[S^0(T) - S^0(T_0)\right] = a\ln\frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \qquad (14)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \qquad (15)$$

где T_0 = 298,15 К.

Натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ аз рӯи формулаҳои (13)-(15) барои хӯлаҳои АЖ5К10, ки бо калсий ҷавҳаронида шудааст ва эталон баъд аз ҳар 100К дар ҷадвали 5 оварда шудаанд.

Ҷадвали 4 – Вобастагии ҳарорати коэффитсиети гармидиҳӣ (Вт/К·м^2) хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Хӯлаи АЖ5К10	0,0043	0,0578	0,1028	0,1341	0,1521	0,1658
0,05	0,0043	0,0564	0,1005	0,1336	0,1512	0,1647
0,1	0,0023	0,0592	0,1078	0,1413	0,1605	0,1812
0,5	0,0015	0,0535	0,1043	0,1382	0,1588	0,1797
1,0	0,0024	0,0581	0,1053	0,1378	0,1569	0,1772
Эталон	0,0033	0,0452	0,0890	0,1217	0,1387	0,1501

Ҷадвали 5 – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии функсияи термодинамикии хӯлаи алюминийи АЖ5К10, ки бо калсий ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Хӯлаи АЖ5К10	1,560	108,701	236,247	362,108	482,973	614,314
0,05	1,535	106,988	232,915	357,568	476,895	604,548
0,1	1,504	107,145	234,697	360,379	479,970	608,812
0,5	1,435	105,079	233,322	361,165	482,809	611,652
1,0	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
Эталон	0,712	39,869	80,168	121,419	163,517	206,442
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кҶ/кг·К барои хӯлаҳо						
Хӯлаи АЖ5К10	0,005	0,311	0,595	0,825	1,011	1,186
0,05	0,005	0,308	0,590	0,819	1,004	1,175
0,1	0,005	0,306	0,591	0,820	1,004	1,176
0,5	0,005	0,300	0,586	0,819	1,007	1,178
1,0	0,005	0,293	0,566	0,785	0,960	1,125
Эталон	0,002	0,115	0,205	0,280	0,345	0,402
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо						
Хӯлаи АЖ5К10	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
0,05	-0,018	-16,219	-62,250	-133,876	-226,008	-335,649
0,1	-0,005	-15,317	-60,556	-131,537	-223,006	-331,952
0,5	-0,004	-14,905	-59,559	-130,257	-221,819	-331,039
1,0	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
Эталон	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

$^*T_0$ = 298,15 К.

Дар ҷадвалҳои 6, 7 натиҷаҳои тадқиқоти хосиятҳои теплофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминий АЖ5К10, ки бо миқдори чоркомпонентаи калсий, стронсий ва барий модифитсиронандаи 1,0 % массавӣ доранд, оварда шудаанд.

Дида мешавад, ки ҳангоми баланд шудани ҳарорати гармиғунҷоиши хос (ҷадвали 6) ва зимни муқоисакунӣ ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо стронсий бузургиҳои гармиғунҷоиш ва зариби гармидиҳӣ афзоиш ёфта, баъдан ба хӯлаҳо бо барий андаке кам мегардад.

Ҷадвали 6 – Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо 1,0 % массавӣ калсий, стронсий, барий ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори МИЗ дар хӯла, %-и вазнӣ	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Хӯлаи АЖ5К10	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
1,0%Ca	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
1,0%Sr	0,7579	1,1702	1,2421	1,1710	1,1543	1,3894
1,0%Ba	0,7582	1,1573	1,2176	1,1389	1,1210	1,3637
Эталон	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

Ҷадвали 7 – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо 1,0 % массавӣ МИЗ ва эталон (Cu тамғаи М00)

Миқдори МИЗ дар хӯла, %-и вазнӣ	$[H^0(T)-H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Хӯлаи АЖ5К10	1,560	108,701	236,247	362,107	482,973	614,314
1,0%Ca	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
1,0%Sr	1,391	101,455	224,084	345,108	460,098	584,362
1,0%Ba	1,429	102,900	225,676	345,867	459,563	582,834
Эталон	0,712	39,869	80,168	121,419	163,517	206,442
$[S^0(T)-S^0(T_0^*)]$, кҶ/(кг·К) для барои хӯлаҳо						
Хӯлаи АЖ5К10	0,0052	0,3108	0,5952	0,8249	1,0112	1,1862
1,0%Ca	0,0047	0,2929	0,5661	0,7851	0,9604	1,1252
1,0%Sr	0,0047	0,2897	0,5630	0,7839	0,9612	1,1268
1,0%Ba	0,0048	0,2939	0,5677	0,7870	0,9623	1,1266
Эталон	0,0024	0,1149	0,2048	0,2800	0,3449	0,4022
$[G^0(T)-G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг для с барои хӯлаҳо						
Хӯлаи АЖ5К10	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
+1,0%Ca	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
+1,0%Sr	-0,004	-14,413	-57,425	-125,218	-212,725	-317,050
+1,0%Ba	-0,004	-14,675	-58,154	-126,346	-214,067	-318,430
Эталон	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

$^*T_0$ = 298,15 К.

Аз натиҷаҳои тадқиқоти хосияти гармидиҳии физикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминийи системаи АЖ5К10 – Ca (Sr, Ba) нишон медиҳад, ки бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳо меафзоянд, лекин энергияи Гиббс кам мешавад. Бо афзоиши консентратсияи МИЗ гармғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи АЖ5К10 кам шуда, қимати энергияи Гиббс бошад, меафзояд.

БОБИ 3. ОМӮЗИШИ КИНЕТИКАИ РАВАНДИ ОКСИДШАВИИ ХӮЛАИ АЛЮМИНИЙИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ, БАРИЙ, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

Дар ин боб омӯзиши иловаҳои тағирдиҳандаи калсий барои оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 дида мешавад. Миқдори калсий дар хӯла 0.01-1.0% массавӣ ташкил медиҳад. Бо усули таҷрибавӣ дар муҳити ҳаво ҳангоми ҳарорати 773, 823 ва 873 К гузаронида шуд. Ҷамбасти натиҷаи таҳқиқот дар ҷадвалҳои 8, 9 ва дар расмҳои 4-7 оварда шудааст.

Ҳисоби миқдори энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ хӯлаҳо нишон медиҳад, ки иловаи то 1.0% массавӣ калсий дар хӯлаи АЖ5К10 суръати оксидшавӣ баланд мешвад, дар инҳолат миқдори энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ аз 178,0 то 120,8 кҶ/моль паст мешавад (ҷадвали 8). Агар муқоиса кунем суръати оксидшави хӯлаҳо дар як ҳарорат, мумкин аст дидан да хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо миқдори иловаи 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 и 1.0 % массавӣ калсий суръати осидшави зиёд аст назар ба хӯлаи АЖ5К10.

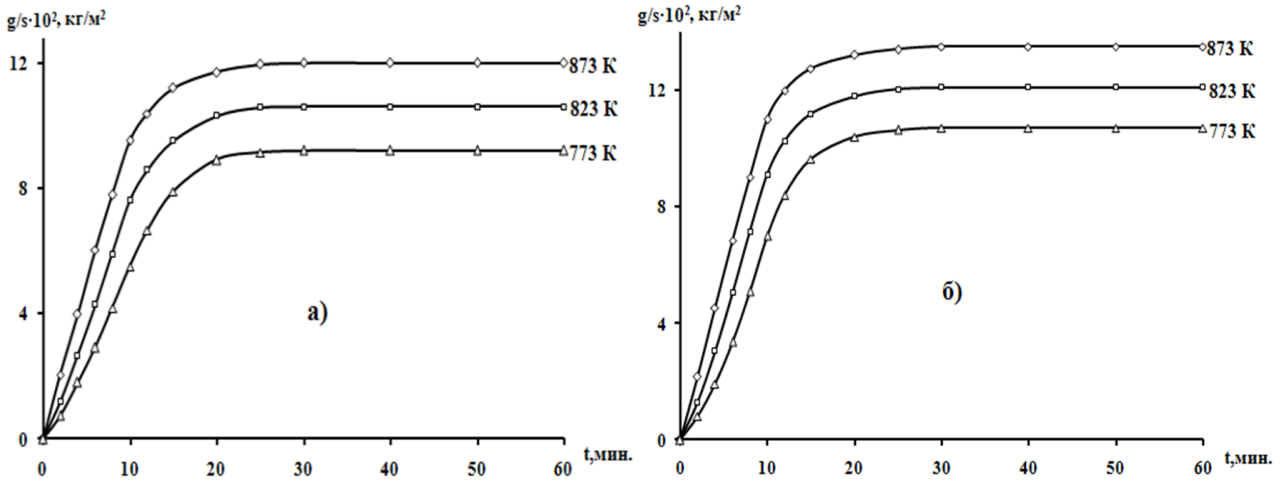
Ҷадвали 8 – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикии раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, дар ҳолати сахт

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати миёнаи оксидшавӣ, $К \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ, кҶ/моль
0.0	773	1.42	178.0
	823	1.61	
	873	1.76	
0.01	773	1.72	170.3
	823	1.92	
	873	2.10	
0.05	773	1.90	159.7
	823	2.13	
	873	2.32	
0.1	773	2.07	142.2
	823	2.40	
	873	2.56	
0.5	773	2.28	136.5
	823	2.64	
	873	2.79	
1.0	773	2.54	120.8
	823	2.91	
	873	3.01	

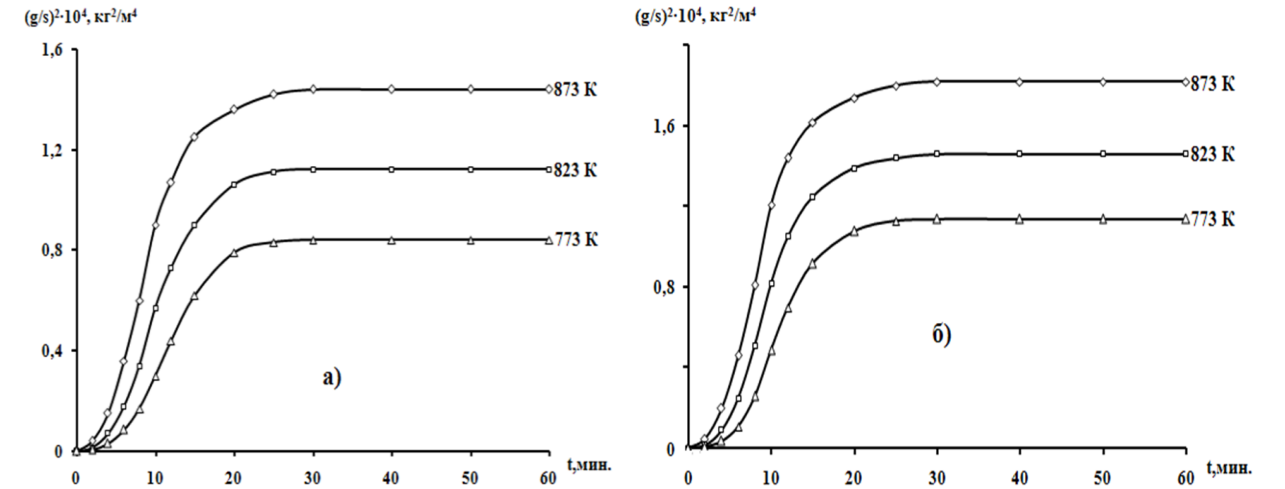
Дар муодилаи K=g/s·Δt дида мешавад, ки суръати оксидшавӣ хӯлаҳо аз рӯйи расанда гузаштан аз аввали координат ба каҷхати оксидшаванда ҳисоб карда мешавад. Барои хӯлаи алюминийи АЖ5К10, мисол иолваи 1.0% массавӣ калсий суръати оксидшавӣ дар ҳароратҳои 773, 823 ва 873 К тағир ёфта аз $2.54\cdot10^{-4}$ то $3.01\cdot10^{-4}$ кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$ зиёд мешвад. Энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавиро аз рӯйи тангенси афтиши кунҷии рости вобастагии lgK-1/T муайян намудем. Мисол, дар хӯлаи АЖ5К10 бо иловаи 1.0% массавӣ калсий, ки 120.8 кҶ/мол-ро ташкил дод (Ҷадвали 8).

Мушоҳидаи баландшавии суръати оксидшавӣ намунаҳо ва хӯлаҳо дар ҳарорат (расми 4) оварда шудааст. Оксидшавии хӯлаҳо ҳархел мегузарад. Саршавии раванди оксидшавӣ меафзояд. Дар 20 дақиқа раванд расида қариб ба нол мерасад. Мушоҳидаи пайдокунии рӯйпӯши оксидӣ.

Дар расми 5 дар кординати (g/s)2-t каҷхаттаи кинетикаи раванди оксидшавӣ дар хӯлаи алюминийи АЖ5К10 ва хӯлаи иловаи 0.01% массавӣ калсий нишон дода шудааст. Дида мешавад, ки каҷхата дар хатӣ рост хоб нарафта, нишон медиҳад, ки оксидшавии хӯлаҳо ба сохти не баробалӣ оварда расондааст.



Расми 4 – Каҷхаттаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 (а) бо 0.01 %-и вазни калсий (б), дар ҳолати сахт



Расми 5 – Каҷхати мураббаъи кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10(а) бо 0.01 %-и вазни калсий (б), дар ҳолати сахт

Дар ҷадвали 9 натиҷаҳои коркарди математикии каҷхаттаҳои мураббаъи раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи АЖ5К10–Са оварда шудааст. Чуноне, ки дида мешавад, полиномаҳои ҳосилкардашудаи оксидшавии хӯлаҳо дар ҳолати сахтӣ ба вобастагии гиперболавӣ итоат менамоянд, нишондиҳандаи қимати n дар муодилаи $y = kx^n$, ки $n = 2 \div 3$ ташкил медиҳад.

Ҷадвали 8 – Натиҷаҳои коркарди каҷхати оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, дар ҳолати сахт

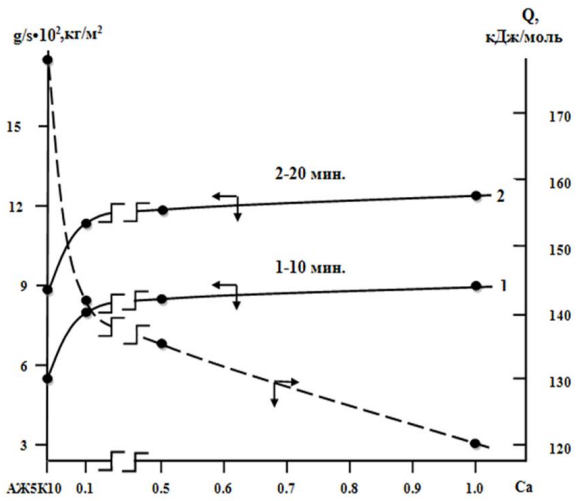
Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои каҷхати оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти коррелятсионӣ, R
0.0	773	$y_* = 0{,}3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}054x^2 + 1{,}420x^{**}$	0,988
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}062x^2 + 1{,}609x$	0,991
	873	$y = 0{,}3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0{,}000x^3 - 0{,}059x^2 + 1{,}736x$	0,996
0.01	773	$y = -0{,}1 \cdot 10^{-5}x^4 + 0{,}001x^3 - 0{,}064x^2 + 1{,}379x$	0,984
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}063x^2 + 1{,}509x$	0,992
	873	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}064x^2 + 1{,}646x$	0,997
0.05	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}061x^2 + 1{,}328x$	0,992
	823	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}058x^2 + 1{,}755x$	0,990
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}059x^2 + 1{,}565x$	0,996
0.1	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}324x$	0,994
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}574x$	0,995
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}061x^2 + 1{,}755x$	0,993
0.5	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}060x^2 + 1{,}347x$	0,990
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}065x^2 + 1{,}575x$	0,992
	873	$y = 0{,}000x^3 - 0{,}062x^2 + 1{,}765x$	0,995
1.0	773	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}057x^2 + 1{,}367x$	0,993
	823	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}065x^2 + 1{,}582x$	0,995
	873	$y = 0{,}001x^3 - 0{,}057x^2 + 1{,}367x$	0,993

y^* - афзоиши вазни хӯлаҳо; x^{**} - давомнокии вақти оксидшавӣ.

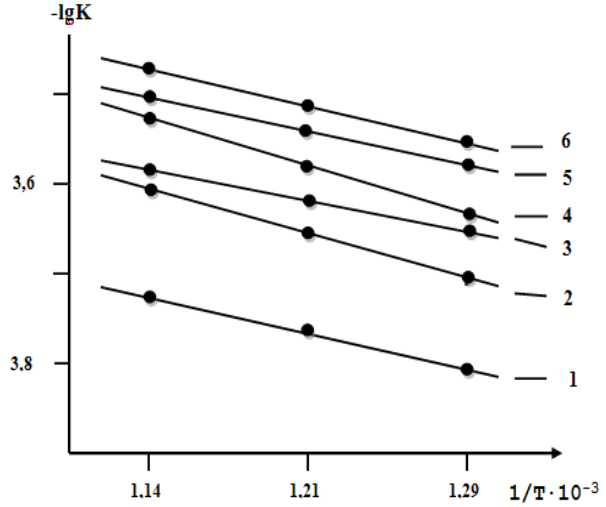
Дар расми 6 пешниҳодшуда изохрони оксидшавии хӯлаҳо ҳангоми 10 ва 20 дақиқаи оксидшавӣ ва ҳарорати 773К оварда шудааст. Чихеле, ки аз расм дида мешавад бо зиёдшавии миқдори калсий ғафсшавии хӯлаҳо зиёд шуда қимати энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ кам мешавад.

Вобастагии lgK-1/T (расми 7) барои хӯлаи алюминийи АЖ5К10, ки бо иловаи калсий ҷавҳаронида шудааст. Миқдори минималии энергияи активатсияи (120.8 кҶ/моль) муквофиқ ба хулаи иловаи 1.0% массавӣ калсий иборат мебошад. Суръати оксидшавии хӯлаи зикршудаи балантарин $3.01 \cdot 10^{-4}$ кг$\cdot$м$^{-2}\cdot$с$^{-1}$ дар ҳарорати 873 К баробар аст. Дигар хӯлаҳо назар ба ин хӯла суръати оксидшавӣ кам аст.

Бо ҳамин монанд кинетикаи оксидшавии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва юарий дар андозаи гуногун ҷавҳаронида шудааст, дар ҷадвали 10 оварда шудаанд.



Расми 6 – Изохрони оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий дар ҳарорати 773 К.



Расми 7 – Вобастагии lgK аз 1/T барои хӯлаи АЖ5К10 (1) бо калсий, %-и вазн: 0.01(2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6).

Ҷадвали 10 – Қиматҳои муқоисавии энергияи активатсияи (кҶ/мол) раванди оксидшавии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий

Миқдори МИЗ дар хӯла, %-и вазнӣ	Иловаҳо, %-и вазн					
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Ca	178.0	170.3	159.7	142.2	136.5	120.8
Sr	178.0	161.8	149.9	134.5	123.3	110.1
Ba	178.0	147.5	131.3	118.8	109.1	98.5

Аз ҷадвал дида мешавад, ки ҳангоми гузаштан аз хӯлаи бо калсий ба хӯлаи бо барий ҷавҳаронидашуда бузургии энергияи эффективии активатсия кам мешавад, яъне устувории хӯлаҳо ба оксидшавии баландҳарорат паст мешавад. Ин ҳама дар хосияти металлҳои ишқорзаминӣ, ки дар гурӯҳи аз калсий ба барий назари химиявӣ фаъол аст, дида мешавад.

БОБИ 4. ТАҲҚИҚОТИ ПОТЕНСИОДИНАМИКИИ РАФТОРИ АНОДИИ ХӮЛАИ АЛЮМИНИЙИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ, ҶАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl

Дар қолиби рехтагарии графитӣ меҳварҳои металлии (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, бодиққат бо спирт шуста пас аз он ба маҳлули электролити NaCl барои таҳқиқот воридонида шуд. Ҳарорати маҳлул дар ячейка 20 ^{0}C ба таври доимӣ бо ёрии термостати МЛШ-8 нигоҳ дошта шуд. Барои омӯзиши хосиятҳои электрохимиявии хӯлаҳои сегона чунин усули таҳқиқот истифода бурда шуд. Озмоиши электрохтитявии намунаҳоро бо усули потенсиостатикӣ дар реҷаи потенсиодинамикӣ дар потенсиостати ПИ-50.1.1 бо

суръати тобиши потенсиали 2 мВ/с дар муҳити электролити NaCl гузаронида шуд. Ба сифати электроди таҳқиқотӣ-муқоисавӣ хлорию нуқрагӣ ва ҳамчун электроди ёрирасон - платинагӣ хизмат расонид.

Намунаҳоро бо усули потенциодинамикӣ дар самти мусбӣ аз потенсиал поляризатсия намуда, ҳангоми ворид карда то ногаҳон зиёдшавии ҷараён дар натиҷаи питтингҳосилкунӣ муқаррар карда мешавад. Сипас намунаҳоро дар самти мӯқобил поляризатсия намуда аз рӯи бурида гузаштани каҷхатҳо бузургии потенсиали репассивиро муайян карда шуд. Сипас аз рӯи минтақаи катод то қимати потенсиали -1,2В барои дур кардани пардаи оксидӣ бо сатҳи электрод дар натиҷаи ишқорноккунии сатҳи электрод ҳаракат карда шуд. Дар охир намунаҳоро аз сари нав поляризатсия намуда аз рӯи каҷхати анодӣ параметрҳои асосии электрохимиявӣ муайян карда шуд.

Ҳамин тавр аз каҷхатҳои ҳосилкардашудаи поляризатсионӣ, характеристикаҳои асосии электрохимиявии хӯлаҳо: потенсиали питтингҳосилкунӣ (Еп.о.), потенсиал ва ҷараёни зангзанӣ (Екор. и ікор.) муайян карда шуд. Потенсиали репассивӣ (Ер.п.), ба таври графикӣ ба мисли қатшавии якум ба ҳаракати баргашти каҷхати анодӣ ё ин, ки ба мисли бурида гузаштани хати рост ва ҳаракати баргашт муайян карда шуд. Ҳисоби ҷараёни зангзанӣ ҳамчун характеристикаи асосии раванди зангзанӣ аз рӯи каҷхати катодӣ бо назардошти моилии таффеловӣ $в_к$=0,12В ба роҳ монда шуд, азбаски дар муҳити нейтралии 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: К = ікор.·к, дар ин ҷо к = 0.335 г/А·час барои алюминий.

Натиҷаҳои таҳқиқот дар ҷадвали 11 ва 12 оварда шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот аз он дарак медеҳад, ки дар дақиқаҳои аввали ғутонидани хӯла дар маҳлули электролити NaCl ҷойивазкунии ногаҳонии потенсиали озоди зангзанӣ (потенсиали статсионарӣ) ба минтақаи мусбат мавқеи худро иваз мекунад. Дар хӯлаҳое, ки бо стронсий ҷавҳаронида шудаанд, устуворшавии патенсиали озоди зангзанӣ дар фосилаи 30-40 дақиқа ба мушоҳида мерасад. Динамикаи тағирёбии патенсиали озоди зангзанӣ дар муҳитҳои гуногуни электролити NaCl монанд мебошад.

Таҳқиқот нишон медиҳад, ки иловаи калсий, стронсий ва барий дар андозаи 0.01-1.0%-вазн потенсиали озоди зангзаниро (потенсиали статсионариро) ба минтақаи мусбат мавқеяшро чӣ дар муҳити 3.0%-и NaCl, чӣ дар муҳитҳои 0.3% ва 0.03%-и NaCl иваз мекунад. Илова бар ин потенсиалҳои питтингҳосилшавӣ ва репассивӣ низ қиматашро ба минтақаи мусбат иваз мекунад (ҷадвали 11).

Хӯлаҳое, ки 0.01-1.0% иловаҳои калсий, стронсий ва барий доранд нисбат ба хулаи аввалияи алюминии АЖ5К10 1.5-2.0 маротиба суръати зангзании онҳо камтар мебошад (ҷадвали 12). Иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба хулаи АЖ5К10 имконияти кам кардани суръати коррозияи анодиро доранд ва ин аз он шаҳодат медиҳад, ки ҷойивазшавӣ дар минтақаи мусбат то андозаи

шохаҳои анодии каҷхатаҳои потенсиодинамикии хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда мебошад.

Ҷадвали 11 – Потенсиалҳои (х.с.э.) озоди зангзанӣ ($-E_{св.корр.}$, В) ва питтингҳосилкунии ($-E_{п.о.}$, В) хӯлаҳои системаи АЖ5К10-Са (Sr, Ва), дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, % - вазн	Миқдори МИЗ дар хӯла, %- вазнӣ	Хӯлаҳо бо Са		Хӯлаҳо бо Sr		Хӯлаҳо бо Ва	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{св.кор.}$	$-E_{п.о.}$
0.03	-	0.750	0.645	0.750	0.645	0.750	0.645
	0.01	0.621	0.530	0.618	0.486	0.614	0.500
	0.1	0.595	0.500	0.594	0.468	0.588	0.476
	0.5	0.584	0.488	0.580	0.456	0.575	0.462
	1.0	0.576	0.476	0.570	0.444	0.564	0.450
0.3	-	0.950	0.660	0.950	0.660	0.950	0.660
	0.01	0.776	0.588	0.764	0.558	0.760	0.564
	0.1	0.760	0.558	0.752	0.532	0.746	0.538
	0.5	0.750	0.542	0.746	0.524	0.738	0.526
	1.0	0.742	0.530	0.738	0.512	0.732	0.514
3.0	-	1,000	0.700	1,000	0.700	1,000	0.700
	0.01	0.832	0.600	0.830	0.620	0.824	0.586
	0.1	0.808	0.578	0.804	0.592	0.800	0.560
	0.5	0.796	0.566	0.792	0.584	0.788	0.548
	1.0	0.788	0.552	0.784	0.572	0.780	0.534

Илова бар ин бо андозаи зиёд намудани консентратсияи хлориди-ион дар электролити NaCl суръати зангзании хӯлаҳо бевоситаи аз миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашудаи – калсий, стронсий ва барий зиёд мешавад, ки боиси ҷойивазшавии минтақаи мусбии потенсиалҳои зангзанӣ, питтингҳосилшавӣ ва репассивӣ мегардад. Вобастагии мазкур барои ҳамаи хӯлаҳо бевосита аз таркиб, сохт ва хосиятҳои физикавию-химиявии компонентҳои лигарӣ хос мебошад. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои таркибашон калсий дошта ба хӯлаи таркибаш стронсий дошта афзоиши суръати зангзанӣ ба назар расида ҳангоми гузариш ба хӯлаи таркибаш барий дошта суръати зангзанӣ кам мешавад, ки бо таркиби худи металлҳо мувофиқ аст. Барои хӯлаи алюминий бо оҳан ва силитсӣ низ афзоиши суръати зангзанӣ бо зиёдшавии консентратсияи хлориди-ион дар электролит хос аст (ҷадвали 12).

Умуман қайд намудан зарур аст, ки иловаҳои элементҳои тағирдиҳанда (калсий, стронсий ва барий) ба хӯлаи ибтидоии АЖ5К10 таъсири ҷавҳарониданӣ мерасонанд, яъне ба таври қатъӣ шакли кристаллҳои интерметаллоидҳои Fe_2SiAl_8 ва $FeSiAl_5$-ро аз сӯзаншакл ба курашакл тағир дода, инчунин андозаи онҳоро кам мекунад. Натиҷа баландбардории ба зангзанӣ устувори хӯлаҳои зиёда аз 2 маротиба ҷавҳаронида кардашуда ва муқоисаи онҳо бо хӯлаи АЖ5К10 ба ҳисоб меравад. Бар замми ин ба таври

бисёр нигоҳ доштани раванди анодии зангзанӣ дар натиҷаи беҳтаркунии таркиби пардаи оксидҳои пассив, кам намудани у бо ноқилияти электрикӣ ба ҳисоб меравад. Таъсири мусбии иловаҳои ҷавҳаронии калсий, стронсий ва барий ба характеристикаи анодҳо ва суръати зангзании хӯлаи АЖ5К10, дар муҳити электролити NaCl муқаррар карда шудааст (ҷадвали 12).

Ҷадвали 12 – Вобастагии суръати зангзании хӯлаҳои системаи АЖ5К10-Са (Sr, Ва), дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, % - вазн	Миқдори МИЗ дар хӯла, %- вазнӣ	Суръати коррозия					
		Хӯлаҳо бо Са		Хӯлаҳо бо Sr		Хӯлаҳо бо Ва	
		$i_{кор.}\cdot10^2$	К $\cdot10^3$	$i_{кор.}\cdot10^2$	К $\cdot10^3$	$i_{кор.}\cdot10^2$	К $\cdot10^3$
		А/м^2	г/м$^2\cdot$час	А/м^2	г/м$^2\cdot$час	А/м^2	г/м$^2\cdot$час
0.03	-	12.39	3.7	12.39	3.7	12.39	3.7
	0.01	11.39	3.4	11.72	3.5	12.06	3.6
	0.1	9.04	2.7	10.05	3.0	10.38	3.1
	0.5	8.04	2.4	9.38	2.8	9.04	2.7
	1.0	7.03	2.1	8.71	2.6	8.37	2.5
0.3	-	15.42	4.6	15.42	4.6	15.42	4.6
	0.01	12.73	3.8	14.74	4.4	14.07	4.2
	0.1	10.05	3.0	13.06	3.9	12.39	3.7
	0.5	9.04	2.7	12.39	3.7	11.30	3.4
	1.0	8.04	2.4	11.30	3.4	10.38	3.1
3.0	-	19.43	5.8	19.43	5.8	19.43	5.8
	0.01	17.42	5.2	18.76	5.6	18.42	5.5
	0.1	15.07	4.5	16.75	5.0	17.08	5.1
	0.5	14.07	4.2	16.08	4.8	16.08	4.8
	1.0	13.40	4.0	15.41	4.6	15.07	4.5

Ҳамин тавр хулосабарорӣ намудан мумкин аст, ки қонунияти муқарраркардашуда ҳангоми коркарди таркиби хӯлаҳои нави мураккабтаркиб дар асоси алюминии ғайриконденсионии пастсифат барои эҳтиёҷи технологӣ ва муҳофизат аз коррозия истифода бурда мешаванд.

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмии таҳқиқот.

1. Дар реҷаи “хунукшавӣ” вобастагиҳои ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи АЖ5К10, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст. Нишон дода шуд, ки баробари баланд шудани консентратсияи МИЗ ва ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаҳо зиёд мешавад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо стронсий гузаштан бузургиҳои гармиғунҷоиш ва зариби гармидиҳӣ афзоиш ёфта, баъдан ба хӯлаҳо бо барий андаке кам мегардад [1, 2, 9, 11, 12, 13-М].

2. Натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо металлҳои гурӯҳи калсийдор

нишон медиҳад, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо стронсий бузургиҳои энталпия ва энтропияи хӯлаҳо зиёд мешавад, ба хӯлаҳо бо барий кам мегардад. Бо баланд шудани ҳарорат бузургии энталпия ва энтропияи хӯлаҳо афзуда, қимати энергияи Гиббс бошад паст меравад [1, 2, 9, 11, 12, 13-М].

3. Бо методи термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ таҳқиқ карда шуд. Муқаррар карда шуд, ки оксидшавии хӯлаҳо бо суръати ҳақиқии оксидшавӣ 10^{-4} кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$ ба қонунияти гипербола итоат менамояд. Аниқ карда шуд, ки суръати оксидшавии минималиро хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ва максималиро хӯла бо стронсий доро мебошад [10-А].

4. Муайян карда шуд, ки таркиби фазаи маҳсулоти оксидшавӣ бо фаъолияти метали ба хӯла дохилшаванда, ки дар ташаккулёбии сатҳи руйпӯши оксидшави хӯлаҳо роли калон мебозад. Фазаи бартаридошта дар маҳсулоти оксидшавии хӯлаҳо оксиди алюминӣ мебошад [10-М].

5. Бо усули потенсиостатикӣ дар реҷаи потенсиодинамикӣ бо суръати тобиши потенсиал 2 мВ/с, рафтори анодии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий таҳқиқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки иловаи элементҳои ҷавҳарӣ бо миқдори аз 0.01 то 1.0 %-и вазн, устувории хӯлаҳои АЖ5К10-ро дар муҳити нейтралии электролити NaCl ба коррозия метавонанд то 50-80% -и зиёд намуда устувории хӯлаи алюминийи ибдитоии АЖ5К10-ро сатҳи коррозияро муҳофизат намоянд, дар муҳити электролити NaCl [3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21-М].

6. Омӯзиши рафтори коррозионнии электрохимиявӣ хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролити NaCl нишон медиҳад, ки новобаста дар ҳудуди электролити иловаи ҷавҳаронии элементҳо, суръати зангзании хӯлаи ибтидои паст мешавад. Инчунин таҳқиқоти элеметрохимиявии таъсири хлорид-иона дар хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий нишон медиҳад, ки пастшави консертрасия аз 10 ва 100 маротиба ба камшавии суръати зангзании хӯлаҳо қариб ду маротиба мусоидат мекунад ва лағжиши потенсиалҳои электродӣ хело ба тарфи мусбӣ майл мекунад [3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21-М].

7. Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда таркиби хӯлаҳои нав бо ду нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд. Хӯла ба сифати анодӣ барои муҳофизат аз зангзании конструксияҳои пӯлодӣ ва иншоотҳо пешниҳод мегардад [7, 8-М].

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ.

1. Параметрҳои муқараргардидаи физикӣ-химиявии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда ба маълумотномаҳои мувофиқ тавсия дода мешавад.

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

НАТИҶАҲОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН ДАРҶ ЁФТААНД

Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмии тавсия намудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:

[1-М]. Ганиев, И.Н. Влияния кальция на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, А.Г. Сафаров // Вестник Казанского технологического университета. -2018. -Т. 21. -№ 8. -С. 11-15.

[2-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияние стронция на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, А.Г. Сафаров, Н.И. Ганиева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия естественных наук. -2018. -№ 3. -С. 61-67.

[3-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Амини Р.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». -2018. -Т. 18. -№ 3. -С. 5-15.

[4-М]. **Якубов, У.Ш.** Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (технологического университета). -2018. -№ 43 (69). -С. 23-27.

[5-М]. **Якубов, У.Ш.** О коррозионном потенциале сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами, в среде электролита NaCl / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Ганиева Н.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. -2018. -Т. 16. -№ 3. -С. 109-119.

[6-М]. Ганиев, И.Н. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, А.Х. Хакимов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. -2017. -№ 4 (22). -С. 57-62.

Ихтироот аз рӯи мавзӯи рисола:

[7-М]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 860, C 22 C 21/00. Протекторный сплав на основе алюминия / И.Н. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** М.М. Сангов, Л.А. Бокиев, М.Ш. Джураева // №1701120; заявл.01.06.2017, опубл. 01.12.2017.

[8-М]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1004, МПК C 22 C 21/00. Протекторный сплав на основе алюминия / И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, А.Х. Хакимов, А.Г. Сафаров, Н.И. Ганиев, **У.Ш. Якубов,** Дж.Х. Джайлоев // №1901275; заявл.25.01.2019, опубл. 14.06.2019.

Мақолаҳои дар маводҳои конфронсҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашршуда:

[9-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияние стронция на изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов // Мат. XIV Межд. науч. конф. студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM - 2019». ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва, г.Астана. -2019. -С. 1051-1055.

[10-М]. **Якубов, У.Ш.** Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Н.И. Ганиева, Дж.Х Джайлоев // Мат. XXI Межд. научно-прак. конф. «Металлургия: технологии, инновации, качество». СибГИУ, г.Новокузнецк. -2019. -С. 260-265.

[11-М]. **Якубов, У.Ш.** Температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева // Мат. IV Межд. науч. конф. «Вопросы физической и координационной химии», посвяще. памяти д.х.н., профессор Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. ТНУ, г.Душанбе. -2019. -С. 111-115.

[12-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияния кальция на температурную зависимость изменений термодинамических функций сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева // Мат. Межд. научно-прак. конф. студенты, магистрантов, соискателей и учёных «Мухандис-2019». ТТУ им. М.С. Осими, г.Душанбе. -2019. -С. 48-52.

[13-М]. **Якубов, У.Ш.** Удельная теплоёмкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ5К10 со стронцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Махмадизода, Н.И. Ганиева, Л.А. Бокиев // Мат. Респ. научно-прак. конф. «Актуальные вопросы дифференциальных уравнений, математического анализа, алгебры и теории чисел и их приложения». РТСУ, г.Душанбе. -2019. -С. 365-369.

[14-М]. **Якубов, У.Ш.** Коррозия алюминиевого сплава АЖ5К10 с щелочноземельными металлами / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ганиев Н.И. // Мат. Респ. научно-прак. конф. (с международном участием) «Применение инновационных технологий в преподавании естественных дисциплин в СОШ и ВУЗах» и «Инновация в преподавании естественных наук», посвящ. 150-летию периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. ТНУ, г.Душанбе. -2019. -С. 207-211.

[15-М]. **Якубов, У.Ш.** Потенциодинамическое исследование сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-прак. конф. «Наука и техника для устойчивого развития», ТУТ, г.Душанбе, -2018. -С. 215-217.

[16-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияние добавок кальция на коррозионный потенциал и потенциал питингообразования сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов,

И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, Н.Р. Эсанов // Мат. VII Межд. научно-прак. конф. «Лучшая научная статья 2017», г.Пенза. -2017. -С. 19-25.

[17-М]. **Якубов, У.Ш.** Влияние бария и хлорид-иона на потенциал свободной коррозии сплава АЖ5К10 / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, М.Ш. Джураева // Мат. XXI Межд. научно-прак. конф. «Исследование различных направлений современной науки». г.Москва. -2017. -С. 124-126.

[18-М]. **Якубов У.Ш.** Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Л.А. Бокиев // Мат. Республиканской научно-практической конференции «Стратегия и аспекты развития горной промышлености Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г.Душанбе. -2017. -С. 179-181.

[19-М]. **Якубов, У.Ш.** Потенциодинамическое исследование сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, А.Х. Хакимов // Мат. научно-прак. семинара «Наука-производству» посвящ. 100 летию НИТУ «МИСиС». г.Турсунзаде. -2017. -С.36-38.

[20-М]. **Якубов, У.Ш.** Потенциал свободной коррозии сплава АЖ5К10 с кальцием, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, Л.А. Бокиев, Н.Р. Эсанов, М.Ш. Джураева // Мат. Межд. конф. «Перспективы развития физической науки», посвящ. памяти (80-летию) профессора Хакимова Ф.Х. ТНУ, г.Душанбе. -2017. -С. 177-180.

[21-М]. Ганиев, И.Н. Влияние железа на потенциал коррозии алюминия в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Л.А. Бокиев, **У.Ш. Якубов** // Мат. XIII Межд. научно-прак конф. «Нумановские чтения», посвящ.70-летию основании Института химии им. В.И. Никитина АН РТ и достижения химической науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан, г.Душанбе. -2016. -С. 121-124.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Якубов Умарали Шералиевич дар мавзӯи «Хосияти физикавию-химиявии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав

Калимаҳои калидӣ: хӯлаи АЖ5К10, калсий, стронсий, барий, гармиғунҷоиш, функсияҳои термодинамикӣ, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, суръати миёнаи оксидшавӣ, энергияи активатсия, методи потенсиостатикӣ, потенсиали озоди коррозия, питтингҳосилкунӣ ва репассиватсия, суръати коррозия.

Усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳҳои истифодашуда: усули муайян кардани гармиғунҷоиши хӯла дар реҷаи хунукшавӣ бо истифода аз дастгоҳи қайди автоматикии ҳарорати намуна аз вақти хунукшавӣ; усули термогравиметрикии омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳолати сахтӣ; усули потенсиостатикии тадқиқоти хосиятҳои анодии хӯлаҳо (дастгоҳи ПИ- 50-1.1); коркарди математикии натиҷаҳои тадқиқот бо истифода аз пакети стандартии замима ва барномаи MS Excel ва Sigma Plot.

Мақсади таҳқиқот омӯзиши вобастагии гармиғунҷоиш ва тағийрёбии функсияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) аз ҳарорат; кинетикаи оксидшавии баландҳарорат ва рафтори коррозионно-электрохимиявии хӯлаи алюминийи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст, ки ба сифати маводҳои конструксионӣ барои соҳаҳои алоҳидаи саноат пешкаш карда мешавад.

Навгониҳои илмии таҳқиқот. Муносиб кардани асосҳои қонунияти таъғирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, вобаста аз ҳарорат ва миқдори элементҳои ҷавҳарӣ. Маълум гардид, ки бо зиёдшавии ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий меафзояд ва бузургии энергияи Гиббс паст мешавад. Таҳқиқот нишон дод, ки бо зиёдшавии ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ меафзоянд. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби 10^{-4}·кг/м^2·с$^{-1}$ доро мебошад. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда ба қонуни гипербола итоат менамояд; Бо усули потенсостатикӣ дар реҷаи потенсиодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши патенсиал (2 мВ/с) муқаррар карда шудааст, ки иловаҳои унсурҳои ҷавҳаронӣ то 1.0% - и вазн ба коррозия устувории хӯлаи АЖ5К10 – ро аз 50% то 80% зиёд мекунанд.

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ:

1. Параметрҳои муқараргардидаи физикӣ-химиявии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шуда ба маълумотномаҳои мувофиқ тавсия дода мешавад.

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

Соҳаи истифодабарӣ: таркиби хӯлаҳои кашфкардашуда бо патентҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз шуда, барои истифода ҳамчун протектор ҳангоми ҳифзи маводҳои канструксионии плодӣ, пешниҳод мешаванд.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Якубову Умарали Шералиевича «Физико-химические свойства алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктор по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Ключевые слова: сплав АЖ5К10, кальций, стронций, барий, теплоемкость, термодинамические функции, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, термогравиметрический метод, кинетика окисления, средняя скорость окисления, энергия активации, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации, скорость коррозии.

Методы исследования и использованная аппаратура: метод исследования теплоёмкости сплавов в режиме «охлаждения» с использованием автоматической регистрации температуры образца от времени охлаждения; термогравиметрический метод исследования кинетики окисления металлов и сплавов в твердом состоянии; электрохимический метод исследования анодных свойств сплавов в потенциостатическом режиме (прибор ПИ 50-1.1); математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложения и программы Microsoft Excel и Sigma Plot.

Целью исследования изучение температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса), кинетике высокотемпературного окисления и коррозионно-электрохимического поведения алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, предназначенного в качестве конструкционного материала для нужд отдельных отраслей промышленности.

Научная новизна исследований. Установлены закономерности изменения теплоемкости и термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием в зависимости от температуры и количества модифицирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием, увеличиваются, а значение энергия Гиббса уменьшается. Показано, что с ростом температуры скорость окисления сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием, в твердом состоянии увеличивается. Константа скорости окисления имеет порядок 10^{-4}, кг·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Установлено, что окисление сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием описывается гиперболическим уравнением. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки модифицирующих компонентов до 1,0 мас.% увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава АЖ5К10 на 50-80%.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1. Установленные физико-химические параметры сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием рекомендуются для пополнения страниц соответствующих справочников.
2. Разработанные сплавы и способы их получения таже реконмендуется рекомендуются для использования другим предприятиями машиностроительной и хлопкоперерабатывающей промышленности, подведомственными 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.

Область применения: составы разработаны сплавов защищены малыми патентами Республики Таджикистана и рекомендуется в качестве анодного материала при протекторный защите от коррозии стальных конструкции и сооружений.

ANNOTATION

for the dissertation of Yakubov Umarali Sheralievich "Physical and chemical properties of the aluminum alloy Al5Fe10Si with calcium, strontium and barium", submitted for the degree of doctor of philosophy (PhD) - doctor in specialty 6D071000 - Materials science and technology of new materials

Keywords: alloy Al5Fe10Si, calcium, strontium, barium, heat capacity, thermodynamic functions, enthalpy, entropy, Gibbs energy, thermogravimetric method, oxidation kinetics, average oxidation rate, activation energy, potentiostatic method, potentials of free corrosion, pitting formation and repassivation, corrosion rate.

Research methods and equipment used: method for studying the heat capacity of alloys in the "cooling" mode using automatic registration of the sample temperature from the cooling time; thermogravimetric method for studying the kinetics of oxidation of metals and alloys in the solid state; electrochemical method for studying the anodic properties of alloys in a potentiostatic mode (device PI 50-1.1); mathematical processing of the results was carried out using a standard application package and Microsoft Excel and Sigma Plot programs.

The purpose of the study was to study the temperature dependence of the heat capacity and changes in thermodynamic functions (enthalpy, entropy, Gibbs energy), the kinetics of high-temperature oxidation and the corrosion-electrochemical behavior of the АЖ5К10 aluminum alloy modified with calcium, strontium and barium, intended as a structural material for the needs of certain industries.

The purpose of this work is to study the temperature dependence of the heat capacity and changes in thermodynamic functions (enthalpy, entropy, Gibbs energy), kinetics of high-temperature oxidation and corrosion-electrochemical behavior of the AZh5K10 alloy modified with calcium, strontium and barium, intended as a structural material for the needs of certain industries.

Scientific novelty of research. The regularities of changes in the heat capacity and thermodynamic functions (enthalpy, entropy and Gibbs energy) of the Al5Fe10Si alloy with calcium, strontium and barium, depending on the temperature and amount of the modifying component, have been established. It is shown that with increasing temperature, the heat capacity, enthalpy, and entropy of the Al5Fe10Si alloy with calcium, strontium and barium increase, while the Gibbs energy decreases. It is shown that with increasing temperature, the oxidation rate of the Al5Fe10Si alloy with calcium, strontium and barium in the solid state increases. The oxidation rate constant is of the order of 10^{-4}, $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. It was found that the oxidation of the Al5Fe10Si alloy with calcium, strontium and barium is described by a hyperbolic equation. The potentiostatic method in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV / s has established that the addition of modifying components up to 1.0 wt% increases the corrosion resistance of the initial Al5Fe10Si alloy by 50-80%.

Recommendations for the practical use of the results:

1. The established physicochemical parameters of the AZh5K10 alloy modified with calcium, strontium and barium are recommended for replenishing the pages of the corresponding reference books.

2. The developed alloys and methods for their production are recommended for use by industrial enterprises subordinate to the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan.

3. Experimental batches of new alloys can be produced on the basis of the State Scientific Institution Center for Research of Innovative Technologies under the National Academy of Sciences of Tajikistan with the aim of supplying interested enterprises and departments.

Application area: compositions of the developed alloys are protected by small patents of the Republic of Tajikistan and are recommended as an anode material for protective corrosion protection of steel structures and structures.

Сдано в печать 19.08.2020г.
Подписано в печать 01.10.2020г.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии
ООО «Сармад-Компания»
Г. Душанбе, ул. Лохути 6, 1 проезд