

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

На правах рукописи



УДК 669.77:621

**ЯКУБОВ Умарали Шералиевич**

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

**6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора (PhD) технических наук**

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 Муродиён**

**Ведущая организация:** Институт энергетики Таджикистан

Защита состоится 25 ноября 2020 года в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана [www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года

**Ученый секретарь**  
диссертационного совета,  
кандидат химических наук

**Махкамов Х.К.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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.

Отсюда, разработка прецизионных сплавов на основе такого металла 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 компонентной формой в отличие от игольчатой структуры фазы  $FeAl_3$ .

Для изменения формы кристаллов интерметаллида в эвтектике ( $\alpha-Al+FeAl_3$ ), 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  $Al+5\text{мас.}\%Fe+10\text{мас.}\%Si$  (АЖ5К10) объясняется тем, что состав данного сплава состоит из эвтектик ( $\alpha-Al+FeAl_3$ ) и ( $\alpha-Al+Si+FeSiAl_5$ ), которые примыкают к алюминиевому углу системы  $Al-Fe-Si$  и плавится при температуре 670-727 °С.

**Цель настоящей работы** заключается в исследовании температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса), кинетике высокотемпературного окисления и коррозионно-электрохимического поведения 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.

***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 твёрдом состоянии;

- электрохимический метод исследования анодных свойств сплавов в потенциостатическом режиме (прибор ПИИ 50-1.1);

- математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложения и программы Microsoft Excel и Sigma Plot.

***Степень достоверности и апробация результатов***

Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих научных конференциях, симпозиумах и форумах:

***Международных:*** XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «GYLYM 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 международным 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 промышленности Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Душанбе (г. Душанбе, 2017); Научно-практическом семинаре «Наука-производству», посвященной 100- летию НИТУ «МИСиС» (г. Турсунзаде, 2017).

#### **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 энергии 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 сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, в твердом состоянии увеличивается. Константа скорости окисления имеет порядок  $10^{-4}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . 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 значимость работы.** В диссертации изложены теоретические аспекты исследований: доказательства влияния структуры, температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций, закономерности изменений коррозионно-электрохимические, кинетические и энергетические характеристики алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием; коррозионной среды и концентрации модифицирующих добавок на коррозионной стойкости и окисляемости алюминиевого сплава АЖ5К10.

**Практическая значимость работы** 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.

***На защиту выносятся:***

- 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 автора*** 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.

***Публикации:*** 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 132 страницах компьютерного набора, включая 32 таблицы, 66 рисунков и 106 библиографических наименований.

**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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 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

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

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  $\delta Q$  можно подсчитать кроме того по закону Ньютона-Рихмана:

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

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

Приравнявая выражения (1) и (2), получим

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

Количество тепла, которое теряет весь объем образца, равно

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

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:

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

или

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

где  $V$  – объем всего образца, а  $\rho \cdot V = m$  – 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:

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

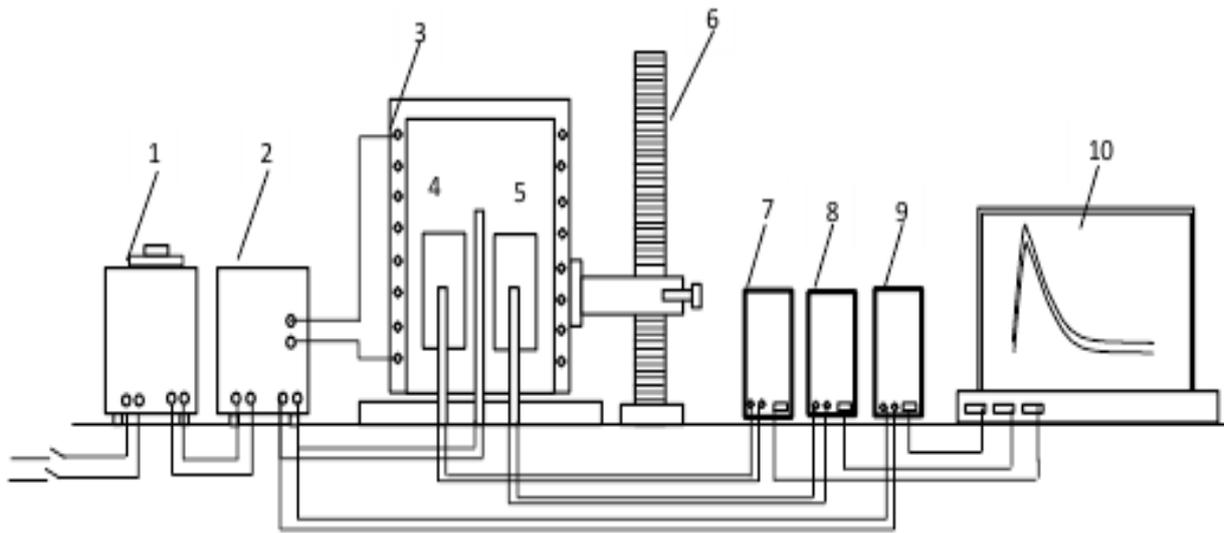
где  $m_1 = \rho_1 V_1$  – масса первого образца,  $m_2 = \rho_2 V_2$  – масса второго образца,  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$  – скорости охлаждения образцов при данной температуре.

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 °С с добавлением лигатуры алюминия с 10 мас.% Са, Sr и Ва 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).



**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.

Электропечь (3) запускается через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L», фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец и эталон в электропечь нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L» на компьютере (10). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208L» на компьютер через каждый 10с, до охлаждения температуры образца и эталона ниже 35 °С.

Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы «MS Excel». Графики строились с использованием программы «Sigma Plot». Коэффициент корреляции  $R_{\text{корр}} = 1,0 \div 0,9507$  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 °С до 400 °С составляла  $\pm 1\%$ , а в интервале более 400 °С  $\pm 2.5\%$ . Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике не превышает 4%.

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

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

где  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ -постоянные для данного образца;  $\tau$ -время охлаждения.

Дифференцируя (9) по  $\tau$ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплавов:

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

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.

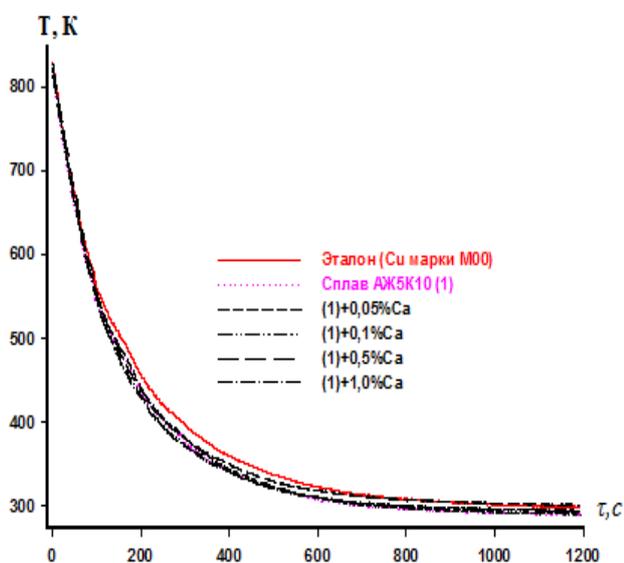
Процесс охлаждения для всех образцов достаточно близка друг к другу и температуры идентично уменьшаются. При охлаждении на кривых для образцов из сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием не обнаружены термические остановки, связанные с фазовым переходом или превращением.

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).

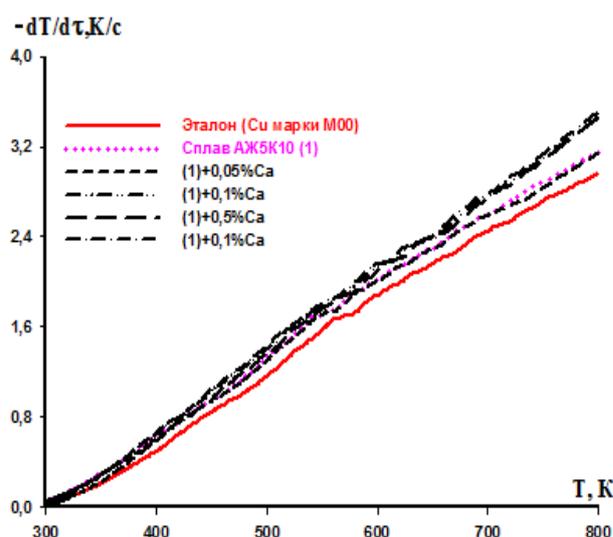
Для определения удельной теплоемкости сплава АЖ5К10 с кальцием использовали формулу (8). Были получены полиномы температурной зависимости удельной теплоемкости сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона (Cu марки М00), описываемые уравнением:

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

Значения коэффициентов уравнении (11) представлены в таблице 2.



**Рисунок 2** – Зависимость температуры от времени охлаждения для образцов из сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона



**Рисунок 3** – Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона

**Таблица 1** – Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  в уравнении (9) для сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием и эталона

Содержание кальция в сплаве, мас. %	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	$p, K$	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
Сплав АЖ5К10 (1)	488,57	6,64	309,43	5,30	3,25	1,64
(1)+0,05%Ca	494,58	6,59	311,79	5,80	3,26	1,81
(1)+0,1%Ca	503,26	7,14	313,81	5,20	3,60	1,63
(1)+0,5%Ca	503,44	7,29	325,14	6,40	3,67	2,08
(1)+1,0%Ca	498,91	7,24	314,21	5,39	3,61	1,69
Эталон (Cu марки М00)	481,34	6,48	329,32	8,12	3,12	2,67

**Таблица 2** – Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнении (11) для сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием и эталона

Содержание кальция в сплаве, мас. %	$a, Дж/кг \cdot K$	$b \cdot 10^{-2}, Дж/кг \cdot K^2$	$c \cdot 10^{-5}, Дж/кг \cdot K^3$	$d \cdot 10^{-8}, Дж/кг \cdot K^4$	Коэффициент корреляции $R, \%$
Сплав АЖ5К10 (1)	-4,0493	2,95	-5,3	3,13	0,9570
(1)+0,05%Ca	-3,8881	2,83	-5,1	2,95	0,9599
(1)+0,1%Ca	-4,3605	3,11	-5,6	3,26	0,9507
(1)+0,5%Ca	-4,5189	3,15	-5,6	3,2	0,9568
(1)+1,0%Ca	-4,5015	3,18	-5,7	3,37	0,9509
Эталон (Cu марки М00)	0,3245	0,0275	-0,0287	0,0142	1,0000

**Таблица 3** – Температурная зависимость удельной теплоёмкости ( $кДж/кг \cdot K$ ) сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона

Содержание кальция в сплаве, мас. %	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ5К10 (1)	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
(1)+0,05%Ca	0,8399	1,2159	1,2869	1,2299	1,2219	1,4399
(1)+0,1%Ca	0,8187	1,2219	1,2895	1,2171	1,2003	1,4347
(1)+0,5%Ca	0,7821	1,2171	1,3061	1,2411	1,2141	1,4171
(1)+1,0%Ca	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
Эталон (Cu марки М00)	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

В таблице 3 приведены результаты 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.

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (12)-(14) для сплава АЖ5К10 с кальцием были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнению (11):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (12)$$

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

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (14)$$

где  $T_0 = 298,15$  К.

Результаты расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона по уравнениям (12)-(14) через 100К представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплава АЖ5К10 с кальцием и эталона

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)	1,560	108,701	236,247	362,108	482,973	614,314
(1)+0,05%Са	1,535	106,988	232,915	357,568	476,895	604,548
(1)+0,1%Са	1,504	107,145	234,697	360,379	479,970	608,812
(1)+0,5%Са	1,435	105,079	233,322	361,165	482,809	611,652
(1)+1,0%Са	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
Эталон (Cu марки М00)	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 (1)	0,005	0,311	0,595	0,825	1,011	1,186
(1)+0,05%Са	0,005	0,308	0,590	0,819	1,004	1,175
(1)+0,1%Са	0,005	0,306	0,591	0,820	1,004	1,176
(1)+0,5%Са	0,005	0,300	0,586	0,819	1,007	1,178
(1)+1,0%Са	0,005	0,293	0,566	0,785	0,960	1,125
Эталон (Cu марки М00)	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 (1)	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
(1)+0,05%Са	-0,018	-16,219	-62,250	-133,876	-226,008	-335,649
(1)+0,1%Са	-0,005	-15,317	-60,556	-131,537	-223,006	-331,952
(1)+0,5%Са	-0,004	-14,905	-59,559	-130,257	-221,819	-331,039
(1)+1,0%Са	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
Эталон (Cu марки М00)	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

\* $T_0 = 298,15$  К.

В таблицах 5, 6 обобщены результаты исследования теплофизических и термодинамических свойств алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием для сплава, содержащего 1.0мас.% четвертого компонента.

Видно, что от температуры наблюдается рост теплоемкости (таблица 5) и при переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием теплоемкость растёт и далее к сплавам с барием уменьшается.

**Таблица 5** – Зависимость удельной теплоёмкости сплава АЖ5К10 с 1.0мас.% кальцием, стронцием и барием и эталона от температуры

Содержание ЩЗМ в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ5К10 (1)	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
(1)+1,0%Ca	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
(1)+1,0%Sr	0,7579	1,1702	1,2421	1,1710	1,1543	1,3894
(1)+1,0%Ba	0,7582	1,1573	1,2176	1,1389	1,1210	1,3637
Эталон (Cu марки М00)	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

**Таблица 6.** Зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ5К10 с 1,0мас.% ЩЗМ и эталона от температуры

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)	1,560	108,701	236,247	362,107	482,973	614,314
(1)+1,0%Ca	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
(1)+1,0%Sr	1,391	101,455	224,084	345,108	460,098	584,362
(1)+1,0%Ba	1,429	102,900	225,676	345,867	459,563	582,834
Эталон (Cu марки М00)	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 (1)	0,0052	0,3108	0,5952	0,8249	1,0112	1,1862
(1)+1,0%Ca	0,0047	0,2929	0,5661	0,7851	0,9604	1,1252
(1)+1,0%Sr	0,0047	0,2897	0,5630	0,7839	0,9612	1,1268
(1)+1,0%Ba	0,0048	0,2939	0,5677	0,7870	0,9623	1,1266
Эталон (Cu марки М00)	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 (1)	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
(1)+1,0%Ca	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
(1)+1,0%Sr	-0,004	-14,413	-57,425	-125,218	-212,725	-317,050
(1)+1,0%Ba	-0,004	-14,675	-58,154	-126,346	-214,067	-318,430
Эталон (Cu марки М00)	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

\* $T_0 = 298,15$  К.

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.

## 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 7, 8 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 7). 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.

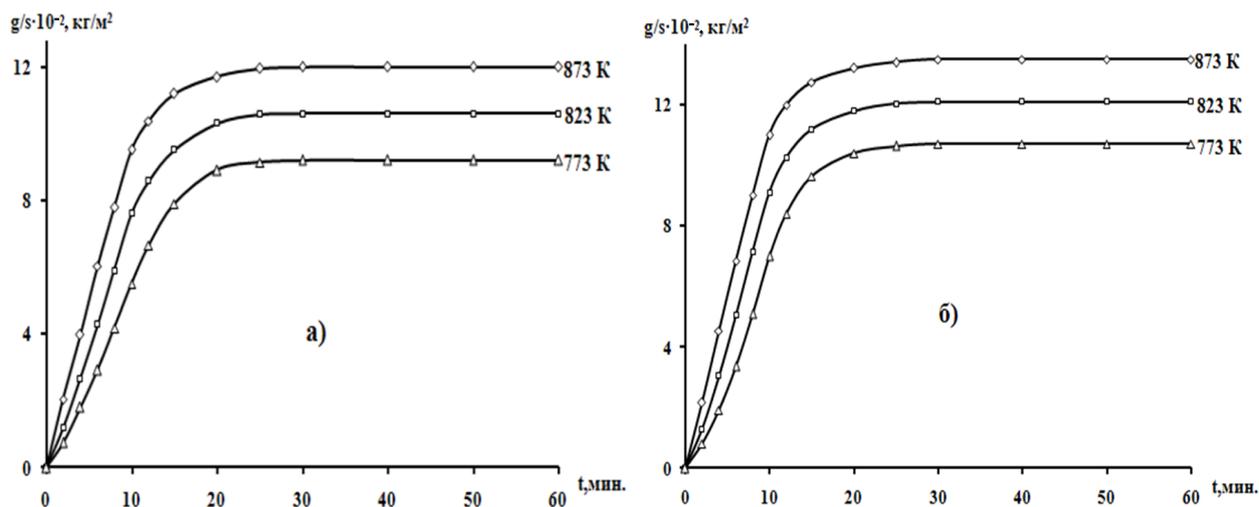
**Таблица 7** – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, в твердом состоянии

Содержание кальция в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^4$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	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	

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

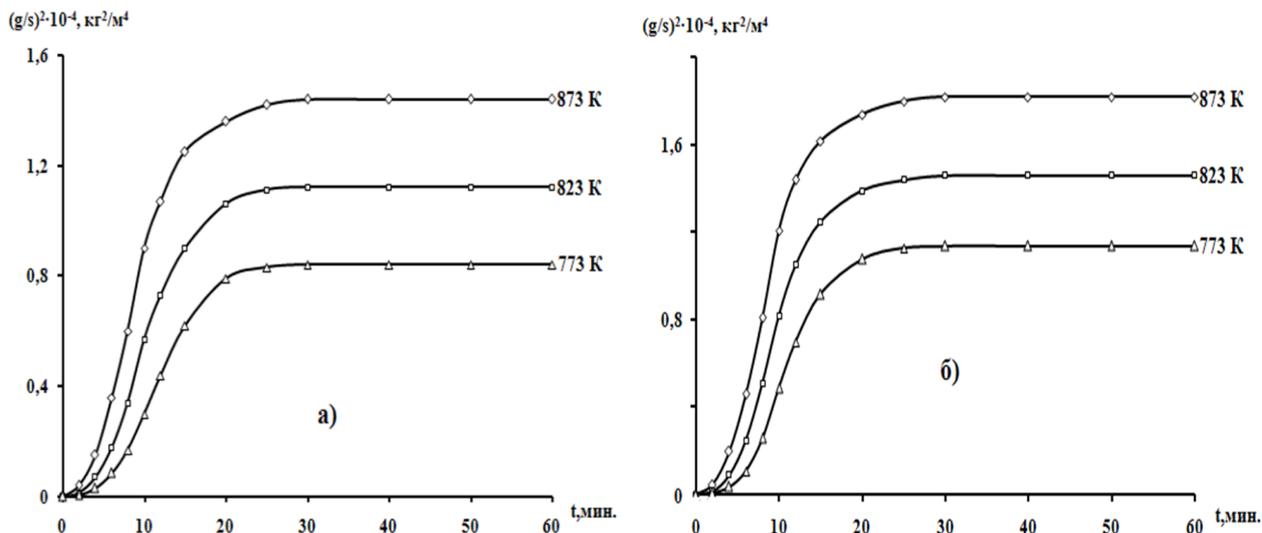
скорость окисления при температурах 773, 823 и 873 К изменяется от  $2,54 \cdot 10^{-4}$  до  $3,01 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Численное значение величины энергии активации процесса окисления сплавов различного состава рассчитана нами по углу наклона зависимости  $\lg K - 1/T$ . Например, для сплава АЖ5К10 с 1,0 мас.% кальцием она равна 120,8 кДж/моль (таблица 7).

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.



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

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.



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

В таблице 8 приведены полученные математической обработкой квадратичных кривых процесса окисления сплавов системы АЖ5К10 – Са. Установленные модели свидетельствуют о гиперболическом механизме процесса окисления исследованных сплавов, о чём свидетельствует значение  $n$  в уравнении  $y = kx^n$ , которое составляет  $n = 2 \div 3$ .

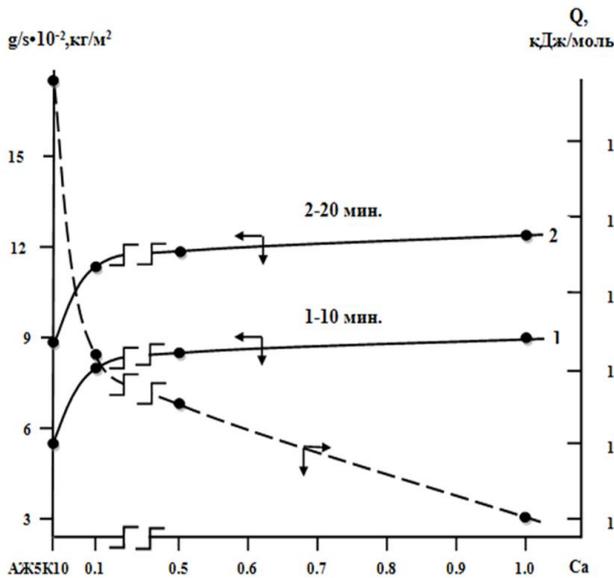
**Таблица 8** – Результаты математической обработки квадратичных кинетических кривых окисления алюминиевого сплава АЖ5К10 с кальцием, в твердом состоянии

Содержание кальция в сплаве, мас. %	Температура окисления, К	Полиномы кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции R, %
0.0	773	$y = 0,3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,000x^3 - 0,054x^2 + 1,420x$	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

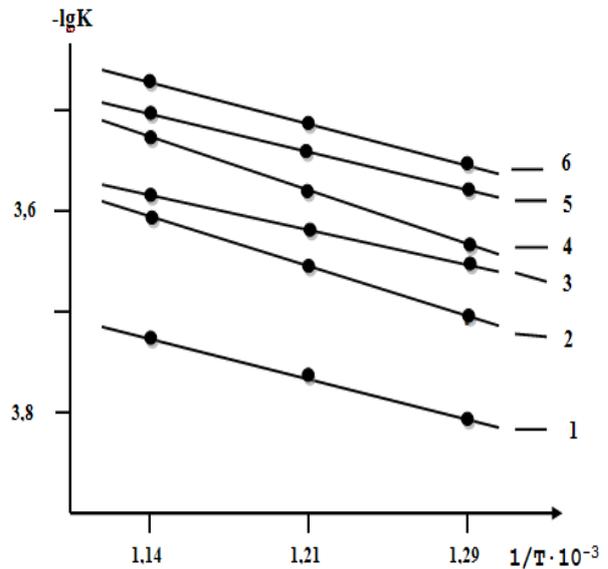
На рисунке 6 представлен изохронны окисления сплавов за 10 и 20 минут окисления при температуре 773. Установлено, что с увеличением содержания кальция в исходном сплаве привес растёт. Кажущаяся энергия активации окисления с ростом содержания кальция уменьшается.

Зависимость  $\lg K - 1/T$  (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  $3.01 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  при 873 К. Другие составы по сравнению с этим сплавом имеют меньшее значение скорости окисления.

Величины эффективной энергии активации процесса окисления алюминиевого сплава АЖ5К10, модифицированного Са, Sr и Ва, различной концентрации приведены в таблице 9.



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



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

**Таблица 9** – Сравнительное значение эффективной энергии активации с процесса окисления сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием

Содержание компонентов в сплаве, мас. %	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль					
	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.

### **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, обезжировали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная 20 °С 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 питтингообразования. 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  $v_k = 0,12$  В, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии в свою очередь является функцией тока коррозии, находимой по формуле:  $K = i_{кор.} \cdot k$ , где  $k = 0.335$  г/А· час для алюминия.

Результаты исследований представлены в таблицах 10 и 11. 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 с литием 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 питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (таблица 10).

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 11). Добавки кальция, стронция и бария к сплаву АЖ5К10 способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чём свидетельствует

смещение в более положительную область анодных ветвь потенциодинамических кривых, модифицированных сплавов.

**Таблица 10** – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{\text{св.кор.}}$ , В) и питтингообразования ( $-E_{\text{п.о.}}$ , В) сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ва), в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание ЦЗМ в сплаве, мас.%	Сплавы с Са		Сплавы со Sr		Сплавы с Ва	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
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, питтингообразования 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 11).

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  $\text{Fe}_2\text{SiAl}_8$  и  $\text{FeSiAl}_5$  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 11).

**Таблица 11** – Зависимость скорости коррозии сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ва), в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание ЦЗМ в сплаве, мас. %	Скорость коррозии					
		сплавов с Са		сплавов со Sr		сплавов с Ва	
		$i_{кор.} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$	$i_{кор.} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$	$i_{кор.} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$
		А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> ·час	А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> ·час	А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> ·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

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.

## ВЫВОДЫ

### *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-А, 2-А, 9-А, 11-А, 12-А, 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-А, 2-А, 9-А, 11-А, 12-А, 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  $10^{-4}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . 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 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 сплава АЖ5К10 в среде электролита NaCl [3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А, 19-А, 20-А, 21-А].

6. Изучением коррозионно-электрохимического поведения 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 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-А, 4-А, 5-А, 6-А, 14-А, 15-А, 16-А, 17-А, 18-А, 19-А, 20-А, 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-А, 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 рекомендуется для использования предприятиям промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан.

3. Опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных

технологий при Национальной академии наук Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

## 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 № ТЈ 860, С 22 С 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 № ТЈ 1004, МПК С 22 С 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 «GYLYM 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 международным 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 питтингообразования 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 промышленности 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 основания 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 669.77:621**

**ЯКУБОВ Умарали Шералиевич**

**ХОСИЯТИ ФИЗИКАВИЮ-ХИМИЯВИИ ХӮЛАИ  
АЛЮМИНИЙИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ**

**6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав**

**АВТОРЕФЕРАТИ  
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии  
доктори (PhD) илмҳои техникӣ**

**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**

**Муқарризи 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 гилҳоку карбондори маҳаллии МД ИИТ «Металлургия»-и КВД «Ширкати алюминийи тоҷик»  
**Асрори Муродиён**

**Муассисаи пешбар:** Институти энергетикаи Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия 25 ноябри соли 2020, соати 9<sup>00</sup> дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад.

Суроға: 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2.

E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

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

Автореферат санаи « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ соли 2020 тавзеъ шудааст.

**Котиби илмӣ**  
**Шӯрои диссертатсионӣ,**  
**номзади илмҳои химия**



**Махкамов Ҳ.Қ.**

## ТАВСИФИ УМУМИИ ДИССЕРТАТСИЯ

**Мубрамияти таҳқиқот.** Маводи муосир бояд хосиятҳо ва сифатҳои баландро барои таъмин намудани манбаҳои зарурӣ ва эфтироднокии маҳсулоти технологияҳои кайҳонӣ, мошинсозӣ, энергияи атомӣ, радиотехника, электроника ва ғайра истифода бурда мешавад. Дар ин робита, истеҳсол ва истифодаи алюминий ва хӯлаҳои он, ки дорои зангзании баланд, муқовимати механикӣ ва дигар хусусиятҳои хос мебошанд, аҳамияти хоса дорад.

Таваҷҷуҳи махсус барои мустаҳкамии мошинсозии муосирро нишон медиҳад, ки рехтани хӯлаҳои алюминий бо хосиятҳои хӯлаҳои шабеҳ ба коркардшуда. Омили асосӣ муайян кардани хусусиятҳои механикӣ ва технологияи хӯлаи рехтагарӣ, таркиб, аз ҷумла сохторҳои ифлосҳо ва газҳои зарарнок, вобаста ба технологияи гудохта, инчунин таркиби маводи ибтидоӣ ва флюсҳо иборат аст.

Ҳамин тариқ, таҳияи хӯлаҳои дақиқ дар асоси чунин як металл бо гудозиши он бо унсури саввӣ як масъалаи таъхирнопазир мебошад. Ин равиш имкон медиҳад, ки металли бесифат ба маҳсулоти муфид ва муфид барои технология табдил дода шавад. Баъзан, барои маҳкам кардани таъсири манфии оҳан, хӯлаҳо бо марганец дар миқдори 0,5-1,0% ҷудо карда мешаванд. Дар марҳилаи  $FeAl_3$  то 1/10 атомҳои оҳанро бо атомҳои марганец иваз кардан мумкин аст. Дар натиҷа, марҳилаи нав  $Al_3FeMn$  ба вуҷуд меояд. Кристаллҳои ин марҳила бо фарқиати фазаҳои соҳавии  $FeAl_3$  бо шакли нисбатан ҷузъӣ фарқ мекунанд.

Барои тағир додани шакли кристаллҳои таркиби интерметаллӣ дар эвтектика ( $\alpha-Al + FeAl_3$ ), яъне. модификатсияи он, металлҳои калтсий, стронций ва барий ҳамчун унсури тағйирдиҳанда ба ҳайси ҷузъҳои фаъоли рӯизаминии хӯлаи се интиҳоб карда шуданд. Ин равиш имкон медиҳад, ки таркиби хӯлаи нав таҳия карда шавад, интиҳоби хӯлаи аввалия  $Al + 5\text{вазн.}\% Fe + 10\text{вазн.}\% Si$  (АЖ5К10) бо ин далел шарҳ дода мешавад. Ин таркиби эвтектика ( $\alpha-Al + FeAl_3$ ) и ( $\alpha-Al + Si + FeSiAl_5$ ), ки ба кунҷи алюминии системаи  $Al-Fe-Si$  наздиканд. Тибқи сарчашмаҳои мухталиф, ин хӯла дар ҳарорати 670-727 °С гудохта мешавад.

**Мақсади асосии таҳқиқот** муқаррар намудани вобастагии гармигунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) аз ҳарорат; кинетикаи оксидшавии баландҳарорат ва рафтори электрохимиявии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий модификатсионӣ шудааст, ки барои ҳифзи маснуот истифода мешаванд.

### **Вазифаи таҳқиқот:**

- омӯختани вобастагии гармигунҷоиш аз ҳарорат ва функцияҳои термодинамикии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда;

- омӯختани хусусиятҳои кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии 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 алюминии АЖ5К10, дар муҳити электролити NaCl;

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

***Усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳҳои истифодашуда:***

- усули муайян кардани гармиғунҷоиши хӯла дар речаи хунукшавӣ бо истифода аз дастгоҳи қайди автоматикии ҳарорати намуна аз вақти хунукшавӣ;

- усули термогравиметрикии омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳолати сахтӣ;

- усули потенциостатикии 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.

***Дарҷаи саҳеҳият ва баррасии натиҷаҳо***

Нуктаҳои асосии рисола дар конференсияҳо, симпозиумҳо ва форумҳо баррасӣ шудаанд:

***Байналмилалӣ:*** XIV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «GYLYM JANE 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).

***Ҷумҳуриявӣ:*** 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 международным 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); Республиканской научно-практической конференции «Наука и техника для устойчивого развития» (г. Душанбе, 2018); Республиканской научно-практической конференции «Стратегия и аспекты развития горной промышленности

Республики Таджикистан». Филиал НИТУ «МИСиС» в г. Душанбе (г. Душанбе, 2017); Научно-практическом семинаре «Наука-производству», посвященной 100- летию НИТУ «МИСиС» (г. Турсунзаде, 2017).

***Навгониҳои илми таҳқиқот:***

- Муносиб кардани асосҳои қонунияти тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) ҳулаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда, вобаста аз ҳарорат ва микдори элементҳои чавҳарӣ. Маълум гардид, ки бо зиёдшавии ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳулаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий меафзояд ва бузургии энергияи Гиббс паст мешавад. Бо зиёдшавии микдори элементҳои чавҳарӣ бузургии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикӣ паст мешавад;

- Таҳқиқот нишон дод, ки бо зиёдшавии ҳарорат суръати оксидшавии ҳулаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ меафзояд. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби  $10^{-4} \cdot \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  доро мебошад. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии ҳулаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда ба қонуни гипербола итоат менамояд;

- Бо усули потенсостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши потенциал (2 мВ/с) муқаррар карда шудааст, ки иловаҳои унсурҳои чавҳаронӣ то 1.0% - и вазн ба коррозия устувории ҳулаи АЖ5К10 – ро аз 50% то 80% зиёд мекунад. Дар ин ҳолат потенциалҳои ба коррозия устувори ҳулаи аввалӣ ба самти мусбат ва потенциалҳои пitting-хосилкунӣ ва репассиватсионӣ ба самти манфии тири ордината майл мекунад. Ҳангоми гузаштан аз ҳулаҳои бо калсий чавҳаронидашуда ба ҳулаҳои бо стронций чавҳаронидашуда, устуворӣ ба коррозия меафзояд ва ба ҳулаҳои бо барий чавҳаронидашуда бошад, паст мешаванд (иловаи ҳулаҳои 1.0% - и вазн).

***Аҳамияти назариявии тадқиқот.*** Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии тадқиқот: исботи таъсири сохторҳо, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии тавсифоти коррозсионӣ-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ ҳулаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий; муҳитҳои коррозсионӣ ва концентратсияҳои иловаҳои модифитсионӣ ба устувории коррозсионӣ ва оксидшавии ҳулаи алюминии АЖ5К10 баён шудааст.

***Аҳамияти амалии таҳқиқот*** муқаррар намудани коркарди ҳулаҳои нав ва бо роҳи металлургӣ баланд бардоштани ба коррозия устувории ҳулаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда, бо нахустпатентҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд.

***Барои ҳимоя пешниҳод карда мешавад:***

- натиҷаҳои тадқиқи вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳулаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда;

- параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ҳулаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда, 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 алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронидашуда аз концентратсияи элементи модифитсиронанда, 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** дар таҳлили маълумоти маъмули илмӣ, дар гузориши масъала ва ҳалли масъалаҳои тадқиқот, омодакунӣ ва гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлил ва коркарди натиҷаҳои ба даст оварда, муайян намудани масъалаҳои асосӣ ва таҳияи хулосаҳои рисола мебошад.

**Интишорот:** Аз рӯи мавзӯи диссертатсия 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 132 саҳифаи компютерӣ, ки 32 ҷадвал, 66 расм, ва 106 феҳрасти адабиёти истифодашуда ба муқова оварда шудааст.

**Дар муқаддима** масъалаҳои марбут ба кор ва муаммоҳои атрофи он сухан рафта, муҳимияти интиҳоби 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 коррозиони 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 интиҳоб намудем.

**Дар боби дуюм** натиҷаи тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармигунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминий АЖ5К10 бо металҳои шикорзаминӣ оварда шудаанд.

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

Дар боби чорӯм натиҷаҳои тадқиқоти потенциостатикии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо иловаҳои калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролити NaCl оварда шудаанд.

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

## МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

### ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИ ГАРМИҶУНҶОИШ ВА ТАҒЙИРЁБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ5К10 БО ИЛОВАИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ, ЧАВҲАРОНИДАШУДА

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

Ҳисоби гармиҷунҷоиш вобастаги дорад аз муодилаҳои нишондодашуда.

Миқдори гармии талафшудаи ҳаҷми  $dV$ -и металл дар вақти  $d\tau$ , баробар аст

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

дар ин ҷо дар ин ҷо  $C_P^0$ - гармиҷунҷоиши ҳоси металл,  $\rho$  - зичии металл,  $T$  – ҳарорати намуна (дар ҳамаи нуқтаҳои намуна якхел қабул карда мешавад, чунки андозаҳои ҳаттии ҷисм кам ва гармигузаронандагии металл зиёд аст).

Бузургии  $\delta Q$ -ро ҳисоб намудан мумкин аст, илова бар ин аз рӯи қонуни Нютон–Рихман:

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

дар ин ҷо  $dS$  – элементи сатҳ,  $T_0$  – ҳарорати муҳити атроф,  $a$  - зарби гармидиҳӣ.

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

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

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

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

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

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

ё ин ки,

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

дар ин ҷо  $V$  – ҳаҷми сатҳи намуна ва  $\rho \cdot V$  -  $m$  – масса,  $S$  – масоҳати сатҳи ҳамаи намуна.

Таносуби (6) барои ду намунаҳои андозаи якхеладошта ҳангоми дурустии  $S_1 - S_2$ ,  $T_1 - T_2$ ,  $\alpha_1 - \alpha_2$  чунин навишта мешавад:

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

Пайгирона, вазни намунаҳо  $m_1$  ва  $m_2$ -ро доништа, 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:

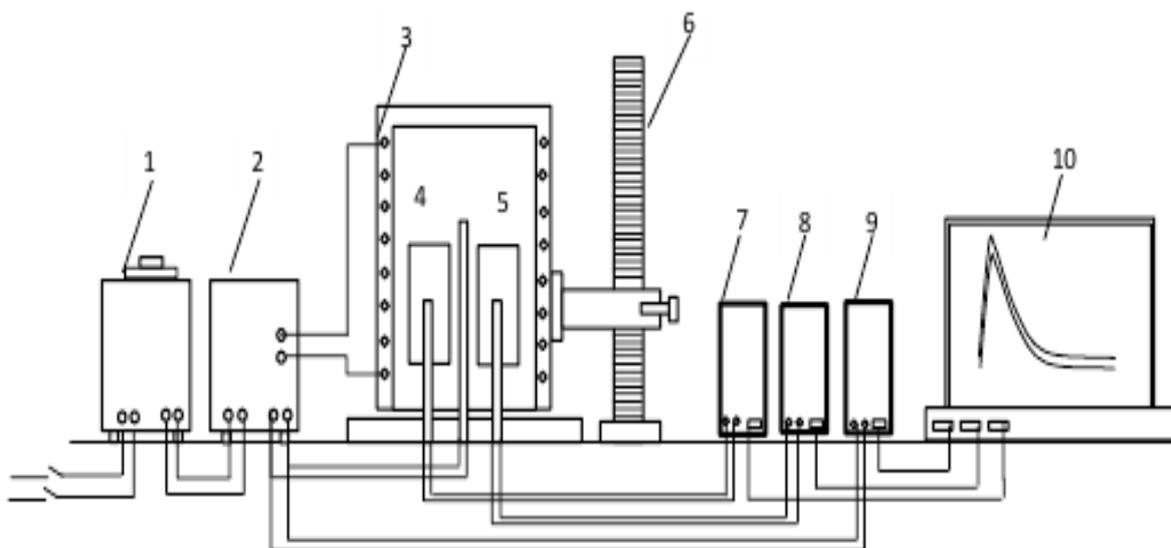
$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (8)$$

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, қачхаттаи хунукшавии намунаҳои додашударо месозанд. Қачхаттаи 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 °С, 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 кӯраҳои 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 чавҳаронида шуда, дар речаи “хунукшавӣ” омӯхта шудааст.

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳе гузаронида шуд, ки тарҳи он дар расми 1 оварда шудааст. Дастгоҳ аз чузъҳои зерин иборат аст: кӯраи барқии (3) ба пояи (6) маҳкам карда шудааст, ки метавонад ба боло ва поён давр занад (акрабак самти даврзаниро нишон медиҳад). Намуна (4) ва эталон (5) (ки чой 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.



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

Қӯраи барқи тавассути автотрансформатор (1) ба кор дароварда, ҳарорати заруриро бо ёрии танзимкунандаи ҳарорат (2) чен карда мешавад. Аз рӯи нишондоди ҳароратсанҷи рақамии «Digital Multimeter DI9208L» қимати ҳарорати аввала ба қайд гирифта мешавад. Намунаи ва эталонро ба гармкунаки ворид намуда, то ҳарорати зарурӣ гарм карда, ҳароратро бо нишондоди ҳароратсанҷи рақамии «Digital Multimeter DI9208L», ки бо компютери (10) васл шудааст, назорат карда мешавад. Баъдан намунаи ченшаванда ва эталонро дар як вақт аз дохили қӯраи барқӣ берун карда, аз ҳамон лаҳза камшавии ҳарорат ба қайд гирифта мешавад. Нишондоди ҳароратсанҷҳои рақамии дар компютер (10) дар давоми вақти мушоҳида (10 с) сабт карда мешавад. Дар таҷриба температураи намуна ва эталон то ҳарорати хонагӣ  $35^{\circ}\text{C}$  хунук карда мешаванд.

Натиҷаи тадқиқотҳо бо истифода аз барномаҳои компютери «MSExcel» истифода шудааст. Барои сохтани графикҳо бо истифода аз барномаҳои компютери «Sigma Plot» коркард карда шудаанд. Дар ин қиматҳо коэффитсиенти коррелятсия ба  $R_{\text{корр}} = 1,0 \div 0,9507$  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  $40^{\circ}\text{C}$  то  $400^{\circ}\text{C} \pm 1\%$  ва дар фосилаи зиёда аз  $400^{\circ}\text{C} \pm 2.5\%$ -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:

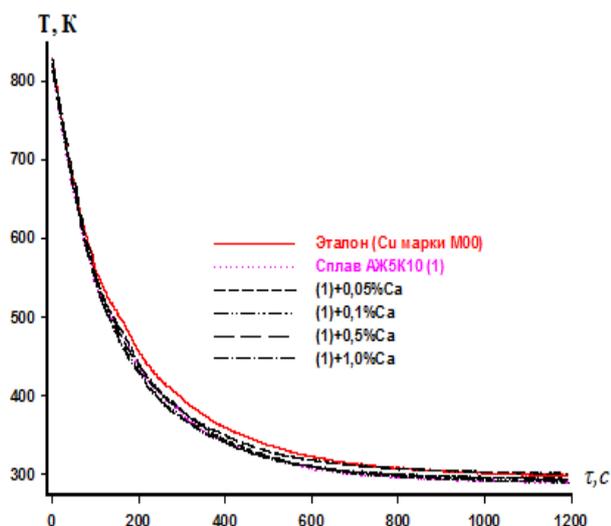
$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (9)$$

дар ин чо а, b, p, k – доимиҳо барои намунаи додашуда,  $\tau$  – вақти хунукшавӣ.

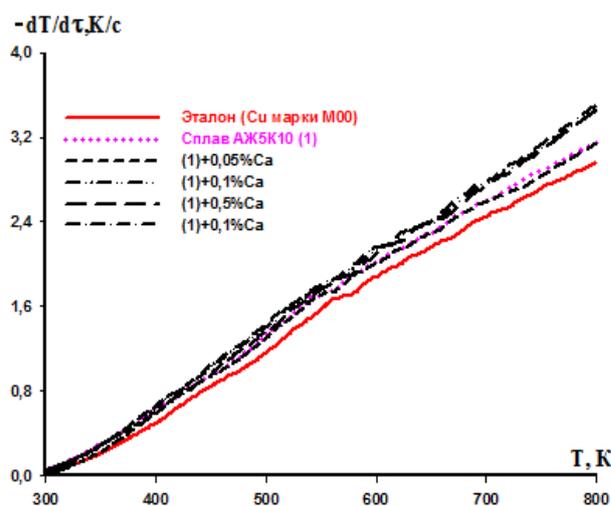
Вобаста ба муодилаи (9) бо  $\tau$ , муодила барои муайян намудани суръати хунуккунии хӯлаҳоро дар намуди зерин ҳосил мекунем:

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

Бо ин муодила натиҷаҳои суръати хунукшавии эталон ва намунаҳои хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронида шуда 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 ҳамавақт паст мешавад. Дар ҳолати қачхаттаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаи АЖ5К10 бо калсий чавҳаронида шуда ҳарорат нигоҳ дошта нашудааст, вобастаги дорад аз гузариши вазавӣ ё ин ки табдил ёфтанд.



**Расми 2** – Вобастагии ҳарорат аз суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ва эталон



**Расми 3** – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ва эталон

**Ҷадвали 1** – Қимати зарифҳои а, b, p, k, ab, pk дар муодилаи (9) барои хӯлаи АЖ5К10 бо калсий чавҳаронида шуда ва эталон

Миқдори калсий дар хӯлае, %-и вазн	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	$\rho, K$	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
Хӯлаи АЖ5К10 (1)	488,57	6,64	309,43	5,30	3,25	1,64
(1)+0,05%Ca	494,58	6,59	311,79	5,80	3,26	1,81
(1)+0,1%Ca	503,26	7,14	313,81	5,20	3,60	1,63
(1)+0,5%Ca	503,44	7,29	325,14	6,40	3,67	2,08
(1)+1,0%Ca	498,91	7,24	314,21	5,39	3,61	1,69
Эталон (Си тамғай М00)	481,34	6,48	329,32	8,12	3,12	2,67

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

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 М00) бо муодилаи намуди (11) навишта мешавад:

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

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

**Ҷадвали 2** – Қимматҳои коэффициентҳои  $a, b, c, d$  дар муодилаи (11) барои хӯлаҳои АЖ5К10 ки бо калсий модификатсия шудааст ва эталон

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазн	$a$ , Ҷ/кг·К	$b \cdot 10^{-2}$ , Ҷ/кг·К <sup>2</sup>	$c \cdot 10^{-5}$ , Ҷ/кг·К <sup>3</sup>	$d \cdot 10^{-8}$ , Ҷ/кг·К <sup>4</sup>	Зариби коррелятсионӣ R, %
Хӯла АЖ5К10 (1)	-4,0493	2,95	-5,3	3,13	0,9570
(1)+0,05%Са	-3,8881	2,83	-5,1	2,95	0,9599
(1)+0,1%Са	-4,3605	3,11	-5,6	3,26	0,9507
(1)+0,5%Са	-4,5189	3,15	-5,6	3,2	0,9568
(1)+1,0%Са	-4,5015	3,18	-5,7	3,37	0,9509
Эталон (Cu тамғаи М00)	0,3245	0,0275	-0,0287	0,0142	1,0000

**Ҷадвали 3** – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси (кҶ/кг·К) хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий модификатсияшуда ва эталон

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазн	T, К					
	300	400	500	600	700	800
Хӯла АЖ5К10 (1)	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
(1)+0,05%Са	0,8399	1,2159	1,2869	1,2299	1,2219	1,4399
(1)+0,1%Са	0,8187	1,2219	1,2895	1,2171	1,2003	1,4347
(1)+0,5%Са	0,7821	1,2171	1,3061	1,2411	1,2141	1,4171
(1)+1,0%Са	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
Эталон (Cu тамғаи М00)	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

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

**Чадвали 4** – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функцияи термодинамикии хӯлаҳои АЖ5К10, ки бо калсий ва эталон

Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Хӯла АЖ5К10 (1)	1,560	108,701	236,247	362,108	482,973	614,314
(1)+0,05%Са	1,535	106,988	232,915	357,568	476,895	604,548
(1)+0,1%Са	1,504	107,145	234,697	360,379	479,970	608,812
(1)+0,5%Са	1,435	105,079	233,322	361,165	482,809	611,652
(1)+1,0%Са	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
Эталон (Cu тамғаи М00)	0,712	39,869	80,168	121,419	163,517	206,442
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг·К барои хӯлаҳо						
Хӯла АЖ5К10 (1)	0,005	0,311	0,595	0,825	1,011	1,186
(1)+0,05%Са	0,005	0,308	0,590	0,819	1,004	1,175
(1)+0,1%Са	0,005	0,306	0,591	0,820	1,004	1,176
(1)+0,5%Са	0,005	0,300	0,586	0,819	1,007	1,178
(1)+1,0%Са	0,005	0,293	0,566	0,785	0,960	1,125
Эталон (Cu тамғаи М00)	0,002	0,115	0,205	0,280	0,345	0,402
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо						
Хӯла АЖ5К10 (1)	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
(1)+0,05%Са	-0,018	-16,219	-62,250	-133,876	-226,008	-335,649
(1)+0,1%Са	-0,005	-15,317	-60,556	-131,537	-223,006	-331,952
(1)+0,5%Са	-0,004	-14,905	-59,559	-130,257	-221,819	-331,039
(1)+1,0%Са	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
Эталон (Cu тамғаи М00)	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

\* $T_0 = 298,15$  К.

Барои ҳисоб намудани вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаҳо формулаҳои (12)-(14) аз интегралҳои муодилаи (10) истифода бурда шуд:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (12)$$

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

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (14)$$

где  $T_0 = 298,15$  К.

Натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии ҳароратии тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ аз рӯи формулаҳои (12)-(14) барои хӯлаҳои АЖ5К10, ки бо калсий модификатсия шудааст ва эталон баъд аз ҳар 100К дар чадвали 4 оварда шудаанд.

**Чадвали 5** – Гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳои АЖ5К10 бо 1,0 % массавӣ калсий, стронсий, барий ва эталон вобаста аз ҳарорат

Микдори МИЗ дар хӯла, %-и вазн	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Хӯла АЖ5К10 (1)	0,8488	1,2259	1,2882	1,2235	1,2196	1,4643
(1)+1,0%Ca	0,7734	1,1753	1,2360	1,1577	1,1426	1,3929
(1)+1,0%Sr	0,7579	1,1702	1,2421	1,1710	1,1543	1,3894
(1)+1,0%Ba	0,7582	1,1573	1,2176	1,1389	1,1210	1,3637
Эталон (Cu тамғаи М00)	0,3850	0,3977	0,4080	0,4169	0,4251	0,4335

**Чадвали 6** – Тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаҳои АЖ5К10 бо 1,0 % массавӣ МИЗ ва эталон вобаста аз ҳарорат

Микдори МИЗ дар хӯла, %-и вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	300 К	400 К	500 К	600 К	700 К	800 К
Хӯла АЖ5К10 (1)	1,560	108,701	236,247	362,107	482,973	614,314
(1)+1,0%Ca	1,420	102,541	225,106	345,107	458,753	582,474
(1)+1,0%Sr	1,391	101,455	224,084	345,108	460,098	584,362
(1)+1,0%Ba	1,429	102,900	225,676	345,867	459,563	582,834
Эталон (Cu тамғаи М00)	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						
Хӯла АЖ5К10 (1)	0,0052	0,3108	0,5952	0,8249	1,0112	1,1862
(1)+1,0%Ca	0,0047	0,2929	0,5661	0,7851	0,9604	1,1252
(1)+1,0%Sr	0,0047	0,2897	0,5630	0,7839	0,9612	1,1268
(1)+1,0%Ba	0,0048	0,2939	0,5677	0,7870	0,9623	1,1266
Эталон (Cu тамғаи М00)	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						
Хӯла АЖ5К10 (1)	-0,005	-15,635	-61,352	-132,806	-224,857	-334,655
(1)+1,0%Ca	-0,004	-14,611	-57,960	-125,980	-213,505	-317,695
(1)+1,0%Sr	-0,004	-14,413	-57,425	-125,218	-212,725	-317,050
(1)+1,0%Ba	-0,004	-14,675	-58,154	-126,346	-214,067	-318,430
Эталон (Cu тамғаи М00)	-0,002	-6,107	-22,243	-46,586	-77,903	-115,311

\* $T_0 = 298,15$  К.

Дар чадвалҳои 5, 6 натиҷаҳои тадқиқоти хосиятҳои теплофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминий АЖ5К10, ки бо микдори чоркомпонентаи калсий, стронсий ва барий модифитсиронандаи 1,0 % массавӣ доранд, оварда шудаанд.

Дида мешавад, ки ҳангоми баланд шудани ҳарорати гармиғунҷоиши хос (чадвали 5) ва зимни муқоисакунӣ ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо стронсий бузургҳои гармиғунҷоиш ва зариби гармидихӣ афзоиш ёфта, баъдан ба хӯлаҳо бо барий андаке кам мегардад.

Аз натиҷаҳои тадқиқоти хосияти гармидихии физикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминии системаи АЖ5К10 – Ca (Sr,

Ва) нишон медиҳад, ки бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳо меафзоянд, лекин энергияи Гиббс кам мешавад. Бо афзоиши концентратсияи МИЗ гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои АЖ5К10 кам шуда, қимати энергияи Гиббс бошад, меафзояд.

### **ОМУҶИШИ КИНЕТИКАИ РАВАНДИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ5К10 БО КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ, БАРИЙ, ДАР ХОЛАТИ САХТ**

Дар ин боб омуҷиши иловаҳои тағирдиҳандаи калсий барои оксидшавии хӯлаи алюминии 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 ҷадвали 7, 8 ва дар расмҳои 4-7 оварда шудааст.

**Ҷадвали 7** – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, дар ҳолати сахт

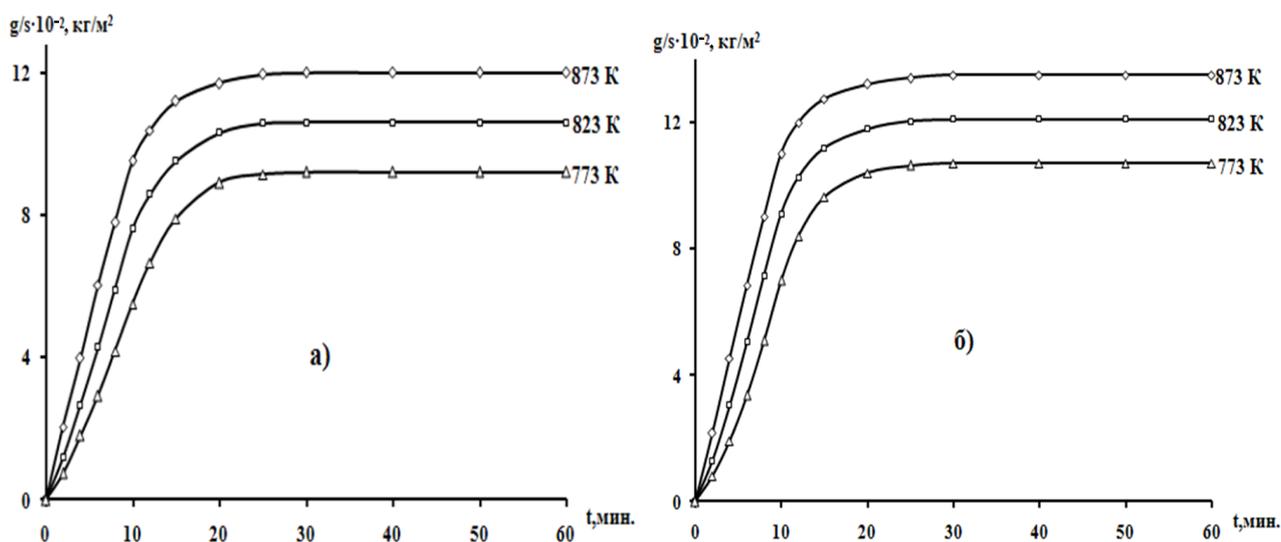
Миқдори калсий дар хӯла, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати миёнаи оксидшавӣ, $K \cdot 10^4$ , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ, кҶ/моль
0.0	773	1.42	178.0
	823	1.61	
	873	1.76	
0.01	773	1.72	170.3
	823	1.92	
	873	2.10	
0.05	773	1.90	159.7
	823	2.13	
	873	2.32	
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	

Ҳисоби миқдори энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ хӯлаҳо нишон медиҳад, ки иловаи то 1.0 % массавӣ калсий дар хӯлаҳои АЖ5К10 суръати оксидшавӣ баланд мешавад, дар инҳолат миқдори энергияи эффективии активатсияи оксидшавӣ аз 178,0 то 120,8 кҶ/моль паст мешавад (ҷадвали 7). Агар муқоиса кунем суръати оксидшави хӯлаҳо дар як ҳарорат, мумкин аст

дидан да хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо миқдори иловаи 0.01, 0.05, 0.1, 0.5 и 1.0 % массавӣ калсий суръати окисления зиёд аст назар ба хӯлаи АЖ5К10.

Дар муодилаи  $K=g/s \cdot \Delta t$  дида мешавад, ки суръати оксидшавӣ хӯлаҳо аз рӯйи расанда гузаштан аз аввали координат ба қачхати оксидшаванда ҳисоб карда мешавад. Барои хӯлаи алюминии АЖ5К10, мисол иолваи 1.0 % массавӣ калсий суръати оксидшавӣ дар ҳароратҳои 773, 823 ва 873 К тағир ёфта аз  $2.54 \cdot 10^{-4}$  то  $3.01 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  зиёд мешавад. Энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавиро аз рӯйи тангенси афтиши кунҷии рости вобастагии  $\lg K-1/T$  муайян намудем. Мисол, дар хӯлаи АЖ5К10 бо иловаи 1.0 % массавӣ калсий, ки 120.8 кҶ/мол- ро ташкил дод ( Ҷадвали 7).

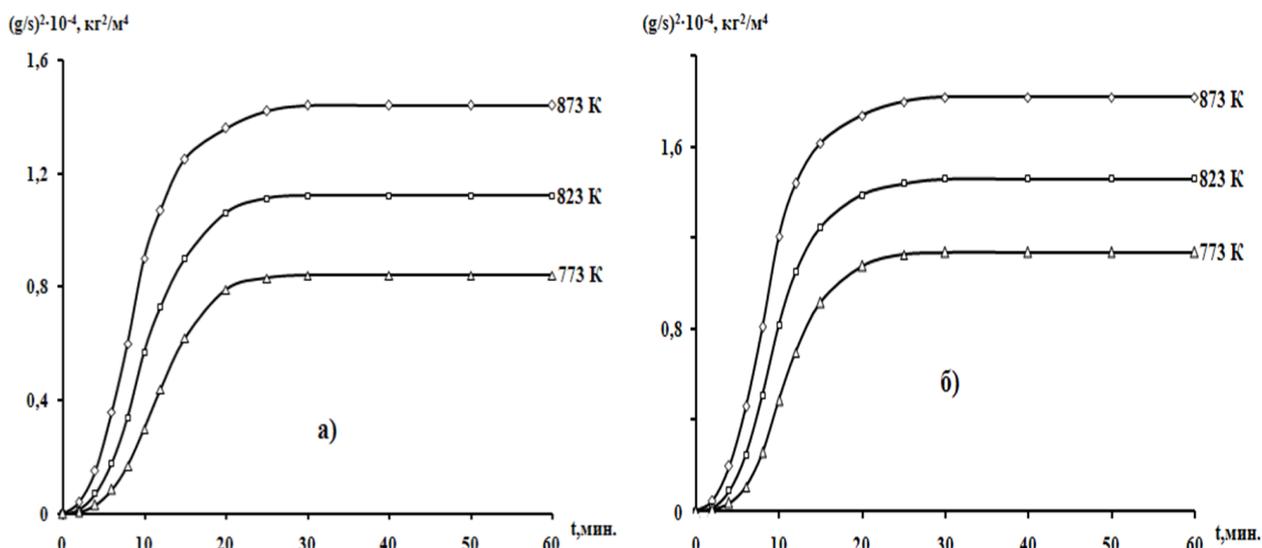
Мушоҳидаи баландшавии суръати оксидшавӣ намунаҳо ва хӯлаҳо дар ҳарорат (расми 4) оварда шудааст. Оксидшавии хӯлаҳо ҳархел мегузарад. Саршавии раванди оксидшавӣ меафзояд. Дар 20 дақиқа раванд расида қариб ба нол мерасад. Мушоҳидаи пайдокунии рӯйпӯши оксидӣ.



**Расми 4** – Қачхатгаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10 (а) бо 0.01 %-и вазни калсий (б), дар ҳолати саҳт

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

Дар ҷадвали 8 натиҷаҳои коркарди математикии қачхатҳои мураббаъи раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи АЖ5К10–Са оварда шудааст. Чуноне, ки дида мешавад, полиномаҳои ҳосилкардашудаи оксидшавии хӯлаҳо дар ҳолати саҳтӣ ба вобастагии гиперболавӣ итоат менамоянд, нишондиҳандаи қимати  $n$  дар муодилаи  $y = kx^n$ , ки  $n = 2 \div 3$  ташкил медиҳад.



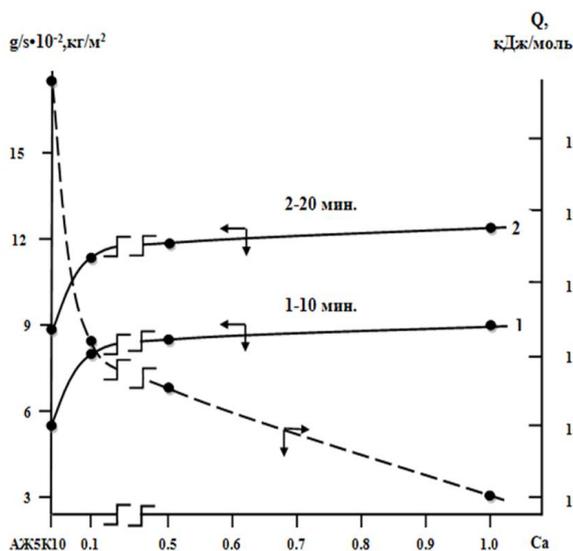
**Расми 5** – Качхати мураббаъи кинетикаи оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10(а) бо 0.01 %-и вазни калсий (б), дар ҳолати сахт

**Ҷадвали 8** – Натиҷаҳои коркарди качхати оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, дар ҳолати сахт

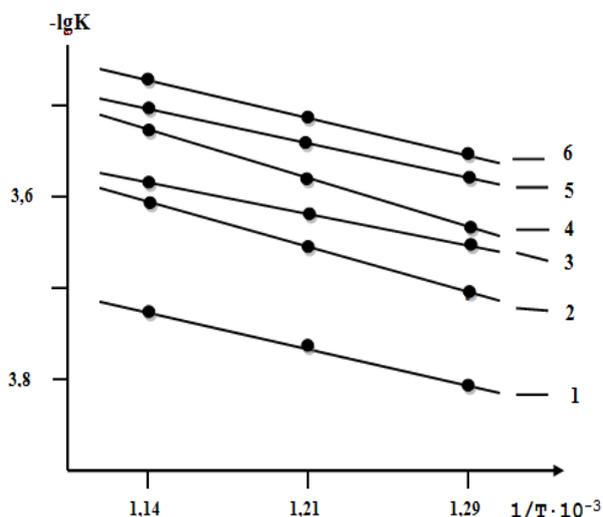
Микдори калсий дар хӯла, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои качхати оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти коррелятсионӣ, R, %
0.0	773	$y = 0,3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,000x^3 - 0,054x^2 + 1,420x$	0,988
	823	$y = 0,001x^3 - 0,062x^2 + 1,609x$	0,991
	873	$y = 0,3 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,000x^3 - 0,059x^2 + 1,736x$	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

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 микдори калсий ғафсшавии хӯлаҳо зиёд шуда қимати энергияи эҳтимолии ғаёолшавии оксидшавӣ кам мешавад.

Вобастагии  $\lg K-1/T$  (расми 7) барои хӯлаи алюминии АЖ5К10, ки бо иловаи калсий чавҳаронида шудааст. Миқдори минималии энергияи активатсияи (120.8 кҶ/моль) муқвофиқ ба ҳулаи 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.



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



**Расми 7** – Вобастагии  $\lg K$  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).

Бо ҳамин монанд кинетикаи оксидшавии хӯлаи АЖ5К10 бо Са, Sr и Ва дар андозаи гуногун чавҳаронида шудааст, дар чадвали 9 оварда шудаанд.

**Чадвали 9** – Қиматҳои муқоисавии энергияи активатсияи раванди оксидшавии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий

Миқдори МИЗ дар хӯла, %-и вазн	Энергияи эффективии активатсия, кҶ/мол					
	Иловаҳо, %-и вазн					
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
Са	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
Ва	178.0	147.5	131.3	118.8	109.1	98.5

Аз чадвал дида мешавад, ки ҳангоми гузаштан аз хӯлаи бо калсий ба хӯлаи бо барий модификатсияшуда 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.

## ТАҲҚИҚОТИ ПОТЕНСИОДИНАМИКИИ РАФТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИИ АЖ5К10 АЖ5К10 БО ИЛОВАИ КАЛСИЙ, СТРОНСИЙ ВА БАРИЙ, ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl

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

Намунаҳоро бо усули потенциодинамикӣ дар самти мусбӣ аз потенциал поляризаторсия намуда, ҳангоми ворид карда то ногаҳон зиёдшавии чараён дар натиҷаи птитингҳосилкунӣ муқаррар карда мешавад. Сипас намунаҳоро дар самти мӯқобил поляризаторсия намуда аз рӯи бурида гузаштани қачхатҳо бузургии потенциали репассивиро муайян карда шуд. Сипас аз рӯи минтақаи катод то қимати потенциали -1,2В барои дур кардани пардаи оксидӣ бо сатҳи электрод дар натиҷаи ишқорноккунии сатҳи электрод ҳаракат карда шуд. Дар охир намунаҳоро аз сари нав поляризаторсия намуда аз рӯи қачхати анодӣ параметрҳои асосии электрохимиявӣ муайян карда шуд.

Ҳамин тавр аз қачхатҳои ҳосилкардашудаи поляризаторсионӣ, характеристикаҳои асосии электрохимиявии ҳулаҳо: потенциали птитингҳосилкунӣ (Еп.о.), потенциал ва чараёни зангзанӣ (Екор. и ікор.) муайян карда шуд. Потенциали репассивӣ (Ер.п.), ба таври графикӣ ба мисли қатшавии якум ба ҳаракати баргашти қачхати анодӣ ё ин, ки ба мисли бурида гузаштани хати рост ва ҳаракати баргашт муайян карда шуд. Ҳисоби чараёни зангзанӣ ҳамчун характеристикаи асосии раванди зангзанӣ аз рӯи қачхати катодӣ бо назардошти моилии таффеловӣ  $v_k=0,12В$  ба роҳ монда шуд, азбаски дар муҳити нейтралӣ раванди птитингҳосилкуни зангзании алюминий ва ҳулаҳои он аз рӯи реаксияи катодии ионизатякунии оксиген назорат карда мешавад. Суръати зангзанӣ дар навбати худ функцияи чараёни зангзанӣ мебошад, ки аз рӯи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:  $K = i_{кор} \cdot k$ , дар ин ҷо  $k = 0.335$  г/А·час барои алюминий.

Натиҷаҳои таҳқиқот дар қадвали 10 ва 11 оварда шудааст. Натиҷаҳои таҳқиқот аз он дарак медеҳад, ки дар дақиқаҳои аввали ғутонидани ҳула дар маҳлули электролити NaCl ҷойивазкунии ногаҳонии потенциали озоди зангзанӣ (потенциали статсионарӣ) ба минтақаи мусбат мавқеи худро иваз мекунад. Дар ҳулаҳое, ки бо литий чавҳаронида шудаанд, устуворшавии потенциали озоди

зангзанӣ дар фосилаи 30-40 дақиқа ба мушоҳида мерасад. Динамикаи тағирёбии потенциали озоди зангзанӣ дар муҳитҳои гуногуни электролити NaCl монанд мебошад.

**Ҷадвали 10** – Потенциалҳои (х.с.э.) озоди зангзанӣ ( $-E_{\text{св.корр.}}$ , В) ва питтингҳосилкунии ( $-E_{\text{п.о.}}$ , В) ҳулаҳои системаи АЖ5К10-Са (Sr, Ва), дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, % - вазн	Миқдори МИЗ дар ҳула, %- вазн	Ҳулаҳо бо Са		Ҳулаҳо бо Sr		Ҳулаҳо бо Ва	
		$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
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

Таҳқиқот нишон медиҳад, ки иловаи калсий, стронсий ва барий дар андозаи 0.01-1.0 %-вазн потенциали озоди зангзанӣро (потенциали статсионариро) ба минтакаи мусбат мавқеяшро ҷӣ дар муҳити 3.0%-и NaCl, ҷӣ дар муҳитҳои 0.3% ва 0.03%-и NaCl иваз мекунад. Илова бар ин потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ва репассивӣ низ қиматашро ба минтакаи мусбат иваз мекунад (ҷадвали 10).

Ҳулаҳои, ки 0.01-1.0% иловаҳои калсий, стронсий ва барий доранд нисбат ба ҳулаи аввалияи алюминии АЖ5К10 1.5-2.0 маротиба суръати зангзании онҳо камтар мебошад (ҷадвали 11). Иловаҳои калсий, стронсий ва барий ба ҳулаи АЖ5К10 имконияти кам кардани суръати коррозияи анодиро доранд ва ин аз он шаҳодат медиҳад, ки ҷойивазшавӣ дар минтакаи мусбат то андозаи шоҳаҳои анодии қачхатаҳои потенциодинамикии ҳулаҳои ҷавҳаронидашуда мебошад.

Илова бар ин бо андозаи зиёд намудани консентратсияи хлориди-ион дар электролити NaCl суръати зангзании ҳулаҳо бевосита аз миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашудаи – калсий, стронсий ва барий зиёд мешавад, ки боиси ҷойивазшавии минтакаи мусбии потенциалҳои зангзанӣ, питтингҳосилшавӣ ва репассивӣ мегардад. Вобастагии мазкур барои ҳамаи ҳулаҳо бевосита аз таркиб, сохт ва хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ

компонентҳои лигарӣ хос мебошад. Ҳангоми гузариш аз ҳӯлаҳои таркибашон калсий дошта ба ҳӯлаи таркибаш стронсий дошта афзоиши суръати зангзанӣ ба назар расида ҳангоми гузариш ба ҳӯлаи таркибаш барий дошта суръати зангзанӣ кам мешавад, ки бо таркиби худ металлҳо мувофиқ аст. Барои ҳӯлаи алюминий бо оҳан ва силитсӣ низ афзоиши суръати зангзанӣ бо зиёдшавии консентратсияи хлориди-ион дар электролит хос аст (ҷадвали 11).

**Ҷадвали 11** – Вобастагии суръати зангзании ҳӯлаҳои системаи АЖ5К10-Са (Sr, Ba), дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, % - вазн	Миқдори МИЗ дар ҳӯла, %-вазн	Суръати коррозия					
		Ҳӯлаҳо бо Са		Ҳӯлаҳо бо Sr		Ҳӯлаҳо бо Ba	
		$i_{кор} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{кор} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{кор} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·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

Умуман қайд намудан зарур аст, ки иловаҳои элементҳои тағирдиҳанда (калсий, стронсий ва барий) ба ҳӯлаи ибтидоии АЖ5К10 таъсири модификатсионӣ мерасонанд, яъне ба таври қатъӣ шакли кристаллҳои интерметаллоидҳои Fe<sub>2</sub>SiAl<sub>8</sub> ва FeSiAl<sub>5</sub>-ро аз сӯзаншакл ба курашакл тағир дода, инчунин андозаи онҳоро кам мекунад. Натиҷа баландбардории ба зангзанӣ устувори ҳӯлаҳои зиёда аз 2 маротиба модификатсия кардашуда ва муқоисаи онҳо бо ҳӯлаи 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 мусбӣ иловаҳои модификатсионии калсий, стронсий ва барий ба характеристикаи анодҳо ва суръати зангзании ҳӯлаи АЖ5К10, дар муҳити электролити NaCl муқаррар карда шудааст (ҷадвали 11).

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

## ХУЛОСАҶО

### *Натиҷаҳои асосии илмӣ таҳқиқот:*

1. Дар речаи “хунукшавӣ” вобастагҳои ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи алюминии АЖ5К10, ки бо калсий, стронсий ва барий ҷавҳаронида шудааст. Нишон дода шуд, ки баробари баланд шудани концентратсияи МИЗ ва ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаҳо зиёд мешавад. Зимни муқоисакунии ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо стронсий бузургҳои гармиғунҷоиш ва зарби гармидиҳӣ афзоиш ёфта, баъдан ба хӯлаҳо бо барий андаке кам мегардад [1-М, 2-М, 9-М, 11-М, 12-М, 13-М].

2. Натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии ҳароратии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминии АЖ5К10 бо металлҳои гурӯҳи калсидор нишон медиҳад, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо калсий ба хӯлаҳо бо стронсий бузургҳои 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-М, 2-М, 9-М, 11-М, 12-М, 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<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> ба қонуниятҳои гипербола итоат менамояд. Аниқ карда шуд, ки суръати оксидшавии минималиро хӯлаи АЖ5К10 бо калсий ва максималиро хӯлаи бо литий доро мебошад [10-А].

4. Муайян карда шуд, ки таркиби марҳилаи маҳсулоти оксидшавӣ бо фаъолияти метали ба хӯла дохилшаванда муайян карда мешавад, ки роли калон мебозад дар ташаккулёбии рӯи намунаҳои хӯлаҳо руйпӯши оксидшавӣ. Марҳилаи бартаридошта дар маҳсулоти оксидкунии хӯлаҳо оксиди алюминӣ мебошад [10-М].

5. Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати тобиши потенциал 2 мВ/с, рафтори анодии хӯлаи АЖ2.18 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 нейтралӣ электролити NaCl ба коррозия метавонанд то 50-80% -и сатҳи коррозияро муҳофизат намоянд [3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 14-М, 15-М, 16-М, 17-М, 18-М, 19-М, 20-М, 21-М].

6. Омӯзиши рафтори коррозионии электрохимиявӣ хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий дар муҳити электролити NaCl нишон медиҳад, ки бе иловаи модификасияи элементҳо, электролити суръати зангзании хӯла паст мешавад. Таҳқиқоти элементрохимиявии истифодаи хлорид-иона дар хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий нишон медиҳад, ки пастшавӣ концентрасия аз 10 ва 100 маротиба ба камшавии суръати зангзании хӯлаҳо қариб ду маротиба мусоидат мекунад ва дигаргунии потенциалҳои электродӣ хусусан ба тарфи мусбӣ майл мекунад [3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 14-М, 15-М, 16-М, 17-М, 18-М, 19-М, 20-М, 21-М].

7. Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда таркиби хӯлаи нав, ки бо ду нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд. Хӯла ҳамчун ба

сифати анодӣ барои муҳофизат аз зангзании конструкцияҳои пӯлодӣ ва саноатӣ пешниҳод менамояд [7-М, 8-М].

***Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ:***

1. Параметрҳои физикӣ-химиявӣ хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий барои илова кардан ба чадвалҳои 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. Хӯлаҳои навро барои таҷриба, дар озмоишгоҳи Муассисаи илмӣ давлатии Маркази тадқиқотии технологияи инноватсионӣ дар назди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ҳосил карда, ба муассисаҳои ҳавасманд пешниҳод кардан мумкин аст.

**НАТИҶАҲОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН  
ДАРҶ ЁФТААНД**

***Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ тавсия намудаи ҚОА-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 № ТЈ 860, С 22 С 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 № ТЈ 1004, МПК С 22 С 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 конфронсиҳои 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 «ЎЎЎЎЎ ЎЎЎЎЎЎЎ - 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 международным 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 промышленности 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 основания 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 илми доктор PhD аз рӯи ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияҳои маводҳои 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 потенциостатикӣ, потенциали озоди коррозия, питтингҳосилкунӣ ва репассиватсия, суръати коррозия.

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

**Мақсади асосии таҳқиқот** муқаррар намудани вобастагии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) аз ҳарорат; кинетикаи оксидшавии баландҳарорат ва рафтори электрохимиявии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий модификатсионӣ шудааст, ки барои ҳифзи маснуот истифода мешаванд.

**Навгониҳои илми таҳқиқот.** Муносиб кардани асосҳои қонунияти тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия, энергияи Гиббс) хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда, вобаста аз ҳарорат ва миқдори элементҳои чавҳарӣ. 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 чавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ меафзояд. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби  $10^{-4} \cdot \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  доро мебошад. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳои АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий чавҳаронидашуда ба қонуни гипербола итоат менамояд;

Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши потенциал (2 мВ/с) муқаррар карда шудааст, ки иловаҳои унсурҳои чавҳаронӣ то 1.0% - и вазн ба коррозия устувории хӯлаи АЖ5К10 – ро аз 50% то 80% зиёд мекунад.

### **Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ:**

1. Параметрҳои физикӣ-химиявии хӯлаи АЖ5К10 бо калсий, стронсий ва барий барои илова кардан ба ҷадвалҳои 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. Хӯлаҳои навро барои таҷриба, дар озмоишгоҳи Муассисаи илми давлатии Маркази тадқиқоти 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 PhD 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.

**Цель настоящей работы** заключается в исследовании температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса), кинетике высокотемпературного окисления и коррозионно-электрохимического поведения 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 энергии 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  $10^{-4}$ ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . 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 рекомендуются для использования предприятиями промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан.

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

**Область применения:** составы разработаны сплавов защищены малыми патентами Республики Таджикистана и рекомендуется в качестве анодного материала при протекторной 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 PhD in the 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 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  $10^{-4}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . 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.

Разрешено в печать 19.08.2020 г., подписано в печать 01.10.2020 г.  
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура литературная. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз

---

Отпечатано в типографии «Донишварон».  
734063, г.Душанбе, ул.Амоналная, 3/1  
тел.: 915-14-45-45. E-mail: donishvaron@mail.ru