

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

На правах рукописи
УДК 669.77:621



РАШИДОВ Акрам Раджабович

СВОЙСТВА СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ МАРКИ А7
С НИКЕЛЕМ, МЕДЬЮ И ЦИНКОМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)

Душанбе – 2020

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Таджикистана, ректор Таджикского технического университета им. М.С.Осими
Одиназода Хайдар Одина

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, проректор по науке и внедрению технологического университета Таджикистана
Гафоров Абдулазиз Абдулофизович

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории переработки местного глинозем-и углеродсодержащего сырья ГУ НИИ «Металлургия» ГУП «ТАЛКО»
Асрори Муродиён

Ведущая организация: Бохтарский государственный университет им. Н. Хусрава

Защита состоится 25 января 2021 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

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

Автореферат разослан «___» _____ 2021 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Махкамов Х.К.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Проводниковый алюминий содержит несколько десятых процента примесей (в сумме не более 0,5мас.%), из которых главными являются железо и кремний. Согласно ГОСТ 31947-2012 для кабельных и токопроводящих изделий применяется алюминий марок А7, А6, А5Е, содержащих, соответственно 99,7, 99,6, 99,5% алюминия. Сумма железа и кремния в проводниковом алюминии не должно превышать 0,45%, а всех примесей не более 0,5%.

Как известно, на коррозию алюминиевых проводов влияют их химический и фазовый состав, а также дефекты поверхности (закаты, плены и т.п.), происходящие от трещин, образовавшихся на заготовках во время прокатки.

Другой разновидности причин коррозии алюминиевых проводов являются дефекты монтажа: порча поверхности проводов вследствие протаскивания по твердому грунту, загрязнение поверхности проводов известью при протаскивании по известковой почве.

Алюминий, несмотря на свою высокую химическую активность, в чистом воздухе очень стоек, т.к. быстро покрывается тонкой оксидной плёнкой (толщина порядка 10^{-6} мм), которая препятствует его дальнейшему окислению. Очень чистый алюминий также стоек против действия электролитов, но присутствующие в техническом алюминии примеси понижают его стойкость против коррозии.

Как выше отмечалось постоянными примесями в алюминии, ведущими своё начало от сырья и материалов, служащих для его производства, являются кремний и железо, которые нормируются.

Степень изученности разрабатываемой проблемы объясняется тем, что отдельные примеси влияют на коррозию алюминия в различной степени в зависимости от того, в каком виде они в нем присутствуют. Кремний при комнатной температуре в алюминии практически не растворяется и присутствует в форме включений. Закалка способствует переходу кремния в твердый раствор или тонкодисперсную форму менее вредную в смысле коррозии, но такая обработка понижает электропроводность алюминия и для электропроводов не применяется.

Включения элементарного кремния, по наблюдениям некоторых авторов, являются центрами микрокоррозии алюминия, что следует отнести за счёт их отрицательного потенциала (-0,421 В), чем потенциал алюминия (-0,525 В).

Железо в алюминии образует соединение Al_3Fe , нерастворимое в алюминии в твердом состоянии. При совместном присутствии кремния и железа образуется соединение $Al_6Fe_2Si_3$. Растворимость этого соединения в алюминии при обыкновенной температуре также ничтожна, хотя при более высоких температурах несколько большая, чем алюминида железа.

Включения алюминида железа вызывают более интенсивную коррозию алюминия, чем кремний, благодаря своему отрицательному потенциалу (-0,14 В). Они также вредны подобно кремнию вследствие своей хрупкости. Было

установлено, что включения кремния и алюминиды железа являются центрами коррозии повреждённых проводов.

Как известно проводниковые материалы должны обладать: 1) наиболее высокой электропроводностью; 2) достаточно высокими механическими свойствами; 3) сопротивляемостью атмосферной коррозии; 4) способностью подаваться механической обработке давлением.

Необходимость выполнения исследования по теме диссертации объясняется тем, что главным недостатком алюминия как проводника является низкая механическая прочность. Для алюминия марки А5 $\sigma_b = 14.7 \text{ кг/мм}^2$, тогда как данный показатель для проводникового сплава «алдрей» $\sigma_b = 32-37 \text{ кг/мм}^2$.

В связи с вышеизложенным повышения механических и антикоррозионных свойств проводникового алюминия марки А7 путём его микролегирования без ущерба снижения проводниковых свойств является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования является установление термодинамических, кинетических и анодных свойств сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком, предназначенных в качестве проводникового материала для нужд электротехнической отрасли промышленности.

Задачи исследования. Изучение температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком.

- Изучение кинетики окисления сплавов систем Al-Ni (Cu, Zn), в твердом, состоянии и определение механизма процесса их окисления.
- Экспериментальное определение влияния никеля, меди и цинка на анодное поведение сплавов алюминия марки А7, в среде электролита NaCl.
- Оптимизация состава двойных сплавов на основе установления их физико-химических свойств и определение возможных областей их использования.

Объектом исследования служил сплавы алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком.

Предметом исследования являлся синтез новых проводниковых сплавов на основе алюминия марки А7, легированного никелем, медью и цинком.

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

Отрасль исследования является материаловедения и технология синтеза новых сплавов на основе проводникового алюминия марки А7.

Этапы исследования включают синтез и сертификацию новых проводниковых сплавов на основе алюминия марки А7 с никелем, медью и

цинком, исследование их тепловых, теплофизических, кинетических и анодных характеристик.

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

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

Научная новизна исследований.

- Установлены основные закономерности изменения теплоемкости и термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком в зависимости от температуры и количества легирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается. С увеличением доли никеля, меди и цинка в алюминии изменений энтальпии и энтропии растут, а энергия Гиббса уменьшается.

- Показано, что с ростом температуры скорость окисления сплавов алюминия с никелем, медью и цинком, в твердом состоянии увеличивается. Добавки никеля до 0,5 мас.% увеличивает устойчивость алюминия к окислению, а добавки меди и цинка снижают его. Соответственно, кажущаяся энергия активации при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком - уменьшается. Константа скорости окисления имеет порядок 10^{-4} кг/м²·с⁻¹. Установлено, что окисление сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком подчиняется гиперболическому закону.

- Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки легирующих компонентов до 0,5 мас.% увеличивают коррозионную стойкость сплавов алюминия на 30-40%. При этом отмечается сдвиг потенциала коррозии исходного сплава в положительную область, а потенциалы питтингообразования и репассивации – в отрицательном направлении оси ординат. При переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком уменьшается скорости коррозии.

Теоретическая ценность исследования. В диссертации изложены теоретические аспекты исследований: доказательства влияния структуры, температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций, закономерности изменений коррозионно-электрохимические, кинетические и энергетические характеристики сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком; влияния коррозионной среды и концентрации

модифицирующих добавок на коррозионной стойкости и окисляемости алюминия марки А7.

Практическая ценность исследования. Выполненные исследования позволили выявить составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью при высоких температурах и подобрать оптимальные концентрации легирующих добавок никеля, меди и цинка для повышения коррозионной стойкости алюминия.

В целом, на основе проведенных исследований отдельные составы сплавов на основе алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком защищены малым патентом Республики Таджикистан.

Положения, выносимые на защиту.

- Результаты исследования температурных зависимостей теплоемкости и изменений термодинамических функций сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком.

- Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком, а также механизм окисления сплавов. Расшифрованы продукты окисления сплавов и установлена их роль в формировании механизма окисления.

- Зависимости анодных характеристик и скорости коррозии сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком от концентрации легирующего компонента, в среде электролита NaCl.

- Оптимальные составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью и с повышенной коррозионной стойкостью, представляющие интерес в качестве проводникового материала для изготовления проводов и оболочек кабеля.

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

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

Рес. научн-практ. конф. «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвя. “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук”, Горно-металлургический институт Таджикистана (г.Бустон, 2020); VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (Душанбе, 2020); Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет (Душанбе, 2020).

Опубликование результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 7 научных работ, из них 3 в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан, получено 3 малых патента Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и приложения, изложена на 130 страницах компьютерного набора, включает 58 рисунка, 35 таблиц, 134 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе рассмотрены физико-химические свойства сплавов алюминия с никелем, медью и цинком; представлен обзор литературных данных в области использования алюминия и его сплавов в электротехнике; физико-химические и структурные свойства сплавов алюминия с никелем, медью и цинком. На основе выполненного обзора показано, что алюминиевые кабелей, авиационной техники, автомобильной промышленности и различных отраслей техники хорошо изучены, чего нельзя сказать о сплавах систем алюминий-никель, алюминий-медь и алюминий-цинк, т.е. для данной группы сплавов имеются лишь скудные отрывочные сведения.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о теплоемкость и термодинамических функций, кинетике окисления и анодного поведения сплавов алюминия с никелем, медью и цинком последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ МАРКИ А7 С НИКЕЛЕМ, МЕДЬЮ И ЦИНКОМ

В работе измерение теплоемкости сплавов в режиме «охлаждения» производилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой.

Для измерения удельной теплоемкости металлов использован закон охлаждения Ньютона - Рихмана. Всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения зависит от величины теплоемкости тела и коэффициента теплоотдачи.

Физические основы предлагаемого метода измерения заключается в следующем. Механизм теплопередачи образцов при охлаждении обусловлено теплопроводностью окружающей среды, конвекцией и излучением. Для первых двух процессов, т.е. теплопроводности среды и конвекции считается, что тепловой поток от нагретого тела (J) пропорционален разности между температурой поверхности образца T и температурой окружающей среды (закон Ньютона-Рихмана)

$$J = \alpha(T - T_0). \quad (1)$$

На практике коэффициент теплоотдачи α определяется экспериментально, т.к. он зависит от большого количества параметров и для

него невозможно дать общую формулу. От температуры тепловой поток за счет излучения имеет качественно иную зависимость (закон Стефана – Больцмана)

$$J = \sigma \varepsilon S (T^4 - T_0^4), \quad (2)$$

где $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$, ε - коэффициент поглощения, S - площадь поверхности тела. Только при небольшой разности температур ($T - T_0$), J сводится к виду

$$J = 4\sigma \varepsilon S T_0^3 (T - T_0). \quad (3)$$

Температура при охлаждении тела будет спадать по экспоненте, если теплоемкость и коэффициент теплопередачи постоянны, а окружающая среда бесконечна и однородна. Действительно, уравнение теплового баланса

$$\delta Q = -J dt \quad (4)$$

здесь имеет вид

$$C_p^0 m dT = -\alpha (T - T_0) dt, \quad (5)$$

где C_p^0 - удельная теплоемкость тела, m - его масса. Решением данного уравнения является

$$T(t) = (T_1 - T_0) e^{-t/\tau} + T_0, \quad (6)$$

где T_1 - начальная температура, $\tau = \frac{dT}{dt}$ - скорость охлаждения образцов.

При условии выполнения всех указанных выше требований, теплоемкость материала образца определяется из измеренного по термограмме скорости охлаждения dT/dt . Ввиду того, что величина α не известна, измерения необходимо провести параллельно с эталонным образцом с известной теплоемкостью и тех же размеров. При этом условия охлаждения у них должны быть идентичными. Допуская, что коэффициент α у них одинаков, теплоемкость измеряемого материала c_x можно найти по формуле:

$$C_x^0 = C_9^0 \frac{m_9 \tau_x}{m_x \tau_9}, \quad (7)$$

где C_9^0 - теплоемкость эталонного материала, m_x и m_9 - массы исследуемого и эталонного, τ_x и τ_9 - скорости охлаждения для исследуемого образца и эталона, которые равны $\tau_9 = \left(\frac{dT}{dt}\right)_1$ и $\tau_x = \left(\frac{dT}{dt}\right)_2$.

Этот метод допускает: 1) постоянство c_x , c_9 и α при изменении температуры; 2) охлаждение в бесконечной среде и 3) температуры образцов, при которых излучением можно пренебречь по сравнению с теплопроводностью и конвекцией. Несоблюдение какого-либо из указанных условий нарушает экспоненциальный ход кривой охлаждения.

Разбив термограмму на узкие интервалы температур, в которых теплоемкости и коэффициент α можно считать постоянными учет зависимости c_x и c_9 от температуры можно выполнить. При этом для каждого интервала находят свои скорость охлаждения, которые и используются для расчета $c_x(T)$.

В данной работе определены средние теплоемкости по всему измеряемому интервалу температур. Для всех образцов коэффициенты теплопередачи α предполагаются одинаковыми.

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 никелем, медью и цинком получали в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 800-850 °С путём добавления в расплав алюминия расчётное количество никеля марки Н0, меди марки М995 и цинка марки ЦВ00. Первичный алюминий и сплавы, которые содержали 0.01-0.5 мас.% легирующего компонента подвергались химическому анализу в Центральной заводской лаборатории ГУП «ТалКо». Весь полученных сплавов также контролировалось взвешиванием шихты и полученных сплавов. Было установлено, что первичный алюминий по химическому составу (0,08%Si; 0.15%Fe и 0.007%Cu) соответствует металлу марки А7Е. При отклонении веса сплавов более чем на 1-2% отн. синтез сплавов проводился заново. Из полученных таким образом расплавов в металлический кокиль отливались цилиндрические образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Измерение теплоемкости проводилось на установке, схема которой представлена на рисунке 1. Установка состоит из следующих узлов: электропечь (3) смонтирована на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары. Концы термопар подведены к цифровому многоканальному термометру (7), который подсоединен к компьютеру (8).

Включаем электропечь через автотрансформатор (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифрового многоканального термометра отмечаем значение начальной температуры. Вдвигаем измеряемый образец и эталон в электропечь и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифрового многоканального термометра на компьютере. Далее измеряемый образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи. С этого момента фиксируем снижение температуры. Записываем показания цифрового термометра на компьютере через фиксированное время 10 с. Охлаждаем образец и эталон ниже 30°С.

Построение графиков и обработка результатов измерений производилось с помощью программ MS Excel и Sigma Plot. При этом величина коэффициента корреляции составлял $R_{\text{corr}} = 0,992 \div 0,998$. Относительная погрешность измерения температуры в интервале от 40°С до 400°С составляла $\pm 1\%$, а в интервале более 400°С $\pm 2,5\%$. По предлагаемой методике погрешность измерения теплоемкости не превышает 4%.

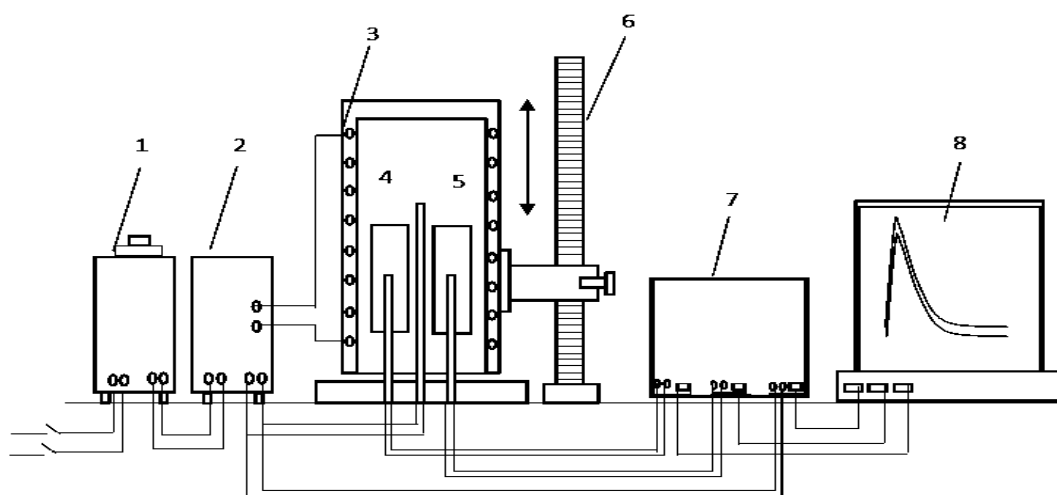


Рисунок 1 – Установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»: 1-автотрансформатор; 2-терморегулятор; 3-электродпечь; 4-образец измеряемый; 5-эталон; 6-стойка электродпечи; 7-многоканальный цифровой термометр; 8-регистрирующий прибор (компьютер).

Полученные зависимости скорости охлаждения образцов сплавов описываются уравнением вида:

$$T = ae^{-bt} + pe^{-kt} \quad (8)$$

где a , b , p , k - постоянные для данного образца, t – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (8) по t , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов

$$\frac{dT}{dt} = -abe^{-bt} - pke^{-kt}. \quad (9)$$

По этой формуле нами были вычислены скорости охлаждения эталона и образцов из сплавов алюминия марки А7Е с никелем, медью и цинком.

Экспериментально полученные термограммы (рисунок 2) и скорости охлаждения образцов из сплавов (рисунок 3), описываются полиномами (8) и (9). Проведя компьютерную обработку уравнений (9) установили значения его коэффициентов a , b , p , k , ab , pk для исследованных сплавов, которые приведены в таблице 1. Кривые скорости охлаждения образцов из алюминиевых сплавов и эталона представлены на рисунке 3.

Затем используя рассчитанные значения величин скорости охлаждения образцов из сплавов по уравнению (7) была вычислена удельная теплоёмкость сплавов алюминия марки А7 с никелем. Результаты расчёта свидетельствуют, что температурная зависимость удельной теплоёмкости сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона (Al марки А5N), описываются уравнением вида

$$C_{P_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (10)$$

Значение коэффициентов полиномы (10) получены обработкой результатов их расчёта по программе Sigma Plot и представлены в таблице 2.

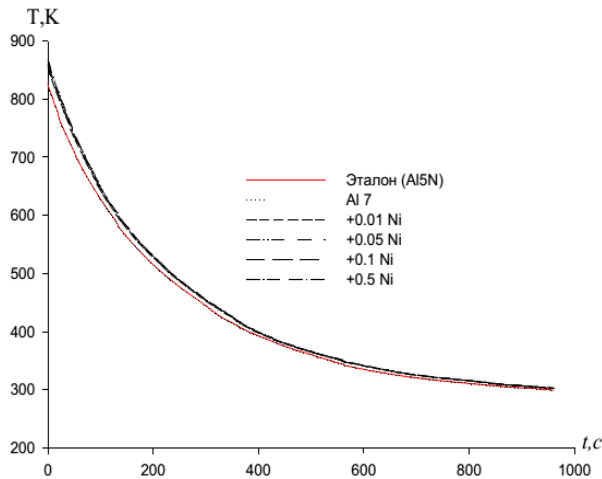


Рисунок 2 – График зависимости температуры от времени охлаждения (t) для образцов из сплавов алюминия марки А7 с никелем

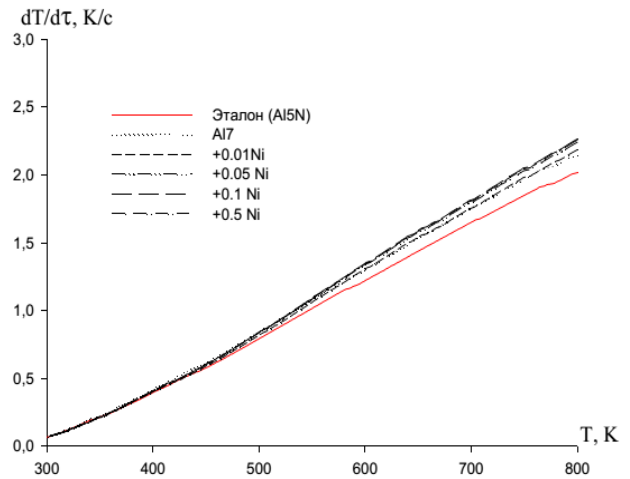


Рисунок 3 – Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнений (9) для сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона (Al марки А5N)

Содержание никеля в алюминии, мас. %	a, K	b, c^{-1}	p, K	$k \cdot 10^{-4}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
Al марки А7Е	473,78	4,62	336,19	1,46	2,19	4,91
0.01	490,66	4,89	354,71	1,88	2,40	6,66
0.05	492,55	4,90	355,699	1,90	2,42	6,77
0.1	496,37	4,94	357,66	1,96	2,45	7,00
0.5	498,37	4,95	358,53	1,98	2,47	7,10
Эталон (Al марки А5N)	475,37	4,63	337,25	1,49	2,20	5,03

Таблица 2 – Значения коэффициентов a, b, c, d в уравнении (10) для сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона (Al марки А5N)

Содержание никеля в алюминии, мас. %	$a, Дж/кг \cdot K$	$b, Дж/кг \cdot K^2$	$c \cdot 10^{-2}, Дж/кг \cdot K^3$	$d \cdot 10^{-6}, Дж/кг \cdot K^4$	Коэффициент корреляции $R, \%$
Al марки А7	282,80	1,99	0,155	0,516	0,9963
0.01	65,37	3,03	-0,409	0,207	0,9954
0.05	44,10	3,13	-0,428	0,218	0,9949
0.1	-25,10	3,52	-0,500	0,257	0,9929
0.5	-42,25	3,58	-0,512	0,264	0,9924
Эталон (Al марки А5N)	645,88	0,36	0,15	1,24	1,0

На рисунке 4 и в таблице 3 представлены результаты расчёта температурной зависимости теплоемкости по формулам (7) и (10) через 100 К. Из таблицы 3 видно, что теплоемкость сплавов от содержания никеля

уменьшается, а от температуры увеличивается. Используя экспериментально установленные значения теплоемкости сплавов по уравнению (5) рассчитали температурную зависимость коэффициента теплоотдачи, которые представлены на рисунке 5. Видно, что добавки никеля уменьшает коэффициент теплоотдачи исходного алюминия А7.

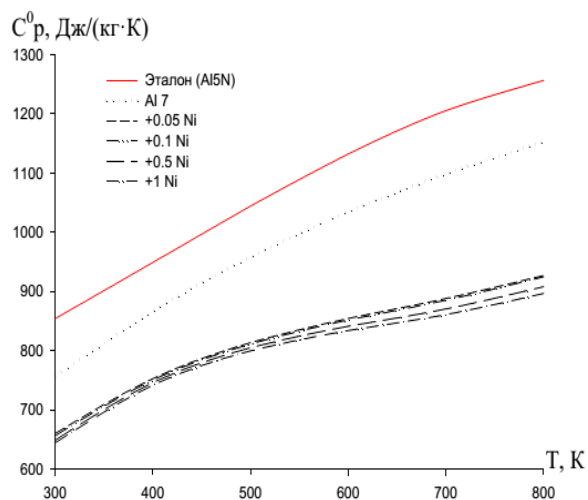


Рисунок 4 – Температурная зависимость удельной теплоёмкости кДж/(кг·К) сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона

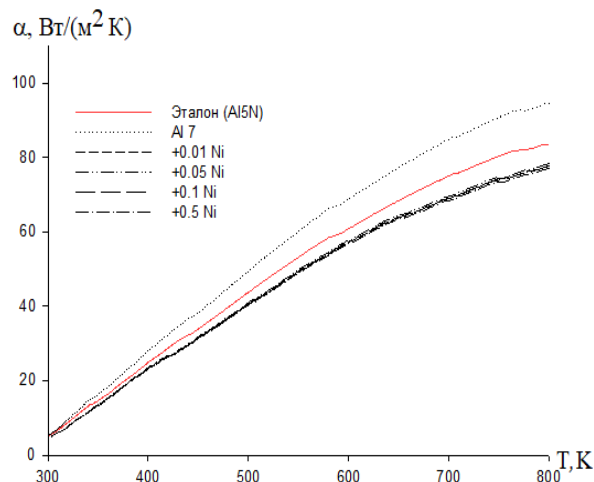


Рисунок 5 – Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона

Таблица 3 – Температурная зависимость удельной теплоемкости кДж/(кг·К) сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона (Al марки А5N)

Содержание никеля в алюминии, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Al марки А7	756,69	867,11	958,90	1035,18	1099,03	1153,55
0.01	660,54	753,29	813,92	854,85	888,50	927,29
0.05	656,76	750,82	811,60	852,18	885,64	925,06
0.1	649,30	746,34	805,30	841,66	870,90	908,50
0.5	644,87	742,10	799,95	834,41	861,43	896,97
Эталон	854,61	949,47	1044,57	1132,48	1205,74	1256,92

Расчет температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса сплавов системы Al-Ni проводилось по (11)-(13) с использованием интеграла от удельной теплоемкости по уравнению (10):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (11)$$

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

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (13)$$

где $T_0 = 298,15$.

Результаты расчета через 100 К представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплавов алюминия марки А7 с никелем и эталона (А1 марки А5N)

Содержание никеля в алюминии, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$ для сплавов					
	Т, К					
	325	400	500	600	700	800
А1 марки А7	1,398	82,756	174,199	274,019	380,821	493,515
0.01	1,220	72,231	150,807	234,358	321,534	412,229
0.05	1,213	71,924	150,268	233,570	320,466	410,897
0.1	1,199	71,363	149,197	231,669	317,292	406,128
0.5	1,191	70,934	148,298	230,145	314,933	402,716
Эталон	1,579	91,751	191,483	300,427	417,491	540,839
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)], \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ для сплавов						
А1 марки А7Е	0,005	0,238	0,442	0,623	0,788	0,938
0.01	0,004	0,208	0,383	0,535	0,669	0,790
0.05	0,004	0,207	0,381	0,533	0,667	0,788
0.1	0,004	0,205	0,378	0,529	0,661	0,779
0.5	0,004	0,204	0,376	0,525	0,656	0,773
Эталон	0,005	0,264	0,486	0,685	0,865	1,030
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$ для сплавов						
А1 марки А7Е	-0,004	-12,430	-46,618	-100,030	-170,727	-257,146
0.01	-0,004	-10,859	-40,599	-86,660	-147,008	-220,087
0.05	-0,004	-10,808	-40,431	-86,328	-146,468	-219,298
0.1	-0,004	-10,712	-40,116	-85,665	-145,283	-217,384
0.5	-0,004	-10,646	-39,873	-85,138	-144,351	-215,913
Эталон	-0,005	-13,863	-51,610	-110,315	-187,925	-282,770

* $T_0 = 298,15 \text{ K}$

Таблица 5 – Зависимость удельной теплоёмкости $\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ сплавов алюминия с никелем, медью и цинком от температуры

Содержание легирующего компонента в алюминии, мас. %	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
А1 марки А7 (1)	756,69	867,11	958,90	1035,18	1099,03	1153,55
(1)+0.05Ni	644,87	742,10	799,95	834,41	861,43	896,97
(1)+0.05Cu	748,26	854,49	943,52	1017,87	1080,03	1132,50
(1)+0.05Zn	654,35	747,82	808,37	848,72	881,59	919,70
Эталон (А1 марки А5N)	854,61	949,47	1044,57	1132,48	1205,74	1256,92

Результаты исследования теплоемкости и изменений термодинамических свойств сплавов алюминия с никелем, медью и цинком обобщены в таблицах 5-6. Для сплавов, содержащих по 0.5% второго компонента отмечена с ростом температуры повышение теплоемкости, коэффициента теплоотдачи, энтальпии и энтропии и снижение энергии Гиббса. Из таблицы 5 видно, что для сплавов алюминия с 0,5 мас. % никелем, медью и цинка при переходе от сплавов с

никелем к сплавам с медью теплоемкость увеличивается и к сплавам с цинком уменьшается. Такая же закономерность имеет место и для термодинамических функций сплавов (таблица 6).

Таблица 6 – Зависимости энтальпия, энтропия и энергии Гиббса сплавов алюминия с никелем, медью и цинком от температуры

Содержание легирующего компонента в алюминии, мас. %	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
	Т.К					
	325	400	500	600	700	800
Al марки А7	1,398	82,756	174,199	274,019	380,821	493,515
(1)+0.05Ni	1,191	70,934	148,298	230,145	314,933	402,716
(1)+0.05Cu	1,382	81,673	171,706	269,888	374,874	485,571
(1)+0.05Zn	1,207	71,525	149,405	232,192	318,500	408,218
Эталон (Al марки А5N)	1,579	91,751	191,483	300,427	417,491	540,839
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/(кг·К) для сплавов					
Al марки А7	0,005	0,238	0,442	0,623	0,788	0,938
(1)+0.05Ni	0,004	0,204	0,376	0,525	0,656	0,773
(1)+0.05Cu	0,005	0,235	0,435	0,614	0,776	0,924
(1)+0.05Zn	0,004	0,193	0,356	0,499	0,625	0,739
Эталон (Al марки А5N)	0,005	0,264	0,486	0,685	0,865	1,030
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг для сплавов					
Al марки А7	-0,004	-12,430	-46,618	-100,030	-170,727	-257,146
(1)+0.05Ni	-0,004	-10,646	-39,873	-85,138	-144,351	-215,913
(1)+0.05Cu	-0,004	-12,276	-45,996	-98,636	-168,270	-253,354
(1)+0.05Zn	0,078	-5,544	-28,758	-67,257	-119,165	-183,038
Эталон (Al марки А5N)	-0,005	-13,863	-51,610	-110,315	-187,925	-282,770

В целом, характеристики теплофизических свойств и изменений термодинамических функций сплавов систем Al-Ni (Cu, Zn) показало повышение теплоемкости, коэффициента теплоотдачи, энтальпия и энтропия сплавов с ростом температуры, соответственно снижения энергии Гиббса.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ МАРКИ А7 С НИКЕЛЕМ, МЕДЬЮ И ЦИНКОМ

Для исследования влияния никеля на кинетику окисления алюминия, в твердом состоянии, были синтезированы сплавы с содержанием никеля от 0.01 до 0.5 мас.%. Исследование проводили в атмосфере воздуха при температурах 673К, 773К и 873К. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов системы Al-Ni, представлены в таблицах 7, 8 и на рисунках 6-9.

Таблица 7 – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов системы Al-Ni, в твёрдом состоянии

Содержание никеля в алюминии, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
0.0	673	2.78	164.4
	773	3.05	
	873	3.52	
0.01	673	2.41	189.5
	773	2.55	
	873	3.09	
0.05	673	2.33	194.8
	773	2.47	
	873	3.01	
0.1	673	2.26	199.0
	773	2.49	
	873	2.94	
0.5	673	2.17	203.3
	773	2.43	
	873	2.87	

Вычисление кажущейся энергии активации процесса окисления сплавов показывают, что добавки никеля (до 0.5%) уменьшают скорость окисления, сплавов что сопровождается повышением величины кажущейся энергии активации окисления с 164,4 до 203,3 кДж/моль (таблица 7).

Скорости окисления сплавов, содержащих 0.01, 0.05, 0.1 и 0.5 мас.% никеля, при исследованных температурах несколько меньше, для сплавов, чем у чистого алюминия. Оксидные пленки сформировавшиеся в начале процесса окисления не обладают защитными свойствами, что свидетельствует о росте скорости окисления сплавов от температуры в первоначальный период.

Скорость окисления сплавов рассчитан по касательным проведённым от начало координата к кривым окисления по формуле $K = g/s \cdot \Delta t$ и для сплава, содержащего 0.5% никеля, изменяется от $2,17 \cdot 10^{-4}$ до $2,87 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, при 673К и 873К. Энергия активации процесса, окисления рассчитанная по углу наклона зависимости $\lg K - 1/T$ для данного сплава равняется 203,3 кДж/моль (таблица 7).

Отмечается повышение скорости окисления образцов от температуры (рисунок 6). Окисление сплавов протекают по разным механизмам. Сплавы с 0.01, 0.05, 0.1 и 0.5 мас.% никелем первоначально окисляются интенсивно и к 15 мин. процесс становится близким к нулю. При этом наблюдается проявления защитной оксидной пленки.

Кинетические кривые окисления в координатах $(g/s)^2 - t$ для сплавов алюминия с 0.01- 0.5 мас.% никелем представлены на рисунке 7.

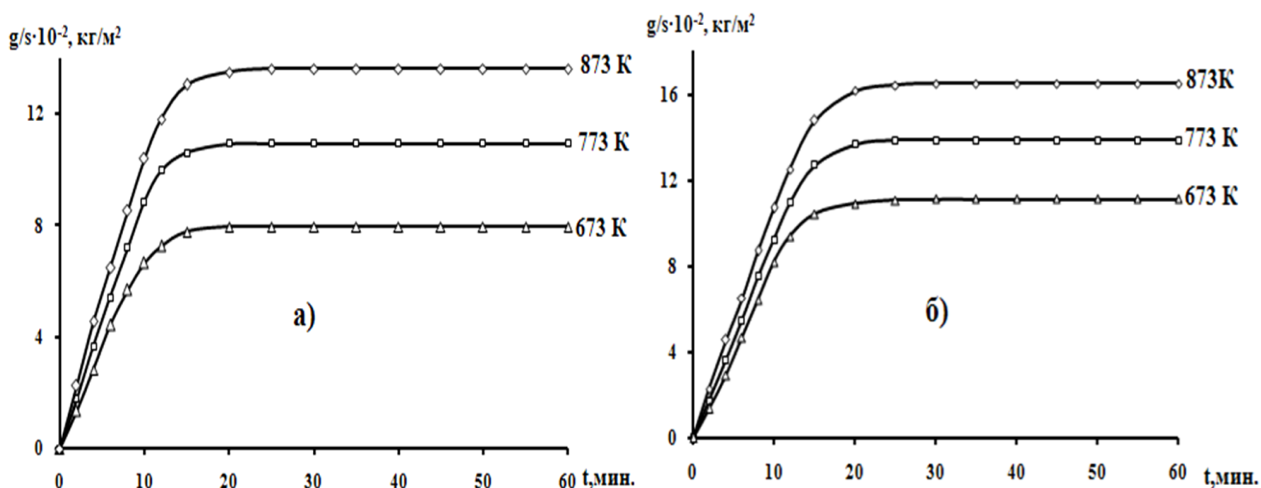


Рисунок 6 – Кинетические кривые окисления алюминия марки А7 (а), сплава, содержащего 0.01(б) мас.% никеля, в твердом состоянии

Результаты математической обработки квадратичных кривых окисления для сплавов системы Al-Ni проведены в таблице 8. Как видно, полученные полиномы кривых окисления свидетельствуют о гиперболическом механизме окисления сплавов, т.к. в уравнение $y=kx^n$ значение n составляет $n=3\div 9$.

Изохронны окисления сплавов при 10 и 20 минутах окисления и температуре 673К представлены на рисунке 8. Видно, что с ростом содержания никеля привес сплавов уменьшается, а значение кажущейся энергии активации растёт.

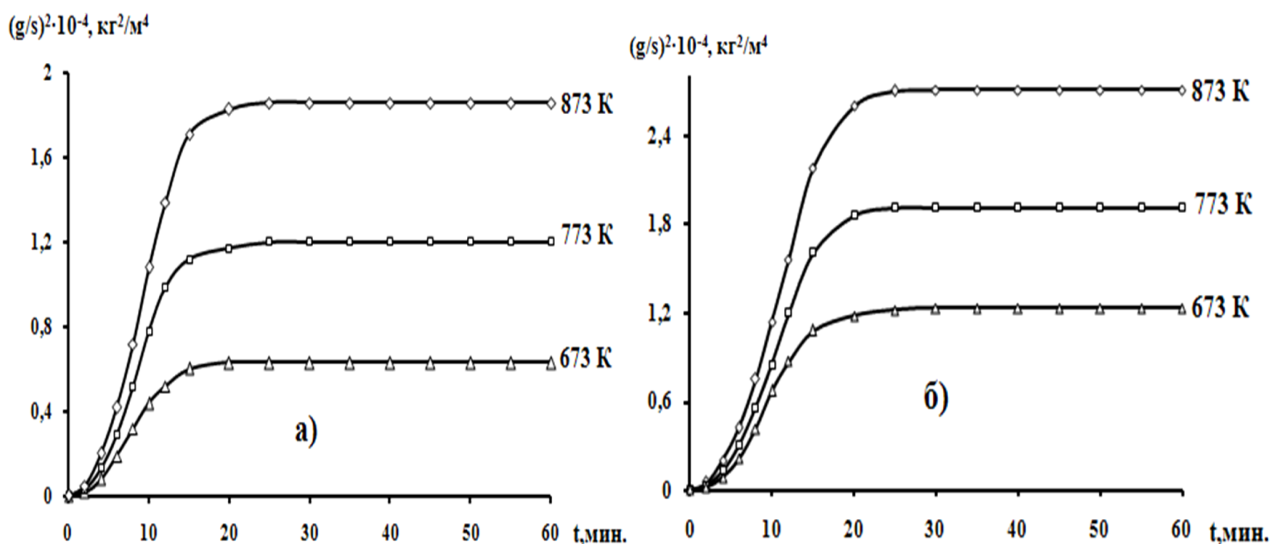


Рисунок 7 – Квадратичные кинетические кривые окисления алюминия марки А7(а) и сплава, содержащего 0.01(б) мас.% никеля, в твердом состоянии

Приведенная на рисунке 9 зависимость $\lg K - 1/T$ для сплавов алюминия с никелем показывает, что наименьшее значение $\lg K$ относится к сплаву, содержащему 0.5% никеля и с минимальным значением скорости окисления равном $2.87 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при 873К. Другим сплавам характерен большее значение скорости окисления, чем сплаву алюминия с 0,5 мас.% никелем.

Таблица 8 – Результаты математической обработки квадратичных кинетических кривых окисления сплавов алюминия с никелем, в твёрдом состоянии

Содержание никеля в алюминии, мас.%	Температура окисления, К	Полиномы кинетических кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции R
0.0	673	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,000x^3 - 0,039x^2 + 0,972x$	0,992
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9} x^4 + 0,000x^3 - 0,037x^2 + 1,191x$	0,991
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-1} x^4 - 0,5 \cdot 10^{-6} x^3 - 0,038x^2 + 1,384x$	0,994
0.01	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001x^3 - 0,008x^2 + 0,928x$	0,990
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 + 0,002x^2 + 1,016x$	0,995
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 - 0,002x^2 + 1,209x$	0,997
0.05	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 - 0,002x^2 + 1,209x$	0,991
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-5} x^4 - 0,002x^3 + 0,019x^2 + 0,92x$	0,995
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 - 0,001x^2 + 1,204x$	0,998
0.1	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 + 0,004x^2 + 0,923x$	0,994
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 + 0,006x^2 + 1,039x$	0,998
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001x^3 - 0,000x^2 + 1,219x$	0,999
0.5	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001x^3 + 0,000x^2 + 0,868x$	0,991
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 + 0,010x^2 + 0,965x$	0,996
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001x^3 - 0,000x^2 + 1,193x$	0,998

* -привесь сплавов; x - продолжительность времени окисления.

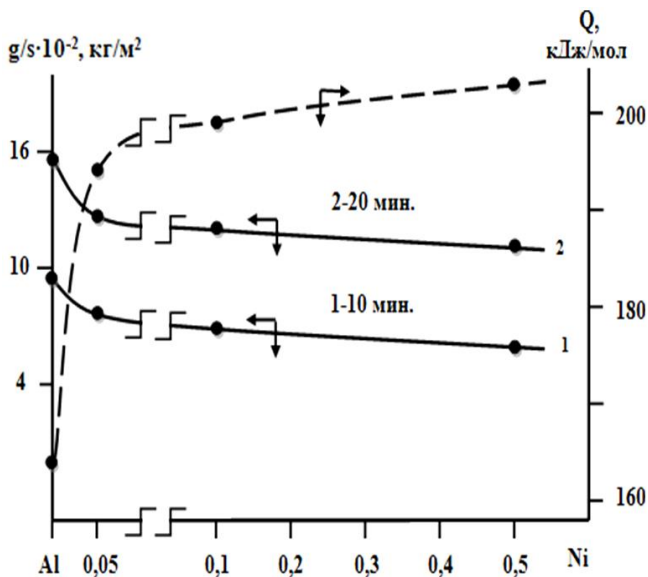


Рисунок 8 – Изохронны окисления сплавов алюминия с никелем при температурах 673К.

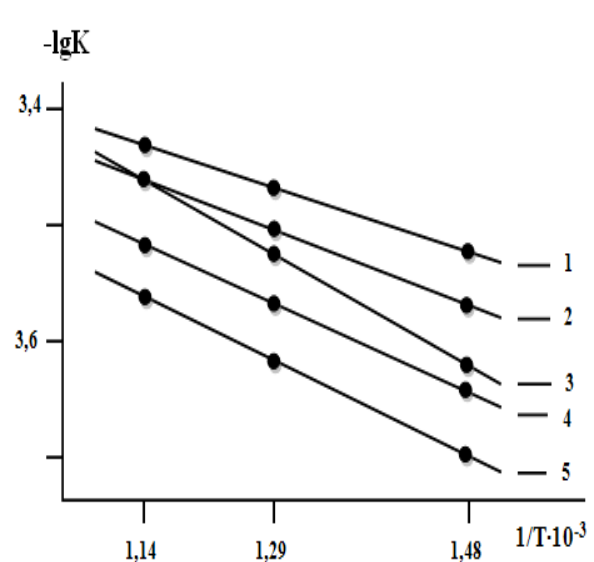


Рисунок 9 – Зависимость $\lg K$ от $1/T$ для сплавов системы Al-Ni, мас.% Ni: 0.0(1); 0.01(2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5).

В таблице 9 обобщены величины кажущейся энергии активации процесса окисления сплавов алюминия, легированного никелем, медью и цинком, различной концентрации. Среди легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации имеют сплавы с никелем.

Таблица 9 – Зависимость кажущейся энергии активации процесса окисления сплавов систем Al-Ni, Al-Cu и Al-Zn, в твердом состоянии

Содержание Ni, Cu и Zn в алюминии, мас.%	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
Al + Ni	164,4	189,5	194,8	199,0	203,3
Al + Cu		178,1	185,9	191,7	197,0
Al + Zn		169,6	174,9	178,0	183,1

На основании проведенных исследований кинетики окисления сплавов алюминия, легированного никелем, медью и цинком, в твердом состоянии установлены изменения кинетических и энергетических характеристик процесса окисления.

ГЛАВА 4. ПОТЕНЦИОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ МАРКИ А7 С НИКЕЛЕМ, МЕДЬЮ И ЦИНКОМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Для электрохимических исследований из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали стержни диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Торцевую часть электрода, который служим рабочей поверхностью зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали. Далее тщательно промывали спиртом и затем погружали в электролит 0.03%, 0.3% и 3% - ного NaCl (ГОСТ 4233 – 77).

Электрохимические исследования полученных сплавов проводилось на потенциостате ПИ – 50 – 1.1 с программатором ПР – 8 и самозаписью на ЛКД – 4. Температура раствора поддерживали постоянно 25°C с помощью термостата МЛШ – 8. Воспроизводимость результатов измерения потенциала электродов одного и того же состава был в пределах ± 10 мВ.

При снятии потенциодинамических кривых также приводилось катодная поляризация поверхности электрода для удаления оксидов с поверхности. Ниже приводится подробная методика снятия поляризационных кривых сплавов, в среде электролита NaCl. При электрохимических испытаниях образцы потенциодинамически поляризовали в сторону положительных значений, начиная от потенциала, установившегося при погружении электрода в электролит, вплоть до резкого роста тока в результате питтингообразования (рис. 10, кривая 1). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 10, кривые II и III) до потенциала (-1,300 В), в результате чего происходило растворение плёнки оксида. Наконец, образцы поляризовали снова в

направлении положительных значений потенциала, получив анодные поляризационные кривые сплавов (рис. 10, кривая IV). Все четыре потенциодинамические кривые сплавов алюминия, снятые, в среде электролита 3%-ного NaCl, приведены на рис. 10. Кривые обратного хода на поляризационной кривой отмечены пунктиром.

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры: $-E_{ст.}$ или $-E_{св.кор.}$ – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии; $-E_{рп.}$ – потенциал репассивации; $-E_{п.о.}$ – потенциал питтингообразования; $-E_{кор.}$ – потенциал коррозии; $-i_{кор.}$ – ток коррозии.

Учитывая, что в нейтральных средах процесс коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода, расчёт тока коррозии проводили по катодной ветви потенциодинамических кривых с учётом тафелевской константы, равной $\epsilon_k = 0,12В$.

Скорость коррозии (K) определяли по току коррозии ($i_{кор.}$) по формуле $K = i_{кор.} \cdot k$, где $k = 0.335г/А \cdot ч$ для алюминия.

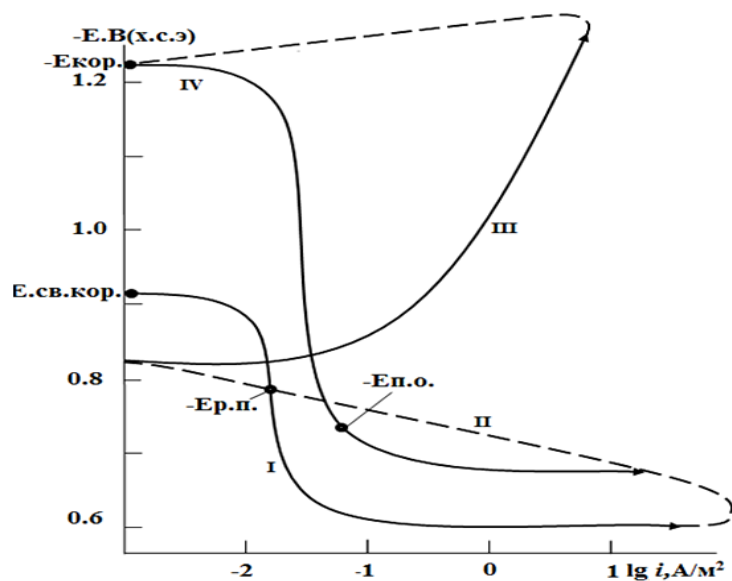


Рисунок 10 – Полная поляризационная (2мВ/с) кривая алюминия марки А7, в среде электролита 3%-ного NaCl

Коррозионно-электрохимические характеристики сплавов алюминия с никелем, в среде электролита NaCl различной концентрации обобщены в таблице 10. Микролегирование алюминия никелем способствует смещению потенциала свободной коррозии в область положительных значений во всех трёх изученных средах электролита NaCl.

Потенциал свободной коррозии смещается в положительную область у легированных никелем сплавов значительно быстрее по сравнению с исходным алюминием. На рисунке 11 значения потенциалов приведены относительно хлорид-серебряного электрода сравнения (х.с.э.). Видно, что от времени

выдержки и от концентрации никеля в алюминии потенциал свободной коррозии смещается в положительную область значений.

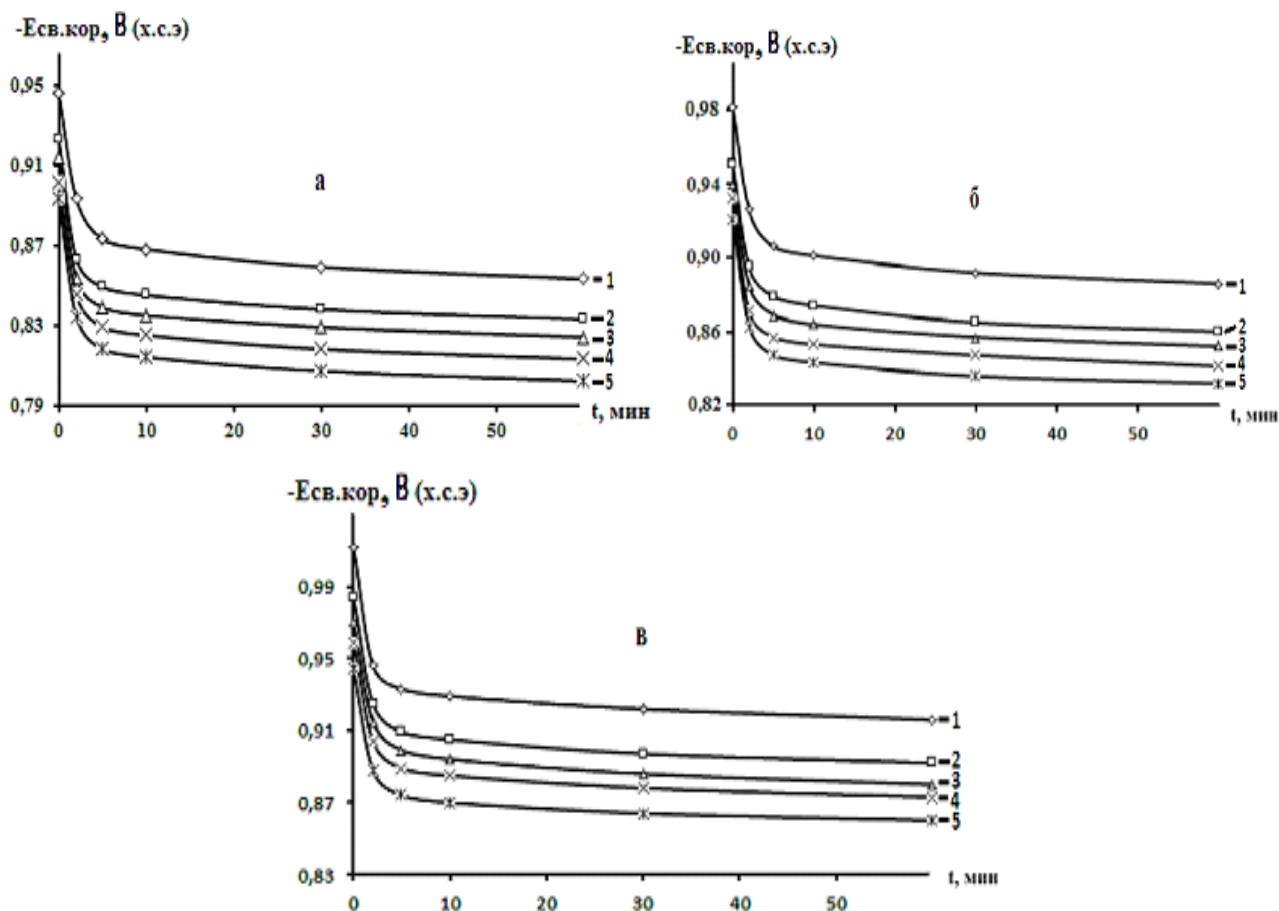


Рисунок 11 – Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{св.кор.}, В$) алюминия марки А7 (1), содержащего никель, мас.‰: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), в среде электролита 0,03% (а); 0,3% (б) и 3% - ного (в) NaCl

Из таблицы 10 следует, что с ростом концентрации никеля в алюминии марки А7 и уменьшением концентрации хлорид-иона в электролите, потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в область более положительных значений. Рост концентрации никеля в алюминий способствует уменьшению скорости его коррозии во всех исследованных средах (рисунок 12). При этом повышение содержания хлорид-иона в электролите способствует росту скорости коррозии сплавов (рисунок 13). На рисунке 12 представлена зависимость скорости коррозии алюминия марки А7 от содержания никеля. Легирование алюминия никелем снижает скорость его коррозии алюминия на 20-30%. Рост концентрации электролита NaCl способствует увеличению скорости коррозии сплавов не зависимо от их состава (рисунок 13).

В таблицах 11 и 12 обобщенные результаты исследования анодного поведения алюминия с никелем (меди и цинком). Потенциал коррозии сплавов алюминия с никелем, медью и цинком с ростом их концентрации смещается в

положительном направлении оси ординат. При переходе от слабого электролита к сильному электролиту наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии независимо от содержания легирующего компонента.

Таблица 10 – Коррозионно-электрохимические характеристики сплавов алюминия марки А7 с никелем, в среде электролита NaCl. Скорость развёртки потенциала 2мВ/с

Среда NaCl, мас. %	Содержание никеля в алюминий, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{корр.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{корр.} · 10 ² , А/м ²	K · 10 ³ , г/м ² ·час
0,03	-	0,853	1,097	0,596	0,716	0,047	15,74
	0.01	0,840	1,085	0,587	0,710	0,045	15,07
	0.05	0,832	1,070	0,575	0,705	0,043	14,40
	0.1	0,824	1,052	0,562	0,705	0,040	13,04
	0.5	0,814	1,037	0,549	0,700	0,038	12,73
0,3	-	0,886	1,172	0,675	0,764	0,065	21,77
	0.01	0,870	1,165	0,661	0,758	0,063	21,10
	0.05	0,861	1,149	0,650	0,750	0,060	20,10
	0.1	0,850	1,132	0,643	0,750	0,057	19,09
	0.5	0,843	1,120	0,637	0,748	0,054	18,09
3,0	-	0,916	1,232	0,730	0,792	0,080	26,80
	0.01	0,900	1,221	0,718	0,783	0,078	26,13
	0.05	0,890	1,212	0,710	0,774	0,075	25,12
	0.1	0,881	1,200	0,700	0,766	0,073	24,45
	0.5	0,869	1,192	0,693	0,762	0,070	23,45

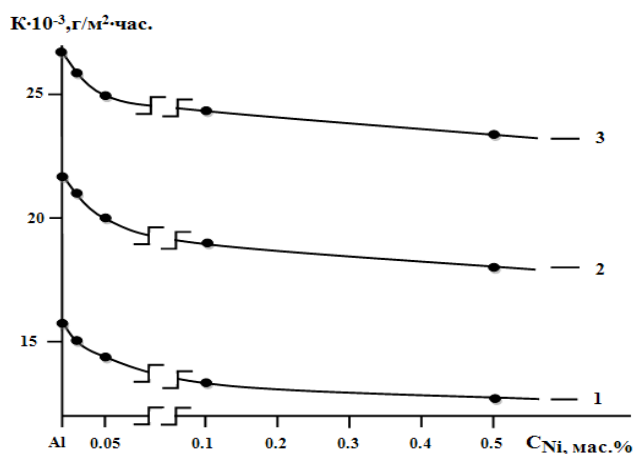


Рисунок 12 – Зависимость скорости коррозии алюминия марки А7 от концентрации никеля, в среде электролита 0,03%(1); 0,3%(2) и 3,0%-ного(3) NaCl

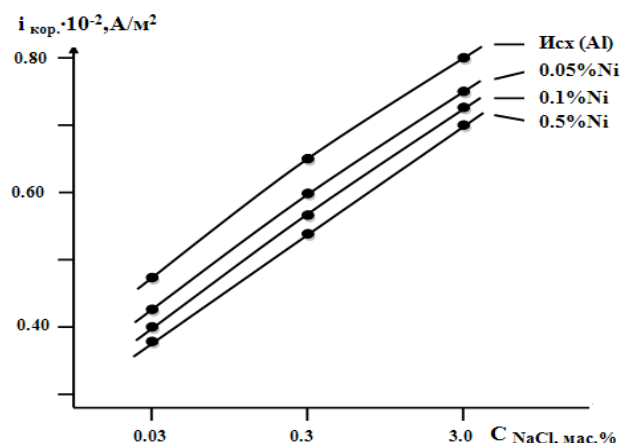


Рисунок 13 – Зависимость плотности тока коррозии алюминия марки А7 (1), содержащего никель, мас. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) от концентрации NaCl

Так, с увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии исходного алюминия уменьшается от -0.853 В, в среде 0.03% NaCl до -0.916 В, в среде 3.0% - ного NaCl. Рост концентрации легирующего компонента способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Установленные зависимости характерны для сплавов алюминия с Ni, Cu и Zn. При переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком потенциал свободной коррозии увеличивается. Потенциал питтингообразования изменяется также при переходе от сплавов с никелем к сплавам с меди и цинком (таблица 11).

Таблица 11 – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) и питтингообразования ($-E_{\text{п.о.}}$, В) сплавов алюминия с Ni, Cu и Zn, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание Ni, Cu и Zn в алюминии, мас. %	Сплавы с Ni		Сплавы с Cu		Сплавы Zn	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
0.03	-	0,853	0,596	0,853	0,596	0,853	0,596
	0.01	0,840	0,587	0,833	0,574	0,825	0,563
	0.05	0,832	0,575	0,824	0,560	0,814	0,549
	0.1	0,824	0,562	0,813	0,547	0,801	0,536
	0.5	0,814	0,549	0,802	0,532	0,790	0,521
0.3	-	0,886	0,675	0,886	0,675	0,886	0,675
	0.01	0,870	0,661	0,860	0,648	0,850	0,639
	0.05	0,861	0,650	0,852	0,636	0,842	0,628
	0.1	0,850	0,643	0,841	0,622	0,830	0,613
	0.5	0,843	0,637	0,832	0,610	0,821	0,600
3.0	-	0,916	0,730	0,916	0,730	0,916	0,730
	0.01	0,900	0,718	0,892	0,705	0,881	0,694
	0.05	0,890	0,710	0,880	0,682	0,870	0,672
	0.1	0,881	0,700	0,873	0,664	0,858	0,655
	0.5	0,869	0,693	0,860	0,646	0,847	0,638

С ростом концентрации хлорид-иона увеличивается плотность тока коррозии и соответственно, скорость коррозии сплавов алюминия с Ni, Cu и Zn. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. Наблюдается уменьшение скорости коррозии при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком. Для алюминия также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите (таблица 12).

Таким образом, установлено, что анодная устойчивость алюминия А7Е повышается на 30-40%, при легировании до 0.5 мас.% никелем, медью и цинком, в среде электролита NaCl.

Таблица 12 – Зависимость плотности тока коррозии и скорости коррозии сплавов алюминия с Ni, Cu и Zn, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание Ni, Cu и Zn в алюминии, мас. %	Скорость коррозии					
		Сплавы с Ni		Сплавы с Cu		Сплавы Zn	
		$i_{кор.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{кор.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{кор.} \cdot 10^3, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$
0.03	-	0,047	15,74	0,047	15,74	0,047	15,74
	0.01	0,045	15,07	0,044	14,74	0,041	13,73
	0.05	0,043	14,40	0,041	13,73	0,039	13,06
	0.1	0,040	13,04	0,039	13,06	0,037	12,39
	0.5	0,038	12,73	0,036	12,06	0,035	11,72
0.3	-	0,065	21,77	0,065	21,77	0,065	21,77
	0.01	0,063	21,10	0,062	20,77	0,061	20,43
	0.05	0,060	20,10	0,059	19,76	0,058	19,43
	0.1	0,057	19,09	0,056	18,76	0,055	18,42
	0.5	0,054	18,09	0,053	17,75	0,052	17,42
3.0	-	0,080	26,80	0,080	26,80	0,080	26,80
	0.01	0,078	26,13	0,076	25,46	0,075	25,12
	0.05	0,075	25,12	0,074	24,79	0,073	24,45
	0.1	0,073	24,45	0,071	23,78	0,072	24,12
	0.5	0,070	23,45	0,069	23,11	0,068	22,78

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты исследования.

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоёмкости сплавов алюминия с никелем, медью и цинком. Показано, что с ростом концентрации легирующего компонента и температуры теплоемкость сплавов увеличивается. При переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью величина теплоемкости увеличивается, далее к сплавам с цинком уменьшается [1, 8-А].

2. Исследованиями температурных зависимостей изменений термодинамических функций сплавов алюминия с никелем, медью и цинком показано, что при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью величины энтальпии и энтропии увеличиваются, а к сплавам с цинком уменьшаются. С ростом температуры энтальпия и энтропия сплавов растут, значение энергии Гиббса уменьшается [1, 8-А].

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$; выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления характерны для сплавов алюминия с цинком, а максимальные – относятся к сплавам с никелем. Среди сплавов систем Al- Ni (Cu, Zn) наибольшее значение кажущейся энергии активации характерно для сплавов алюминия с медью [2, 7-А].

4. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение сплавов алюминия, легированного никелем, медью и цинком. Показано, что добавки легирующего компонента в количествах от 0.01 до 0.5 мас.%, на 30-40% повышают коррозионную стойкость сплавов алюминия, в нейтральной среде электролита NaCl [3, 9, 10-А].

5. Установленные зависимости характерны для сплавов алюминия с Ni, Cu и Zn. При переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком потенциал свободной коррозии увеличивается. Таким же образом изменяется потенциал питтингообразования при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком. С ростом концентрации хлорид-иона увеличивается плотность тока коррозии и соответственно, скорость коррозии сплавов алюминия с никелем, медью и цинком. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. Наблюдается уменьшение скорости коррозии при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком. Для алюминия также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите [3, 9-А].

6. На основании выполненных исследований разработаны составы новых сплавов, которые защищены малыми патентами Республики Таджикистан [4, 5, 6-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

1. Установленные физико-химические параметры сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком 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. Сплавы в качестве проводников тока предлагаются электротехнической отрасли промышленности.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

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

[1-А]. Ганиев, И.Н. Влияние добавок меди на теплоемкость и термодинамические функции алюминия марки А7 / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Х.О. Одиназода, А.Г. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. -2020. -№ 2. -С. 4-12 (**Scopus**).

Ganiev, I.N. Influence of copper additives on heat capacity and thermodynamic functions of A7 brand aluminum / I.N. Ganiev, **A.R. Rashidov**, H.O. Odinazoda, A.G. Safarov, J.H. Jayloev // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. -2020. -Vol. 61. -No. 4. -pp. 397-403.

[2-А]. Ганиев, И.Н. Кинетику окисления сплавов алюминия с никелем, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, **А.Р. Рашидов**, У.Ш.

Якубов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. -2020. -№ 1. -С. 104-108.

[3-А]. Ганиев И.Н. Электрохимическая коррозия проводникового алюминия, легированного медью, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Ф.А. Алиев, Ё.Ч. Холов, А.П. Абдулаков // Вестник Казанского технологического университета. -2019. -Т. 22. -№ 9. -С. 56-60.

Изобретения по теме диссертации:

[4-А]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1058. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, Ф.А. Алиев, А.П. Абдулаков, А.М. Сафаров, **А.Р. Рашидов**, Ё.Ч. Холов, Ф.С. Давлатзода // №1901336; заявл. 02.05.2019, опубл. 14.02.2020.

[5-А]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1059. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Ф.З. Зувадуллозода, А.М. Сафаров, Ф.А. Алиев, А.П. Абдулаков, Ё.Ч. Холов // №1901306; заявл. 25.07.2019, опубл. 14.02.2020.

[6-А]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1099. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, А.П. Абдулаков, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, Н.И. Ганиева, Ф.А. Алиев, Ё.Д. Холов // №2001416; заявл. 12.03.2020, опубл. 24.06.2020.

Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:

[7-А]. Ганиев, И.Н. Особенности окисления алюминия, легированного никелем, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, **А.Р. Рашидов**, У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиева // VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ. Душанбе. - 2020. -С.

[8-А]. Ганиев, И.Н. Термодинамические функции сплавов системы Al-Cu / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Х.О. Одиназода, А.Г. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ. Душанбе. -2020. -С.

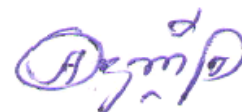
[9-А]. **Рашидов, А.Р.** Влияние добавок меди на анодное поведение проводникового алюминия, в среде электролита 0.3%-ного NaCl / А.Р. Рашидов, Х.О. Одиназода, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научн-прак. конф. «Инновационное развитие науки», с участием международных организации, НАНТ.- 2020.- С.

[10-А]. Ганиев, И.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение проводникового алюминия с никелем, в среде 0.03-ного NaCl / И.Н. Ганиев, А.Р. Рашидов, Дж.Х. Джайлоев, А.П. Абдулаков, Ф.А. Алиев, Ё.Ч. Холов // Рес. научн-прак. конф. «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвя. “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук”, Горно-металлургический институт Таджикистана. Бустон. -2020. -С. 24-27.

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

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 669.77:621



РАШИДОВ Акрам Раҷабович

**ХОСИЯТҲОИ ХҶЛАҲОИ АЛЮМИНИЙИ ТАМҒАИ А7
БО НИКЕЛ, МИС ВА РУҶ**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси
05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника)**

Душанбе – 2020

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

Роҳбари илмӣ: доктори илмҳои техникӣ, профессор,
узви вобастаи Академияи миллии илмҳои
Тоҷикистон, ректори Донишгоҳи техникии
Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ
Одиназода Ҳайдар Одина

Муқарризони расмӣ: доктори илмҳои техникӣ, профессор,
муовини ректор оид ба илм ва тадқиқи
Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон
Ғафоров Абдулазиз Абдулофизович

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: Донишгоҳи давлатии Тоҷикистон
ба номи Н. Хисрав

Ҳимояи диссертатсия 25 январи соли 2021, соати 9⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6Д.КOA-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад.
Суроға: 734063, ш. Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2.
E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

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

Автореферат санаи « ____ » _____ соли 2021 тавзеъ шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои химия



Маҳкамов Ҳ.Қ.

МУҚАДДИМА

Мубрамияти таҳқиқот. Алюминийи ноқилӣ дар таркибаш якчанд, даҳҳо фоиз ғашҳо дорад (на зиёда аз 0,5%-и вазн), ки асоситарин оҳан ва силитсий мебошанд. Мутобиқи ГОСТи 31947-2012 барои маснуоти ноқилӣ ва барқгузарон алюминийи тамғаҳои А7, А6, А5Е, ки мутаносибан 99.7, 99.6, 99.5% алюминийро ташкил медиҳанд, истифода мешаванд. Микдори умумии оҳан ва силитсий дар алюминийи ноқилӣ набояд аз 0,45% зиёд гардида, ҳамаи ғашҳо бошанд на бештар аз 0,5%-ро ташкил диҳанд.

Чӣ тавр, ки маълум аст ба коррозияи ноқилҳои алюминий таркиби химиявӣ ва фазавии онҳо, инчунин нуқсонҳои сатҳӣ (қатшавӣ, қозибӣ ва амсоли ин), таъсир мерасонанд, ки аз роғҳои кафидаи дар вақти тайёркунии варақаҳо ҳосилшуда ба вучуд меоянд.

Дигар сабаби гуногунии коррозияи ноқилҳои алюминий ин нуқсонҳои зимни таҷҳизонидани он, аз қабилӣ вайроншавии сатҳӣ ноқилҳо дар натиҷаи кашонидани он дар рӯйи замини саҳт ва ифлосшавии сатҳӣ ноқилҳо бо оҳақҳо ҳангоми кашонидани он дар рӯйи хоки оҳақдор мебошанд.

Алюминий новобаста аз фаъолнокии химиявиаш дар ҳавои тоза устувор аст, зеро сатҳи он бо пардаҳои тунуки оксидӣ зуд рӯйпӯш мешаванд (тартиби ғафсии пардаи оксидӣ 10^{-6} мм), ки оксидшавии минбаъдаи онро қатъ менамояд. Алюминийи хеле тоза низ ба муқобили таъсири электролитҳо устувор аст, вале ғашҳое, ки дар таркиби алюминийи техникӣ мавҷуданд устувории онро ба коррозия кам менамоянд.

Чӣ тавр, ки дар боло қайд карда шуд, ғашҳои асосии таркиби алюминий, ки аз ашё ва маводи барои истеҳсоли он хизматрасон ба вучуд меоянд ин оҳан ва силитсий мебошанд, меъёрнокӣ мешаванд.

Дарачаи омӯзиши масъалаи таҳияшаванда бо он шарҳ дода мешавад, ки ғашҳои алоҳида ба коррозияи алюминий вобаста аз он, ки дар қадом намуд дар он мавҷуданд таъсирҳои гуногундараҷа мерасонанд. Силитсий ҳангоми ҳарорати хона дар алюминий амалан ҳал нашуда, дар шакли воридотӣ иштирок менамояд. Обутобдихӣ қобилияти гузариши силитсийро ба маҳлули саҳт ё шакли тунукдисперсии камзарарноки мисли коррозияро зоҳир менамояд, вале ингуна коркард барқгузаронии алюминийро кам менамояд ва барои барқгузаронӣ қабул карда намешаванд.

Воридкунии силитсияи элементарӣ аз рӯйи назорати якчанд муаллифон маркази микрокоррозияи алюминий мебошад, ин ба ҳисоби потенциали манфии он (-0.421 В), нисбати потенциали алюминий (-0,525 В) вобаста карда мешавад.

Оҳан дар алюминий пайвастагии Al_3Fe ҳосил менамояд, ки дар ҳолати саҳт дар алюминий ҳал намешавад. Ҳангоми дар якҷоягӣ иштироки силитсий ва оҳан пайвастагии $Al_6Fe_2Si_3$ -ро ҳосил мешавад. Ҳалшавии ин пайвастагӣ дар алюминий ҳангоми ҳарорати оддӣ хеле ночиз аст, вале ҳангоми ҳарорати баланд нисбат ба алюминиди оҳан якчанд бештар мешавад.

Воридкунии алюминиди оҳан коррозияи мунтазами алюминийро нисбат ба силитсий, вобаста аз потенциали манфии он (-0,14 В) ба вучуд меорад. Онҳо ҳамчунин монанди силитсий вобаста аз чарснокии худ зарароваранд. Аниқ

карда шуда буд, ки воридкунии силитсий ва алюминиди оҳан маркази коррозияи ноқилҳои осебдида мебошанд.

Чӣ тавр, ки маълум аст маводи ноқилӣ бояд: 1) барқгузаронии хеле баланд; 2) хосияти механикии баланди кофӣ; 3) муқовимати коррозияи атмосферӣ ва 4) қобилияти мувофиқати он ба коркарди механикӣ зери фишор дошта бошанд.

Зарурати гузаронидани таҳқиқот оид ба мавзӯи рисола бо он шарҳ дода мешавад, ки вобаста ба ин, норасоии асосии алюминий ҳамчун ноқил ин мустақкамии механикии пасти он мебошад. Барои алюминийи тамғаи А5 $\sigma_b = 14.7 \text{ кг/мм}^2$, ва ин нишондиҳанда барои хӯлаи ноқилии «алдрей» $\sigma_b = 32-37 \text{ кг/мм}^2$ аст.

Дар алоқамандӣ бо баёни матраҳнамуда баландшавии хосиятҳои механикӣ ва зиддикоррозиони алюминийи тамғаи А7 бо микроҷавҳаронии он бе расонидани осеб ба хосияти ноқилии он **вазифаи мубрам** мебошад.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади таҳқиқот ин аниққунии хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ мебошад, ки ба сифати маводи ноқилӣ барои ниёзи соҳаҳои саноати электротехникӣ пешниҳод мешаванд.

Вазифаи таҳқиқот. Омӯзиши вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ.

- Омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои системаҳои Al-Ni (Cu, Zn), дар ҳолати саҳт ва муайянкунии механизми раванди оксидшавии онҳо.

- Муайянкунии таҷрибавии таъсири никел, мис ва руҳ ба рафтори анодии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7, дар муҳити электролити NaCl.

- Меъёркунии таркиби хӯлаҳои дучанда дар асоси аниққунии хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ онҳо ва муайянкунии имконоти соҳаҳои истифодабарии онҳо.

Объекти таҳқиқоти ин хӯлаҳои алюминийи навъи А7 бо никел, мис ва руҳ мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот ин синтези хӯлаҳои навӣ ноқилӣ дар асоси алюминийи А7 бо никел, мис ва руҳ мебошад.

Усулҳои таҳқиқот: усули тадқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар режими "хунуккунӣ" бо истифодаи бақайдгирии худкори ҳарорати намуна аз вақти хунуккунӣ; усули термогравиметрӣ барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳолати саҳт; усули электрохимиявӣ омӯхтани хосиятҳои анодии хӯлаҳо бо усули потенциостатикӣ.

Соҳаи таҳқиқоти маводшиносӣ ва технологияи синтези хӯлаҳои нав дар асоси алюминийи ноқилӣ тамғаи А7 мебошанд.

Марҳилаҳои таҳқиқот синтез ва сертификатсияи хӯлаҳои навӣ ноқилро дар асоси алюминийи А7 бо никел, мис ва руҳ, омӯзиши хусусиятҳои ҳароратӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии онҳо дар бар мегиранд.

Маълумоти асосӣ ва заминаи таҷрибавӣ. Таҳқиқоти таҷрибавӣ бо ёрии таҷҳизоти маъруфи илмӣ: потенциостати импульсии навъи ПИ-50-1.1; тавозуни термогравиметрӣ; дастгоҳ барои чен кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт дар речаи "хунуккунӣ". Коркарди математикии натиҷаҳо бо истифодаи бастаҳои стандартӣ ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot гузаронида шуд.

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

Навгониҳои илмии таҳқиқот.

- Қонуниятҳои асосии тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) ҳулаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ дар вобастагӣ аз ҳарорат ва миқдори компоненти ҷавҳаронӣ аниқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳулаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ зиёд мешаванд, аммо энергияи Гиббс кам мешавад. Бо зиёдшавии ҳиссаи никел, мис ва руҳ дар алюминий тағйирёбии энталпия ва энтропия афзоиш меёбад, вале энергияи Гиббс кам мегардад.

- Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат суръати оксидшавии ҳулаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ дар ҳолати сах зиёд мешавад. Иловаҳои никел то 0,5 %-вазн устувории алюминийро ба оксидшавӣ зиёд мекунад, вале иловаҳои мис ва руҳ онро кам менамоянд. Мутаносибан, энергияи эҳтимолии фаёлшавӣ ҳангоми гузариш аз ҳулаҳои никел ба ҳулаҳои мис ва руҳ – кам мегардад. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби 10^{-4} кг/м²·с⁻¹ -ро дорад. Аниқ карда шудааст, ки оксидшавии ҳулаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ ба қонуниятҳои гиперболий итоат менамоянд.

- Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши потенциал 2 мВ/с аниқ карда шудааст, ки иловаҳои компонентҳои ҷавҳаронӣ то 0,5%-и вазн устувории коррозияи ҳулаҳои алюминий ба 30-40% зиёд мекунад. Ҳангоми ин майлдиҳии потенциали коррозияи ҳулаи аввалия ба самти мусбат қайд карда мешавад, вале потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ва репассиватсия – ба самти манфии хати меҳвар майл менамоянд. Ҳангоми гузариш аз ҳулаҳои бо никел ба ҳулаҳои бо мис ва руҳ суръати коррозия кам мешавад.

Арзиши назариявии таҳқиқот. Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии тадқиқот: исботи таъсири сохторҳо, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағйирёбии тавсифоти коррозияи-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ ҳулаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ; таъсири муҳитҳои коррозияи ва концентратсияҳои иловаҳои ҷавҳаронӣ ба устувории коррозияи ва оксидшавии алюминийи тамғаи А7 баён шудааст.

Арзиши амалии таҳқиқот. Таҳқиқоти анҷомдодашуда имкон дод, ки таркиби ҳулаҳо, ки бо оксидшавии камтарин дар ҳарорати баланд фарқ мекунад, маълум карда шуда, концентратсияи оптималии иловаҳои

чавҳаронии никел, мис ва руҳ барои баландбардории устувории коррозионии алюминий интихоб карда шавад.

Дар мақсад, дар асоси таҳқиқоти анҷомдодашуда таркибҳои алоҳидаи хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ бо Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд.

Муқаррарот, ба ҳимоя пешниҳод мегардад.

- Натиҷаҳои таҳқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ.

- Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ, инчунин механизми оксидшавии хӯлаҳо. Маҳсули оксидшавии хӯлаҳо муайян ва нақши онҳо дар бавучудоии механизми оксидшавӣ аниқ карда шудааст.

- Вобастагии хусусияти анодӣ ва суръати коррозияи хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ аз консентратсияи компоненти чавҳаронӣ, дар муҳити электролити NaCl.

- Таркиби оптималии хӯлаҳо, ки бо оксидшавии камтарин ва устувории баланди коррозионӣ фарқ менамоянд, ки ба сифати маводи ноқилӣ барои сохтани ноқилҳо ва ҷилди ноқилҳо ҷолиби ирояанд.

Саҳми шахсии муаллиф дар таҳлили маълумоти адабиёт, вазифагузории масъала ва ҳалли масъалаҳои таҳқиқот, омодакунӣ ва гузаронидани таҳқиқоти таҷрибавӣ дар шароити озмоишгоҳӣ, таҳлил ва коркарди натиҷаҳои таҳқиқот, муайянкунии масъалаҳои асосӣ ва таҳияи хулосаҳои диссертатсия мебошад.

Арзёбии рисола ва маълумот дар бораи истифодаи натиҷаҳои он.

Муқаррароти асосии рисола дар ҳамоишҳои зерин мавриди баррасӣ қарор гирифтаанд:

Рес. научн-практ. конф. «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвя. “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук”, Горно-металлургический институт Таджикистана (г.Бустон, 2020); VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (Душанбе, 2020); Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет (Душанбе, 2020).

Нашири натиҷаҳои рисола. Дар натиҷаи таҳқиқот 7 мақолаи илмӣ, аз ҷумла 3 мақола дар дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шуда, 3 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дарёфт шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми рисола. Диссертатсия аз муқаддима, чор боб, хулоса ва иловаҳо иборат аст. Диссертатсия аз 130 саҳифаи компютерӣ, ки аз 35 ҷадвал, 58 расм, 134 феҳрасти адабиёти истифодашуда ва замима иборат аст.

МАЗМУНИ АСОСИИ РИСОЛА

Дар муқаддима масъалаҳои марбут ба таҳқиқот ва масоили атрофи он баррасӣ шуда, муҳимияти интихоби мавзӯ ва сохтори он баён шудааст.

Дар боби аввал хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ баррасӣ шудааст; маълумоти мухтасари адабиётҳо дар соҳаи истифодабарии алюминий ва хӯлаҳои он; хосиятҳои физикавӣ-химиявӣ ва сохтори хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ пешниҳод шудааст. Дар асоси таҳлили анҷомдодашуда нишон дода шудааст, ки ноқилҳои алюминӣ, техникаи авиатсионӣ, саноати мошинсозӣ ва соҳаҳои гуногуни техника хуб омӯхта шудаанд, ғайр аз хӯлаҳои системаҳои алюминий-никел, алюминий-мис ва алюминий-руҳ, ки барои ҳамин гурӯҳи хӯлаҳо танҳо маълумоти нокифояи маҳдуд мавҷуд аст.

Ҳамин тавр, бо алоқамандӣ дар набудани маълумоти систематикӣ оиди гармигунҷоиш ва функцияҳои термодинамикӣ, кинетикаи оксидшавӣ ва рафтори анодии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ ин хӯлаҳо ба сифати маводи таҳқиқотӣ дар рисолаи диссертатсионӣ баррасӣ мешаванд.

БОБИ 2. ТАҲҚИҚОТИ ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИИ ГАРМИГУНҶОИШ ВА ТАҒЙИРӢБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХӮЛАҲОИ АЛЮМИНИИ ТАМҒАИ А7 БО НИКЕЛ, МИС ВА РУҲ

Таҳқиқоти ченкунии гармигунҷоиши хӯлаҳо дар речаи «хунуккунӣ» дар таҷҳизоте, ки дар асоси ҳолати кории усули С-калориметр бо гармисанҷ ва қабати адиабатидошта амалӣ мешаванд, анҷом дода шуд.

Барои ченкунии гармигунҷоиши хоси металлҳо қонуни Нютон – Рихман истифода шуд. Ҳамагуна ҷисм, ки ҳарорати бештар аз муҳити атроф дорад, ҳатман хунук мешавад ва суръати хунукшавӣ аз бузургиҳои ҷисми гармигунҷоиш ва зарби гармидиҳӣ вобаста аст.

Асосҳои физикавии усули ченкунии пешниҳодшаванда чунин баён мешавад. Механизми гармидиҳии намунаҳо ҳангоми хунукшавӣ бо гармигузаронии муҳити атроф, конвексия ва паҳншавӣ шарҳ дода мешавад. Барои ду раванди аввал, яъне муҳити гармигузаронӣ ва конвексия чунин баён мешавад, ки ҷараёни гармӣ аз ҷисми гармшуда (J) мутаносибан фарқияти байни ҳарорати сатҳи намунаи T ва ҳарорати муҳити атроф (қонуни Нютон-Рихман) баробар аст:

$$J = \alpha(T - T_0). \quad (1)$$

Дар амалия зарби гармидиҳӣ α таҷрибавӣ муайян карда мешавад, зеро ин аз миқдори зиёди нишондиҳандаҳо вобаста буда, ва барои он муодилаи умумӣ пешниҳод намудан номумкин аст. Аз ҳароратҳои ҷараёни гармӣ аз ҳисоби паҳншавӣ сифатнокии вобастагии (қонуни Стефан – Болсман)

$$J = \sigma \varepsilon S (T^4 - T_0^4), \quad (2)$$

дар ин ҷо $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$, ε - зарби фурубарӣ, S - масоҳати сатҳи ҷисм. Танҳо ҳангоми фарқи ҳарорат ($T - T_0$), J ба намуди зерин ҷамъбандӣ мешавад

$$J = 4\sigma \varepsilon S T_0^3 (T - T_0). \quad (3)$$

Ҳарорат ҳангоми хунукшавии ҷисм аз рӯи экспонент ҳатман меафтад, агар гармиғунҷоиш ва зареби гармидиҳӣ доимӣ буда, вале муҳити атроф беохир ва якҷинса аст. Ҳақиқатан, муодилаи тавозуни гармӣ

$$\delta Q = -Jdt \quad (4)$$

инҷо намуди

$$C_p^0 m dT = -a(T - T_0)dt, \quad (5)$$

дар инҷо C_p^0 – гармиғунҷоиши хоси ҷисм, m – вазни он. Ҳалли ин муодила чунин

$$T(t) = (T_1 - T_0)e^{-t/\tau} + T_0, \quad (6)$$

дар ин ҷо T_1 – ҳарорати аввала, $\tau = \frac{dT}{dt}$ – суръати хунукшавии намунаҳо.

Ҳангоми шароити иҷрошавии талаботҳои дар боло нишондодашуда, гармиғунҷоиши маводи намуна аз рӯи термограммаи ченкардашудаи суръати хунуккунии dT/dt муайян карда мешавад. Бо назардошти он, ки бузургии α номаълум аст, ченкуниро дар яквақт бо намунаи эталони гармиғунҷоишаш маълум ва андозаи якхеладошта гузаронидан зарур аст. Ҳангоми ин шароити хунукшавии онҳо бояд мутобиқат намояд. Фарз карда шавад, ки зареби α барои намунаҳо якхела бошад, гармиғунҷоиши маводи ченмешудаи c_x метавон аз рӯи муодилаи зерин муайян намуд:

$$C_x^0 = C_y^0 \frac{m_y \tau_x}{m_x \tau_y}, \quad (7)$$

дар ин ҷо C_y^0 – гармиғунҷоиши маводи эталон, m_x и m_y – вазнҳои таҳқиқотӣ ва эталон, τ_x ва τ_y – суръати хунукшавӣ барои намунаи таҳқиқотӣ ва эталон, ки баробар аст $\tau_y = \left(\frac{dT}{dt}\right)_1$ и $\tau_x = \left(\frac{dT}{dt}\right)_2$.

Ин усул иҷоза медиҳад, ки: 1) доимияти c_x , c_y ва α ҳангоми тағйирёбии ҳарорат; 2) хунукшавӣ дар муҳити беохир ва 3) ҳарорати намунаҳо ҳангоми он, ки паҳншавиро метавон аз рӯи муқоиса бо гармигузаронӣ ва конвексия муайян карда мешавад. Риоя накардани ин ё он аз шароити нишондодашуда рафти қачхати хунукшавии экспоненсиалиро вайрон мекунад.

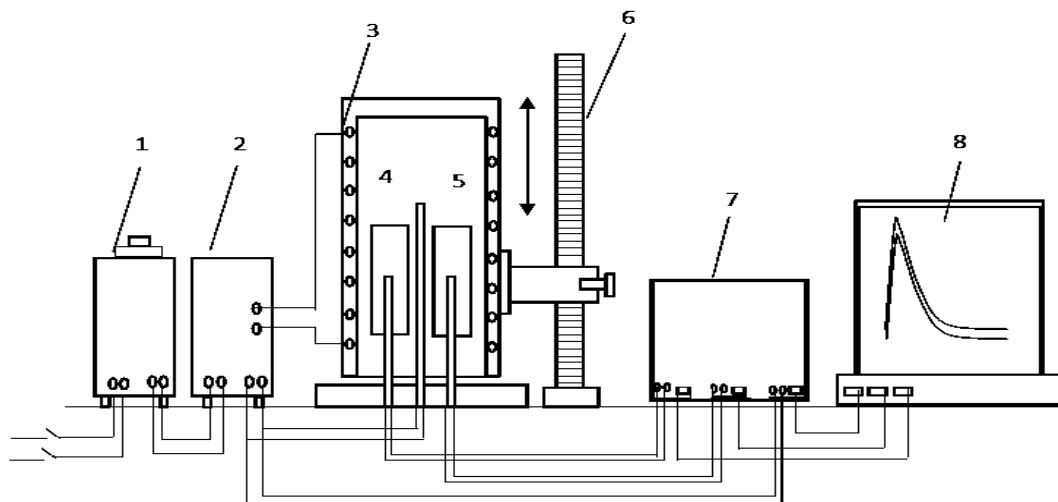
Термограммаро ба қисматҳо дар фосилаи маҳдуди ҳарорат тақсим намуда, ки гармиғунҷоиш ва зареби α метавон аз вобастагии доимии c_x ва c_y аз ҳарорат муайян намуд. Ҳангоми ин барои ҳар як фосила суръати хунукшавии он аст, ки барои ҳисобкунии $c_x(T)$ истифода мешавад.

Дар ин таҳқиқот гармиғунҷоиши миёнаро аз рӯи фосилаи ченкардашудаи ҳарорат муайян карда шуд. Барои ҳама намунаҳо зареби гармигузаронии α якхела пешниҳод мешаванд.

Барои муайянкунии суръати хунукшавӣ қачхати хунукшавии (термограммаҳо) намунаҳои додашуда сохта мешаванд. Қачхати хунукшавӣ ин вобастагии ҳароратҳои намунаро аз рӯи вақт ҳангоми хунукшавии он дар ҳавои беҳаракат мефаҳмонад.

Хӯлаҳои алюминий бо никел, руҳ ва мисро дар қураи муқовимати озмоишгоҳии намуди СШОЛ дар ҳарорати 800-850 °С бо илова намудан ба ғудохтаи алюминий миқдори ҳисобии никели тамғаи Н0, миси тамғаи М995 ва руҳи тамғаи ЦВ00 ҳосил намудем. Алюминийи аввалиндараҷа ва хӯлаҳои он, ки дар таркибаш 0.01-0.5%-и вазн компоненти ҷавҳаронӣ дорад, таҳлили химиявӣ онҳо дар озмоишгоҳи марказии ҚВД «Ширкати алюминийи тоҷик» анҷом дода шуд. Вазни хӯлаҳои ҳосилнамуда ҳамчунин бо барқашидани намунаҳо пеш аз ҳосилкунӣ ва баъд аз ҳосилшавии хӯлаҳо назорат карда шуд. Аниқ карда шуд, ки алюминийи аввалиндараҷа аз рӯи таркиби химиявӣ (0,08%Si; 0.15%Fe ва 0.007%Cu) мутобиқ ба металли тамғаи А7Е аст. Ҳангоми фарқияти хӯлаҳо беш аз 1-2% онгоҳ синтези хӯлаҳо такрор карда шудааст. Аз ҳамингуна ғудохтаҳои ҳосилнамуда дар зарфи металлӣ намунаҳои цилиндршакл, ки диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм –ро ташкил дод, рехтагарӣ шуд.

Гармиғунҷоиш дар таҷҳизоте ченк карда шуд, ки тасвири он дар расми 1 пешниҳод шудааст. Таҷҳизот аз ҷузъҳои зерин иборат аст: электропеч (3) дар пояк ҷойгузин (6) шудааст, ки метавонад ба боло ва поён майд намояд (бо ақрабақ самти майлқунии он нишон дода шудааст). Намуна (4) ва эталон (5) (ҳам майл менамоёнд) шакли цилиндри дарозияш 30 мм ва диаметри он 16 мм бо роғи мобайнии аз як тараф кушода, ки дар он термопараҳо гузошта шудааст. Охири термопар ба термометри (7) рангаи бисёрканала вазл мешавад, ки ба он компютер (8) пайваस्त карда шудааст.



Расми 1 – Таҷҳизот барои муайянқунии гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт дар речаи хунукқуни: 1-автотрансформатор; 2-терморегулятор; 3-электропеч; 4-намунаи таҳқиқотӣ; 5-эталон; 6-пояки электропеч; 7-термометри бисёрканалаи ранга; 8-асбоби қайдқуни (компютер).

Электропечро тавассути автотрансформатор (1) ба қор дароварда, ҳарорати заруриро бо ёрии терморегулятор (2) таъмин менамоем. Аз рӯи нишондоди термометри (7) рангаи бисёрканала қимати ҳарорати авваларо қайд менамоем. Намунаи таҳқиқотӣ ва эталонро ба электропеч ворид намуда, то ҳаррати зарури гарм карда, ҳароратро бо нишондоди термометри (7) рангаи

бисёрканала идора менамоем. Баъдан намунаи таҳқиқотӣ ва эталонро дар яквақт аз электропеч берун меорем. Аз ин лаҳза камшавии ҳароратро қайд менамоем. Нишондоди термометри рангаро, ки тавассути 10 сония дар компютер сабт мешавад, қайд менамоем. Намуна ва эталонро камтар аз 30 °C хунук менамоем.

Сохтани графикҳо ва коркарди натиҷаҳои ченкуниро бо ёрии барномаи MS Excel ва Sigma Plot анҷом дода шуд. Ҳангоми ин бузургии зароби ҳамгирой $R_{\text{корр.}} = 0,992 \div 0,998$ ташкил дод. Саҳвияти нисбии ченкунии ҳарорат дар ҳудуди аз 40 °C то 400 °C $\pm 1\%$ -ро ташкил дод, вале дар ҳудуди бештар аз 400 °C бошад $\pm 2,5\%$ -ро ташкил дод. Аз рӯи усули пешниҳоднамуда саҳвияти ченкунӣ на зиёда аз 4% аст.

Вобастагии суръати хунукшавии намунаи хӯлаҳои ҳосилнамуда бо муодилаи намуди зерин навишта мешавад:

$$T = ae^{-bt} + pe^{-kt} \quad (8)$$

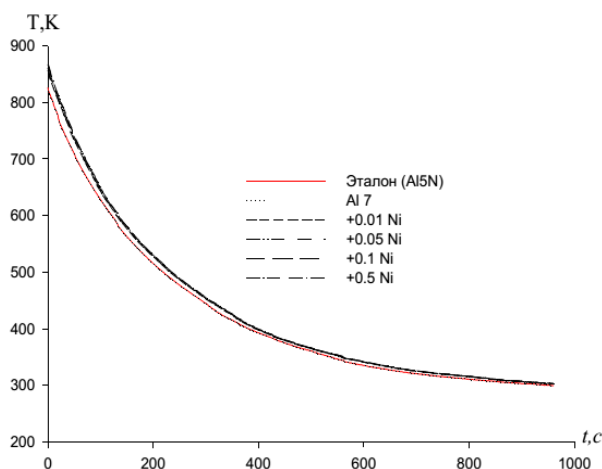
дар ин ҷо a , b , p , k – барои намунаи додашуда, t – вақти хунукшавӣ.

Муодилаи (8) –ро аз рӯи t дифференсиронида, муодила барои муайянкунии суръати хунукшавиро ҳосил менамоем

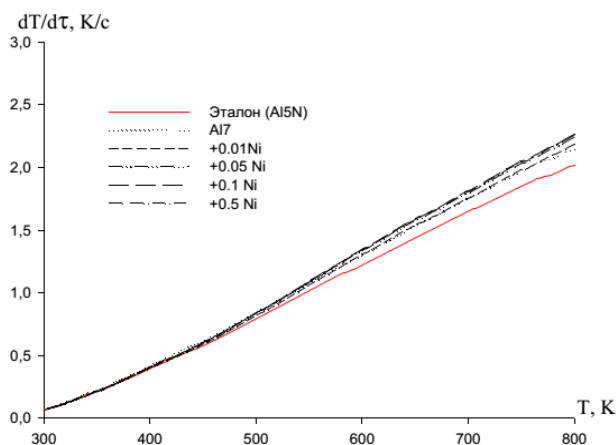
$$\frac{dT}{dt} = -abe^{-bt} - pke^{-kt}. \quad (9)$$

Бо ин муодила суръати хунукшавии эталон ва намунаҳо аз хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7Е бо никел, мис ва руҳ ҳисоб карда шуд.

Термограммаи таҷрибавии ҳосилнамуда (расми 2) ва суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳо (расми 3) бо полиномаҳои (8) ва (9) навишта мешаванд. Бо муодилаи (9) коркарди компютерӣ намуда, қиматҳои зароби a , b , p , k , ab , pk барои хӯлаҳои таҳқиқотӣ муайян намудем, ки дар ҷадвали 1 оварда шудааст. Качхатҳои суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои алюминий ва эталон дар расми 3 пешниҳод шудааст.



Расми 2 – Графики вобастагии ҳароратӣ аз вақти хунукшавӣ (t) барои намунаҳо аз хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел



Расми 3 – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон

Чадвали 1 – Қимати зарибҳои муодилаи (9) барои хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон (А1 тамғаи А5N)

Микдори никел дар алюминий, %ғи вазн	a, K	b, c^{-1}	p, K	$k \cdot 10^{-4}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
А1 тамғаи А7Е	473,78	4.62	336,19	1,46	2,19	4,91
0.01	490,66	4,89	354,71	1,88	2,40	6,66
0.05	492,55	4,90	355,699	1,90	2,42	6,77
0.1	496,37	4,94	357,66	1,96	2,45	7,00
0.5	498,37	4,95	358,53	1,98	2,47	7,10
Эталон (А1 тамғаи А5N)	475,37	4.63	337,25	1,49	2,20	5,03

Баъдан қимати бузургии суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳоро истифода намуда аз рӯйи муодилаи (7) гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ҳисоб намудем. Натиҷаҳои ҳисобкунӣ нишон медиҳанд, ки вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон (А1 тамғаи А5N) бо муодилаи намуди зерин навишта мешавад

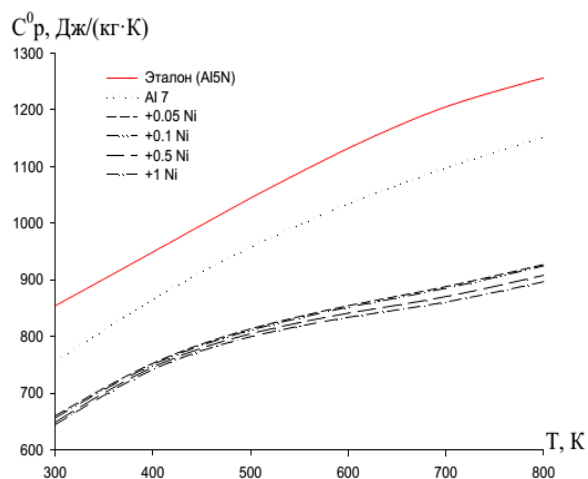
$$C_{P_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (10)$$

Қимати зарибҳои полиномаҳои (10) коркарди натиҷаҳои он бо ҳисобкунӣ аз рӯйи барномаи Sigma Plot дар чадвали 2 пешниҳод шудааст.

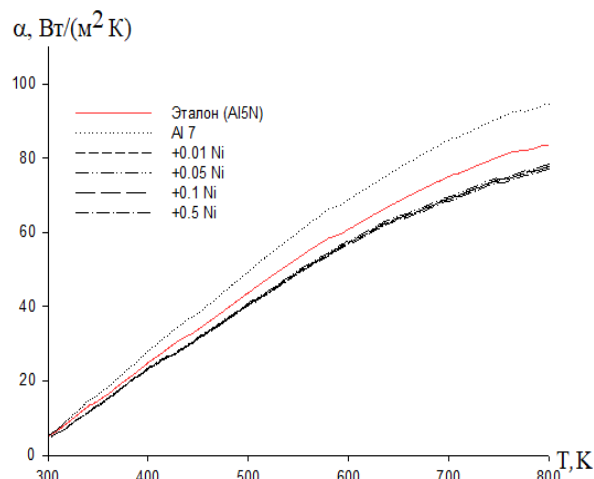
Дар расми 4 ва чадвали 3 натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш аз рӯйи муодилаҳои (7) ва (10) тавассути 100 К оварда шудааст. Аз чадвали 3 дида мешавад, ки гармиғунҷоиши хӯлаҳо аз микдори никел кам гардида, аз ҳарорат зиёд мешавад. Бо истифода аз қимати таҷрибавии аниқнамудаи хӯлаҳо аз рӯйи муодилаи (5) вобастагии ҳароратии зариви гармидиҳиро муайян намудем, ки дар расми 5 пешниҳод шудааст. Дида мешавад, ки иловаҳои никел зариви гармидиҳии алюминийи аввалияи А7-ро кам менамоянд.

Чадвали 2 – Қимати зарибҳои a, b, c, d дар муодилаи (10) барои хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон (А1 тамғаи А5N)

Микдори никел дар алюминий, %-и вазн	$a, Дж/кг \cdot K$	$b, Дж/кг \cdot K^2$	$c \cdot 10^{-2}, Дж/кг \cdot K^3$	$d \cdot 10^{-6}, Дж/кг \cdot K^4$	Зариви коррелятсия R, %
А1 тамғаи А7	282,80	1,99	0,155	0,516	0,9963
0.01	65,37	3,03	-0,409	0,207	0,9954
0.05	44,10	3,13	-0,428	0,218	0,9949
0.1	-25,10	3,52	-0,500	0,257	0,9929
0.5	-42,25	3,58	-0,512	0,264	0,9924
Эталон (А1 тамғаи А5N)	645,88	0,36	0,15	1,24	1,0



Расми 4 – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси кҶ/(кг·К) хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон



Расми 5 – Вобастагии ҳароратии зариви гармидихии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон

Ҷадвали 3 – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси кҶ/(кг·К) хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори никел дар алюминий, %-и вазн	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Al тамғаи А7	756,69	867,11	958,90	1035,18	1099,03	1153,55
0.01	660,54	753,29	813,92	854,85	888,50	927,29
0.05	656,76	750,82	811,60	852,18	885,64	925,06
0.1	649,30	746,34	805,30	841,66	870,90	908,50
0.5	644,87	742,10	799,95	834,41	861,43	896,97
Эталон	854,61	949,47	1044,57	1132,48	1205,74	1256,92

Ҳисоби вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаҳои системаҳои Al-Ni аз рӯи муодилаи (11)-(13) бо истифодабарии интеграл аз гармиғунҷоиши хос аз рӯи муодилаи (10):

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (11)$$

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

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)], \quad (13)$$

дар ин ҷо $T_0 = 298,15$.

Натиҷаҳои ҳисобкунӣ тавассути 100 К дар ҷадвали 4 пешниҳод шудааст.

Натиҷаҳои таҳқиқоти гармиғунҷоӣ ва тағйирёбии хосиятҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ дар ҷадвалҳои 5 ва 6 оварда шудааст. Барои хӯлаҳо, ки алоҳида 0.5% компоненти дуюмро дорад бо афзоиши ҳарорат гармиғунҷоӣ, зариви гармидихӣ, энталпия ва энтропия афзуда, ва энергияи Гиббс кам мегардад. Аз ҷадвали 5 дида мешавад, ки барои хӯлаҳои алюминий бо 0,5 %-и вазн никел, мис ва руҳ ҳангоми гузариш аз

хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо ба мис гармиғунҷоиш зиёд гардида, ба хӯлаҳои бо руҳ кам мешавад. Ҳамингуна қонуният барои функсияҳои термодинамикии низ ҷой дорад (ҷадвали 6).

Ҷадвали 4 – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминийи тамғай А7 бо никел ва эталон (А1 тамғай А5N)

Миқдори никел дар алюминий, %-и вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	Т, К					
	325	400	500	600	700	800
А1 тамғай А7	1,398	82,756	174,199	274,019	380,821	493,515
0.01	1,220	72,231	150,807	234,358	321,534	412,229
0.05	1,213	71,924	150,268	233,570	320,466	410,897
0.1	1,199	71,363	149,197	231,669	317,292	406,128
0.5	1,191	70,934	148,298	230,145	314,933	402,716
Эталон	1,579	91,751	191,483	300,427	417,491	540,839
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо						
А1 тамғай А7Е	0,005	0,238	0,442	0,623	0,788	0,938
0.01	0,004	0,208	0,383	0,535	0,669	0,790
0.05	0,004	0,207	0,381	0,533	0,667	0,788
0.1	0,004	0,205	0,378	0,529	0,661	0,779
0.5	0,004	0,204	0,376	0,525	0,656	0,773
Эталон	0,005	0,264	0,486	0,685	0,865	1,030
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо						
А1 тамғай А7Е	-0,004	-12,430	-46,618	-100,030	-170,727	-257,146
0.01	-0,004	-10,859	-40,599	-86,660	-147,008	-220,087
0.05	-0,004	-10,808	-40,431	-86,328	-146,468	-219,298
0.1	-0,004	-10,712	-40,116	-85,665	-145,283	-217,384
0.5	-0,004	-10,646	-39,873	-85,138	-144,351	-215,913
Эталон	-0,005	-13,863	-51,610	-110,315	-187,925	-282,770

* $T_0 = 298,15 \text{ K}$

Ҷадвали 5 – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси кҶ/(кг·К) хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ аз ҳарорат

Миқдори компоненти ҷавҳаронӣ дар алюминий, %-и вазн	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
А1 тамғай А7 (1)	756,69	867,11	958,90	1035,18	1099,03	1153,55
(1)+0.05Ni	644,87	742,10	799,95	834,41	861,43	896,97
(1)+0.05Cu	748,26	854,49	943,52	1017,87	1080,03	1132,50
(1)+0.05Zn	654,35	747,82	808,37	848,72	881,59	919,70
Эталон (А1 тамғай А5N)	854,61	949,47	1044,57	1132,48	1205,74	1256,92

Дар мақсад, хусусияти хосиятҳои гармофизикавӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои системаҳои Al-Ni (Cu, Zn) нишон дод, ки

афзоиши гармигунҷоиш, зариби гармидиҳӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаҳо бо афзоиши ҳарорат афзуда, мутаносибан энергияи Гиббс кам мешавад.

Чадвали 6 – Вобастагии ҳароратии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ аз ҳарорат

Миқдори компоненти чавҳаронӣ дар алюминий, %-и вазн	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо					
	Т, К					
	325	400	500	600	700	800
Al тамғаи А7	1,398	82,756	174,199	274,019	380,821	493,515
(1)+0.05Ni	1,191	70,934	148,298	230,145	314,933	402,716
(1)+0.05Cu	1,382	81,673	171,706	269,888	374,874	485,571
(1)+0.05Zn	1,207	71,525	149,405	232,192	318,500	408,218
Эталон (Al тамғаи А5N)	1,579	91,751	191,483	300,427	417,491	540,839
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кҶ/(кг·К) барои хӯлаҳо					
Al тамғаи А7	0,005	0,238	0,442	0,623	0,788	0,938
(1)+0.05Ni	0,004	0,204	0,376	0,525	0,656	0,773
(1)+0.05Cu	0,005	0,235	0,435	0,614	0,776	0,924
(1)+0.05Zn	0,004	0,193	0,356	0,499	0,625	0,739
Эталон (Al тамғаи А5N)	0,005	0,264	0,486	0,685	0,865	1,030
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кҶ/кг барои хӯлаҳо					
Al тамғаи А7	-0,004	-12,430	-46,618	-100,030	-170,727	-257,146
(1)+0.05Ni	-0,004	-10,646	-39,873	-85,138	-144,351	-215,913
(1)+0.05Cu	-0,004	-12,276	-45,996	-98,636	-168,270	-253,354
(1)+0.05Zn	0,078	-5,544	-28,758	-67,257	-119,165	-183,038
Эталон (Al тамғаи А5N)	-0,005	-13,863	-51,610	-110,315	-187,925	-282,770

БОБИ 3. ТАҲҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАҲОИ АЛЮМИНИЙИ ТАМҒАИ А7 БО НИКЕЛ, МИС ВА РУҲ

Барои таҳқиқоти таъсири никел ба кинетикаи оксидшавии алюминий, дар ҳолати саҳт, хӯлаҳо бо миқдори таркибии аз 0.01 то 0.5 %-и вазн никел ҳосил карда шуданд. Таҳқиқот дар атмосфераи ҳаво ҳангоми ҳароратҳои 673К, 773К ва 873К гузаронида шуд. Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи Al-Ni дар чадвалҳои 7, 8 ва расмҳои 6-9 пешниҳод шудааст.

Ҳисобкунии энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳо нишон медиҳад, ки иловаҳои никел (то 0.5%) суръати оксидшавии хӯлаҳоро кам менамояд, ки бо афзудани бузургҳои энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ аз 164,4 то 203,3 кҶ/мол анҷом меёбад (чадвали 7).

Суръати оксидшавии хӯлаҳо, ки миқдори 0.01, 0.05, 0.1 ва 0.5% никелро дорад ҳангоми ҳароратҳои таҳқиқотӣ барои хӯлаҳо нисбат ба алюминийи тоза начандон кам мегардад. Пардаҳои оксидии дар раванди сароғози оксидшавӣ ҳосилшуда хосиятҳои муҳофизатиро надоранд, ки аз ин афзоиши суръати оксидшавии хӯлаҳо аз ҳарорат дар давраи сароғозии оксидшавӣ шаҳодат медиҳад.

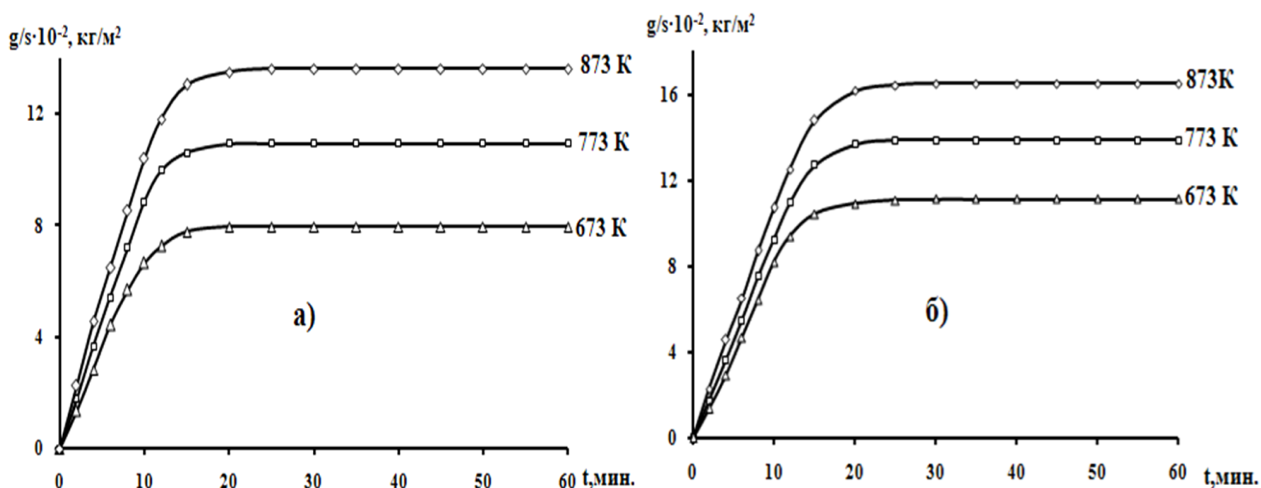
Ҷадвали 7 – Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи Al-Ni, дар ҳолати саҳт

Миқдори никел дар алюминий, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^{-4}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	673	2.78	164.4
	773	3.05	
	873	3.52	
0.01	673	2.41	189.5
	773	2.55	
	873	3.09	
0.05	673	2.33	194.8
	773	2.47	
	873	3.01	
0.1	673	2.26	199.0
	773	2.49	
	873	2.94	
0.5	673	2.17	203.3
	773	2.43	
	873	2.87	

Суръати оксидшавии хӯлаҳо бо хати майлони аз саршавии меҳвар ба қачхатҳои оксидшавии гузаронидашуда бо муодилаи $K = g/s \cdot \Delta t$ ҳисоб карда шуданд, ки барои хӯла, ки миқдори 0.5% никел дорад, аз $2,17 \cdot 10^{-4}$ то $2,87 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ҳангоми 673 К ва 873 К тағйир меёбад. Энергияи фаъолшавии раванди оксидшавӣ, ки бо кунҷи майлони тангенсӣ вобаста аз $\lg K - 1/T$ ҳисоб карда шудааст барои хӯлаи мазкур ба 203,3 кҶ/мол баробар мешавад (ҷадвали 7).

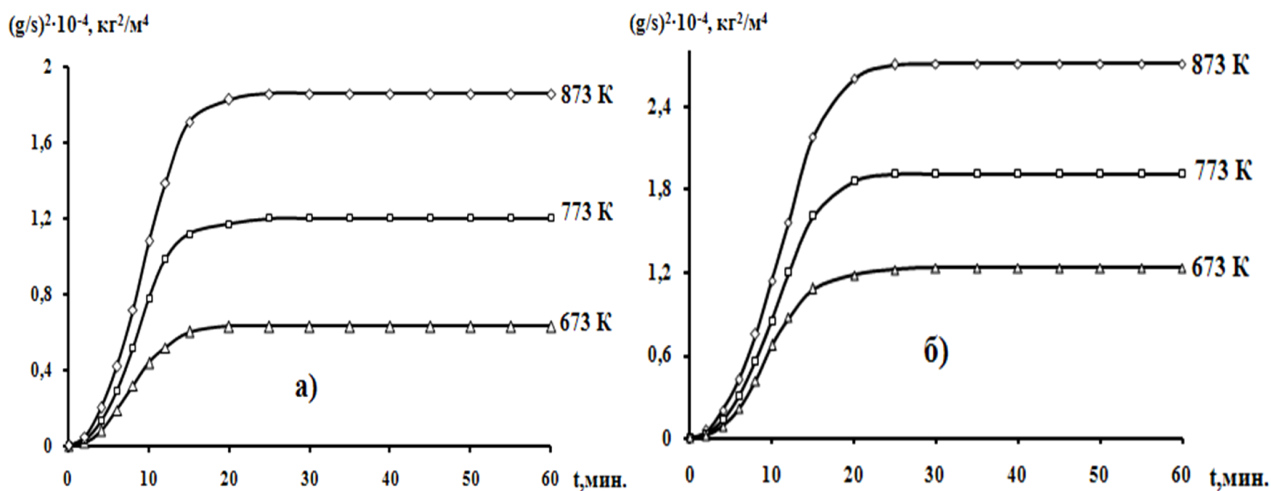
Афзоиши суръати оксидшавии намунаҳо аз ҳарорат қайд карда шудааст (расми 6). Оксидшавии хӯлаҳо бо механизмҳои гуногун мегузарад. Хӯлаҳо бо 0.01, 0.05, 0.1 ва 0.5%-и никел сараввал мунтазам оксид шуда, баъдан дар 15 дақиқа раванд наздик ба сифр мешавад. Дар ин ҳолат бавучудоии пардаи муҳофизатии оксидӣ дида мешавад.

Қачхатҳои кинетикӣ оксидшавӣ дар меҳварҳои $(g/s)^2$ -t барои хӯлаҳои алюминий бо 0.01- 0.5%-и вазн никел дар расми 7 пешниҳод мешавад.



Расми 6 – Качхатҳои кинетикии оксидшавии алюминийи тамғаи А7 (а) ва хӯла, ки 0.01 (б) %-и вазн никел дорад, дар ҳолати сахт

Натиҷаҳои коркарди математикии качхатҳои мураббаъи оксидшавӣ барои хӯлаҳои системаи Al-Ni дар ҷадвали 8 оварда шудааст. Дида мешавад, ки полиномаҳои качхатҳои оксидшавии ҳосилнамуда аз механизми гиперболии оксидшавии хӯлаҳо шаҳодат медиҳад, зеро дар муодилаи $y=kx^n$ қимати n ташкил медиҳад $n=3\div 9$.



Расми 7 – Качхатҳои кинетикии мураббаъи оксидшавии алюминийи тамғаи А7(а) ва хӯла, ки 0.01(б) %-и вазн никел дорад, дар ҳолати сахт

Изохронаҳои оксидшавии хӯлаҳо ҳангоми 10 ва 20 дақиқаи оксидшавӣ ва ҳарорати 673K дар расми 8 оварда шудааст. Дида мешавад, ки бо афзоиши миқдори никел вазни хӯлаҳо кам мегардад, вале қиматҳои энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ афзоиш меёбад.

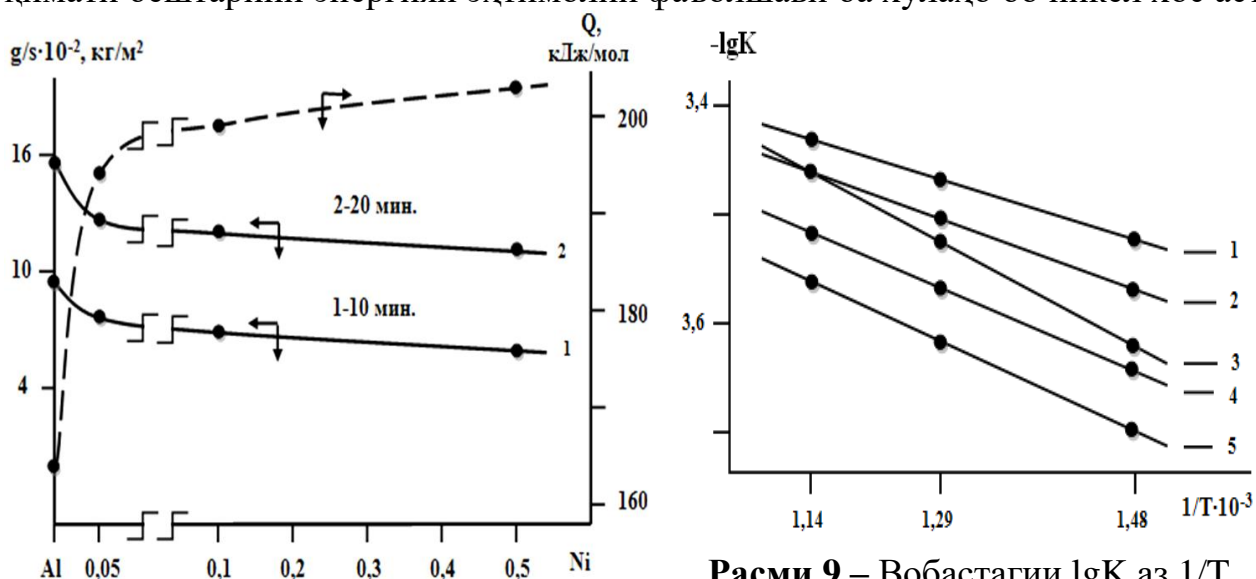
Вобастагии $\lg K - 1/T$ барои хӯлаҳои алюминий бо никел, ки дар расми 9 оварда шудааст, нишон медиҳад, ки қимати камтарини $\lg K$ ба хӯла хос аст, ки дар таркибаш 0.5% никел дорад ва қимати камтарини суръати оксидшавӣ ба $2.87 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ҳангоми 873K баробар мешавад. Ба дигар хӯлаҳо қимати бештарини суръати оксидшавӣ нисбат ба хӯлаи алюминий бо 0,5%-и никел хос аст.

Чадвали 8 – Натиҷаҳои коркарди математикии қачхатҳои мураббаи оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо никел, дар ҳолати саҳт

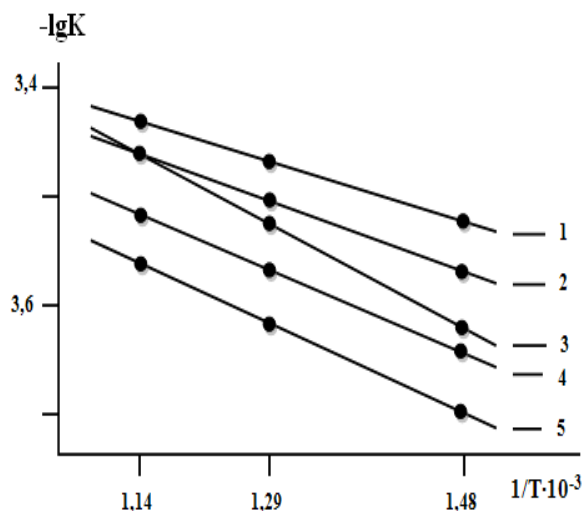
Миқдори никел дар алюминий, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои қачхатҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Зариби коррелятсия R
0.0	673	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^4 + 0,000 x^3 - 0,039 x^2 + 0,972 x$	0,992
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9} x^4 + 0,000 x^3 - 0,037 x^2 + 1,191 x$	0,991
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-1} x^4 - 0,5 \cdot 10^{-6} x^3 - 0,038 x^2 + 1,384 x$	0,994
0.01	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001 x^3 - 0,008 x^2 + 0,928 x$	0,990
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 + 0,002 x^2 + 1,016 x$	0,995
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 - 0,002 x^2 + 1,209 x$	0,997
0.05	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 - 0,002 x^2 + 1,209 x$	0,991
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-5} x^4 - 0,002 x^3 + 0,019 x^2 + 0,92 x$	0,995
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 - 0,001 x^2 + 1,204 x$	0,998
0.1	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 + 0,004 x^2 + 0,923 x$	0,994
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 + 0,006 x^2 + 1,039 x$	0,998
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001 x^3 - 0,000 x^2 + 1,219 x$	0,999
0.5	673	$y = -0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001 x^3 + 0,000 x^2 + 0,868 x$	0,991
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 + 0,010 x^2 + 0,965 x$	0,996
	873	$y = -0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,001 x^3 - 0,000 x^2 + 1,193 x$	0,998

у -вазни хӯлаҳо; х* - давомнокии вақти оксидшавӣ.

Дар чадвали 9 бузургиҳои энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳо, ки бо никел, мис ва руҳ бо консентратсияҳои гуногун ҷавҳаронида шудааст, оварда шудааст. Дар байни элементҳои ҷавҳаронӣ қимати бештарини энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ ба хӯлаҳо бо никел хос аст.



Расми 8 – Изохронаҳои оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо никел ҳангоми ҳарорати 673К.



Расми 9 – Вобастагии $\lg K$ аз $1/T$ барои хӯлаҳои системаҳои Al-Ni, %-и вазн Ni: 0.0(1); 0.01(2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5).

Ҷадвали 9 – Вобастагии энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳои системаҳои Al-Ni, Al-Cu ва Al-Zn, дар ҳолати саҳт

Миқдори Ni, Cu ва Zn дар алюминий, %-и вазн	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
Al + Ni	164,4	189,5	194,8	199,0	203,3
Al + Cu		178,1	185,9	191,7	197,0
Al + Zn		169,6	174,9	178,0	183,1

Дар асоси таҳқиқоти анҷомдодашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои алюминий, ки бо никел, мис ва руҳ чавҳаронида шудааст, дар ҳолати саҳт тағйирёбии нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавӣ аниқ карда шудааст.

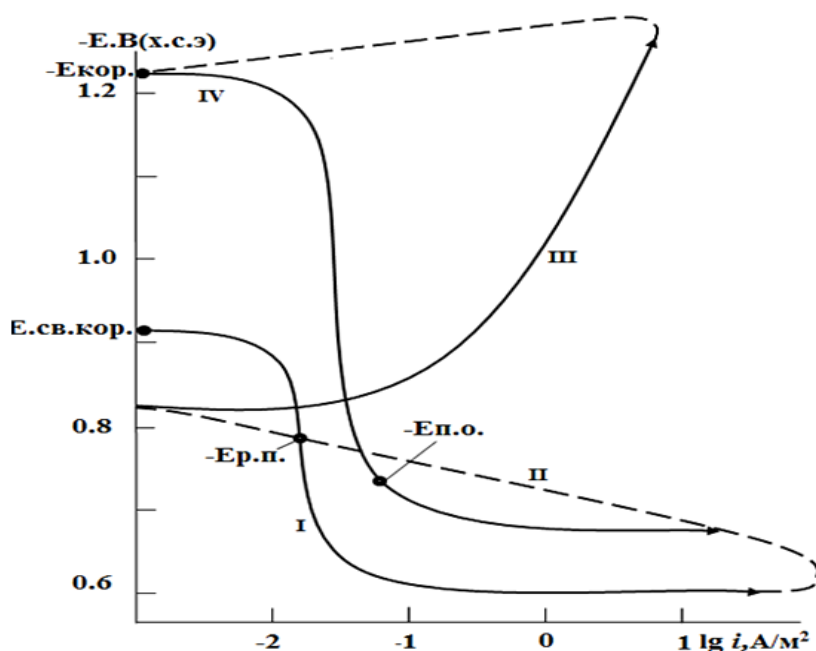
БОБИ 4. ТАҲҚИҚОТИ ПОТЕНСИОДИНАМИКИИ ХҶЛАҶОИ АЛЮМИНИИ ТАМҒАИ А7 БО НИКЕЛ, МИС ВА РУҶ, ДАР МУҶИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl

Барои таҳқиқоти электрохимиявии аз хӯлаҳои ҳосилнамудаи диаметраш 8 мм ва дарозии 140 мм дар қолаби графитӣ рехтагаришуда истифода намудем. Қисми ноқории намунаҳо бо омехтаи (50% канифол ва 50% парафин) мунзавӣ карда шуд. Қисми сатҳи кории электродро бо қоғази наждак тоза намуда, сайқал дода ва беравған гардонидем. Баъдан бо спирт шӯста ба электролити 0.03%, 0.3% ва 3% - и NaCl (ГОСТ 4233 – 77) ворид намудем.

Таҳқиқоти электрохимиявии хӯлаҳои ҳосилнамуда дар потенциостати ПИ – 50 – 1.1 бо барноманависи ПР – 8 ва худсабткуни ЛКД – 4 анҷом дода шуд. Ҷарорати маҳлул доимӣ 25°C бо ёрии термостат МЛШ – 8 нигоҳ дошта шуд. Натиҷаҳои ченкунии потенциали электродҳои ин ё ҳамон таркиб дар ҳудуди ± 10 мВ қайд карда шуд.

Ҷангоми сабти қачхатҳои потенциодинамикӣ ҳамчунин поляризацияи катодии сатҳи электрод барои несткунии оксидҳои сатҳи анҷом дода шуд. Дар зер усули сабти қачхатҳои потенциодинамикии хӯлаҳо дар муҳити электролити NaCl оварда шудааст. Ҷангоми таҷрибаҳои электрохимиявӣ намунаҳоро потенциодинамикӣ ба самти мусбии қиматҳо поляризация намудем, шурӯъ аз потенциали ҷангоми воридкунии электрод ба электрод аниқ карда шудааст, то зуд афзоиши барқ дар натиҷаи питтингҳосилшавӣ (расми 10, қачхати I). Баъдан намунаҳоро ба самти бараксии он поляризация намудем (расми 10, қачхатҳои II ва III) то потенциали (-1,300 В), дар натиҷа ҳалшавии пардаи оксидӣ ба вуҷуд омад. Дар охир, намунаҳоро аз нав ба самти мусбии қиматҳои потенциал поляризация намудем, қачхатҳои поляризацияи анодии хӯлаҳоро ҳосил намудем (расми 10, қачхати IV). Ҷар чор қачхатҳои потенциодинамикии хӯлаҳои алюминий, ки дар муҳити 3%-ноги NaCl сабт шуданд, дар расми 10 оварда шудааст. Қачхати рафти баргашт дар хати поляризацияи бо хатча-хатчаҳо нишон дода шудааст.

Аз рӯйи рафти қачхатҳои поляризатсияи пурра нишондиҳандаҳои электрохимиявии зеринро муайян намудем: $-E_{ст.}$ ё $-E_{св.кор.}$ — потенциали статсионарӣ ё потенциали коррозияи озод; $-E_{рп.}$ — потенциали репассиватсия; $-E_{п.о.}$ — потенциали питтингҳосилшавӣ; $-E_{кор.}$ — потенциали коррозия; $-i_{кор.}$ — зичии ҷараён.



Расми 10 – Қачхати пурраи поляризатсионии (2мВ/с) алюминийи тамғаи А7, дар муҳити электролити 3%-и NaCl

Бо назардошти он, ки дар муҳитҳои нейтралӣ раванди коррозияи алюминий ва ҳулаҳои он бо реаксияи катодии ионизатсияи оксиген, ҳисобкунии ҷараёни коррозия бо шохаҳои катодии қачхатҳои потенциодинамикӣ бо дарназардошти константаи тафелии баробар ба $v_k = 0,12V$ анҷом дода шуд.

Суръати коррозия (K) аз рӯйи ҷараёни коррозия ($i_{кор.}$) бо муодилаи $K = i_{кор.} \cdot k$ муайян карда шуд, дар ин ҷо $k = 0.335$ г/А·соат барои алюминий.

Хоситҳои коррозсионӣ-электрохимиявии ҳулаҳои алюминий бо никелро дар муҳити электролити NaCl бо консентратсияҳои гуногун дар ҷадвали 10 оварда шудааст. Камҷавҳаронии алюминий бо никел қобилияти майлдиҳии потенциали коррозияи озодро ба самти мусбӣ қиматҳо дар ҳама се муҳитҳои омӯхташудаи электролити NaCl зоҳир менамояд.

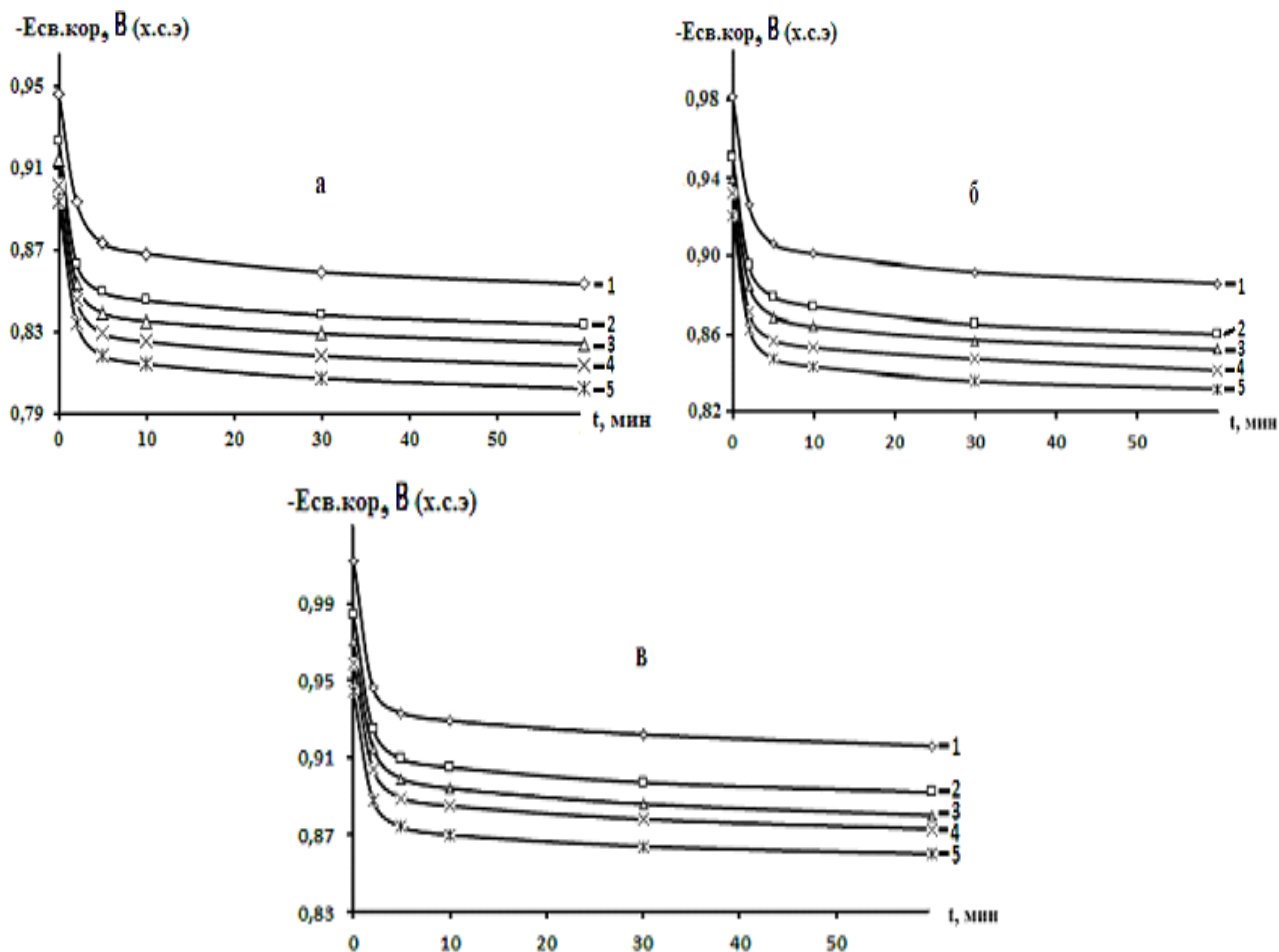
Потенсиали коррозияи озод барои ҳулаҳои бо никел ҷавҳаронидашуда дар муқоиса ба алюминийи аввалия нисбатан зуд ба самти мусбӣ майл менамояд. Дар расми 11 қимати потенциалҳо нисбати электроди муқоисавии хлорид-нукрагӣ (х.н.э.) оварда шудааст. Дида мешавад, ки аз рӯйи вақти нигоҳдорӣ ва консентратсияи никел дар алюминий потенциали коррозияи озод ба самти мусбӣ қиматҳо майл менамояд.

Аз чадвали 10 бармеояд, ки бо афзоиши консентратсияи никел дар алюминийи тамғаи А7 ва камшавии консентратсияи хлорид-ион дар электролит, потенциалҳои коррозия, питтингҳосилшавӣ ва репассиватсия ба самти қиматҳои бештарини мусбӣ майл менамоянд. Афзоиши консентратсияи никел дар алюминий қобилияти камшавии суръати коррозияи онро дар ҳама муҳитҳои таҳқиқшуда зоҳир менамояд (расми 12). Дар ин ҳолат, афзоиши миқдори хлорид-ионҳо дар электролит қобилияти афзоиши суръати коррозияи ҳӯлаҳоро зоҳир менамояд (расми 13). Дар расми 12 вобастагии суръати коррозияи алюминийи тамғаи А7 аз миқдори никел оварда шудааст. Чавҳаронидани алюминий бо никел суръати коррозияи алюминийро то 20-30% кам менамояд. Афзоиши консентратсияи электролити NaCl қобилияти зиёдшавии суръати коррозияи ҳӯлаҳоро новобаста аз таркиби онҳо зоҳир менамояд (расми 13).

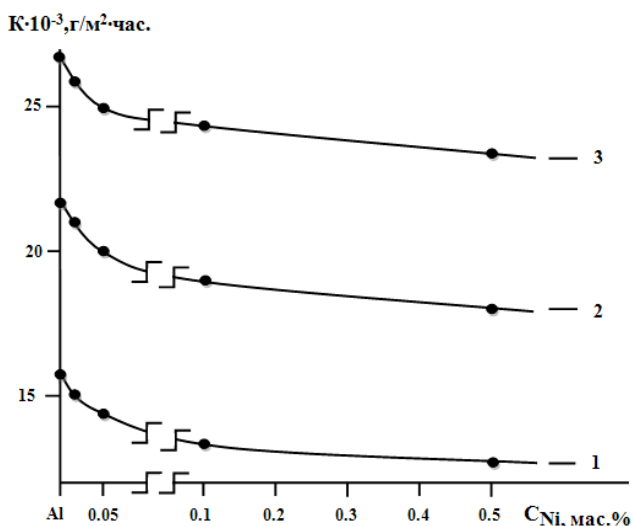
Чадвали 10 – Хосиятҳои коррозийон-электрохимиявии ҳӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, дар муҳити электролити NaCl. Суръати тобиши потенциал 2мВ/с

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори никел дар алюминий, %-и вазн	Потенциали электрохимиявӣ, В (х.н.э.)				Суръати коррозия	
		-E _{св.кор.}	-E _{корр.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{корр.} · 10 ² , А/м ²	K · 10 ³ , г/м ² ·соат
0,03	-	0,853	1,097	0,596	0,716	0,047	15,74
	0.01	0,840	1,085	0,587	0,710	0,045	15,07
	0.05	0,832	1,070	0,575	0,705	0,043	14,40
	0.1	0,824	1,052	0,562	0,705	0,040	13,04
	0.5	0,814	1,037	0,549	0,700	0,038	12,73
0,3	-	0,886	1,172	0,675	0,764	0,065	21,77
	0.01	0,870	1,165	0,661	0,758	0,063	21,10
	0.05	0,861	1,149	0,650	0,750	0,060	20,10
	0.1	0,850	1,132	0,643	0,750	0,057	19,09
	0.5	0,843	1,120	0,637	0,748	0,054	18,09
3,0	-	0,916	1,232	0,730	0,792	0,080	26,80
	0.01	0,900	1,221	0,718	0,783	0,078	26,13
	0.05	0,890	1,212	0,710	0,774	0,075	25,12
	0.1	0,881	1,200	0,700	0,766	0,073	24,45
	0.5	0,869	1,192	0,693	0,762	0,070	23,45

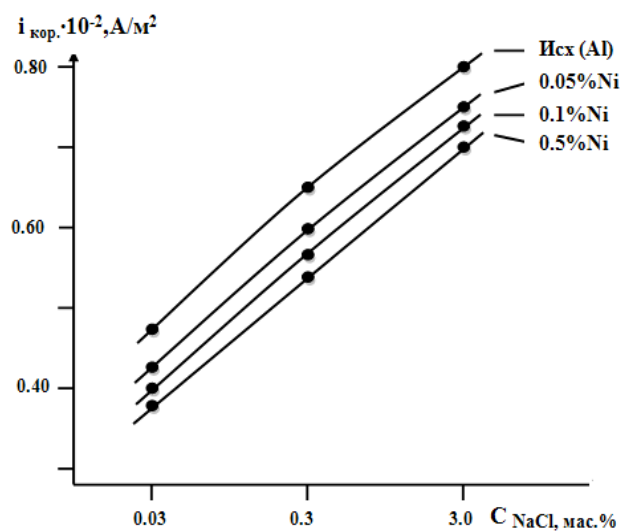
Дар чадвалҳои 11 ва 12 натиҷаҳои таҳқиқоти рафтори анодии ҳӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ оварда шудааст. Потенциали коррозияи ҳӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ бо афзоиши консентратсияи онҳо ба самти мусбӣ хати меҳвар майл менамояд. Ҳангоми гузариш аз электролити заиф ба электролити қавӣ камшавии бузургиҳои потенциали коррозияи озод новобаста аз миқдори компоненти чавҳаронӣ дида мешавад.



Расми 11 – Вобастагии потенциали (х.н.э.) коррозияи озоди (-Есв.кор., В) алюминийи тамғаи А7 (1), ки никел дорад, аз вақт, %-и вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5), дар муҳити электролити 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3% - и (в) NaCl



Расми 12 – Вобастагии суръати коррозияи алюминийи тамғаи А7 аз концентратсияи никел, дар муҳити электролити 0,03%(1); 0,3%(2) ва 3,0%-и (3) NaCl



Расми 13 – Вобастагии зичии ҷараёни коррозияи алюминийи тамғаи А7 (1), ки никел дорад, %-и вазн: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5) аз концентратсияи NaCl

Чадвали 11 – Потенциалҳои (х.н.э.) коррозияи озоди ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) ва питтингҳосилшавии ($-E_{\text{п.о.}}$, В) хӯлаҳои алюминий бо Ni, Cu ва Zn, дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори Ni, Cu ва Zn дар алюминий, %-и вазн	Хӯлаҳо бо Ni		Хӯлаҳо бо Cu		Хӯлаҳо бо Zn	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
0.03	-	0,853	0,596	0,853	0,596	0,853	0,596
	0.01	0,840	0,587	0,833	0,574	0,825	0,563
	0.05	0,832	0,575	0,824	0,560	0,814	0,549
	0.1	0,824	0,562	0,813	0,547	0,801	0,536
	0.5	0,814	0,549	0,802	0,532	0,790	0,521
0.3	-	0,886	0,675	0,886	0,675	0,886	0,675
	0.01	0,870	0,661	0,860	0,648	0,850	0,639
	0.05	0,861	0,650	0,852	0,636	0,842	0,628
	0.1	0,850	0,643	0,841	0,622	0,830	0,613
	0.5	0,843	0,637	0,832	0,610	0,821	0,600
3.0	-	0,916	0,730	0,916	0,730	0,916	0,730
	0.01	0,900	0,718	0,892	0,705	0,881	0,694
	0.05	0,890	0,710	0,880	0,682	0,870	0,672
	0.1	0,881	0,700	0,873	0,664	0,858	0,655
	0.5	0,869	0,693	0,860	0,646	0,847	0,638

Чадвали 12 – Вобастагии зичии ҷараёни коррозия ва суръати коррозияи хӯлаҳои алюминий бо Ni, Cu ва Zn, дар муҳити электролити NaCl

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори Ni, Cu ва Zn дар алюминий, %-и вазн	Суръати коррозия					
		Хӯлаҳо бо Ni		Хӯлаҳо бо Cu		Хӯлаҳо бо Zn	
		$i_{\text{кор.}} \cdot 10^3, \text{ A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^3, \text{ A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^3, \text{ A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$
0.03	-	0,047	15,74	0,047	15,74	0,047	15,74
	0.01	0,045	15,07	0,044	14,74	0,041	13,73
	0.05	0,043	14,40	0,041	13,73	0,039	13,06
	0.1	0,040	13,04	0,039	13,06	0,037	12,39
	0.5	0,038	12,73	0,036	12,06	0,035	11,72
0.3	-	0,065	21,77	0,065	21,77	0,065	21,77
	0.01	0,063	21,10	0,062	20,77	0,061	20,43
	0.05	0,060	20,10	0,059	19,76	0,058	19,43
	0.1	0,057	19,09	0,056	18,76	0,055	18,42
	0.5	0,054	18,09	0,053	17,75	0,052	17,42
3.0	-	0,080	26,80	0,080	26,80	0,080	26,80
	0.01	0,078	26,13	0,076	25,46	0,075	25,12
	0.05	0,075	25,12	0,074	24,79	0,073	24,45
	0.1	0,073	24,45	0,071	23,78	0,072	24,12
	0.5	0,070	23,45	0,069	23,11	0,068	22,78

Инак, бо афзоиши концентратсияи хлорид-ионҳо потенциали коррозияи озоди алюминийи аввалия аз -0.853 В дар муҳити 0.03% -и NaCl то -0.916 В дар муҳити 3.0% -и NaCl кам мешавад. Афзоиши концентратсияи компоненти чавҳаронӣ қобилияти зиёдшавии бузургиҳои потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ва репассиватсияро дар ҳама муҳитҳо новобаста аз концентратсияи хлорид-ионҳо кам менамояд. Вобастагии аниққардашуда барои хӯлаҳои алюминий бо Ni, Cu ва Zn мансуб аст. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис ва руҳ потенциали коррозияи озод зиёд мешавад. Потенциали питтингҳосилшавӣ ҳамчунин ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис ва руҳ тағйир меёбад (ҷадвали 11).

Бо афзоиши концентратсияи хлорид-ионҳо зичии чараёни коррозия кам мегардад, мутаносибан низ суръати коррозияи хӯлаҳои алюминий бо Ni, Cu ва Zn. Вобастагии мазкур барои ҳама хӯлаҳо новобаста аз таркиби онҳо ва муҳимияти хосияти физикавӣ-химиявии компоненти чавҳаронӣ хос аст. Камшавии суръати коррозия ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба мис ва руҳ мушоҳида мегардад. Барои алюминий ҳамчунин афзоиши суръати коррозия бо зиёдшавии концентратсияи хлорид-ионҳо дар электролит хос аст (ҷадвали 12).

Ҳамин тавр, аниқ қарда шудааст, ки устувории анодии алюминийи А7Е ҳангоми чавҳаронидани он то 0.5% -и вазн никел, мис ва руҳ, дар муҳити электролити NaCl то 30-40% афзоиш меёбад.

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмӣ таҳқиқот.

1. Дар речаи «хунуккунӣ» таҳқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ анҷом дода шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши концентратсияи компоненти чавҳаронӣ ва ҳарорат гармиғунҷоиши хӯлаҳо зиёд мешавад. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис бузургии гармиғунҷоиш зиёд гардида, баъдан ба хӯлаҳо бо руҳ кам мешавад [1, 8-М].

2. Таҳқиқоти вобастагии ҳароратии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ нишон дода шудааст, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис бузургиҳои энталпия ва энтропия зиёд гардида, вале ба хӯлаҳо бо руҳ кам мешавад. Бо афзоиши ҳарорат энталпия ва энтропияи хӯлаҳо афзуда, қимати энергияи Гиббс кам мегардад [1, 8-М].

3. Бо усули термогравиметрӣ таҳқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ анҷом дода шудааст. Аниқ қарда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонунияти гипербола бо суръати ҳақиқии оксидшавии тартиби 10^{-4} кг·м⁻²·с⁻¹ итоат менамояд; маълум қарда шудааст, ки қимати камтарини суръати оксидшавӣ барои хӯлаҳои алюминий бо руҳ хос буда, вале қимати максималии он ба хӯлаҳо бо никел мансуб мебошад. Дар байни хӯлаҳои системаҳои Al- Ni (Cu, Zn) қимати бештарини энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ барои хӯлаҳо бо мис хос аст [2, 7-М].

4. Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати тобиши потенциал 2 мВ/с таҳқиқоти рафтори анодии хӯлаҳои алюминий, ки бо

никел, мис ва руҳ анҷом дода шудааст. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои компоненти ҷавҳаронӣ аз 0.01 то 0.5%-и вазн то 30-40% устувории коррозияи хӯлаҳои алюминийро дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl афзоиш менамояд [3, 9, 10-М].

5. Вобастагҳои аниққардашуда барои хӯлаҳои алюминий бо Ni, Cu ва Zn хос аст. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис ва руҳ потенциали коррозияи озод зиёд мешавад. Ҳаммонанди ин тавр ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис ва руҳ потенциали питтингҳосилшавӣ тағйир меёбад. Бо афзоиши концентратсияи хлорид-ионҳо зичии ҷараёни коррозия зиёд мегардад ва мутаносибан суръати коррозияи хӯлаҳои алюминий бо никел, мис ва руҳ низ зиёд мешаванд. Вобастагии мазкур барои ҳама хӯлаҳо новобаста аз таркиби онҳо ва муҳимияти ҳосияти физикавӣ-химиявӣ компоненти ҷавҳаронӣ мансуб аст. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо никел ба хӯлаҳо бо мис ва руҳ камшавии суръати коррозия мушоҳида мегардад. Барои алюминий ҳамчунин афзоиши суръати коррозия бо зиёдшавии концентратсияи хлорид-ионҳо дар электролит хос аст [3, 9-М].

6. Дар асоси таҳқиқоти иҷронамуда таркиби нави хӯлаҳо коркард шудааст, ки бо 3 Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд [4, 5, 6-М].

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ.

1. Нишондиҳандаҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва руҳ барои иловакунӣ ба ҷадвалҳои маълумоти мувофиқ тавсия мешаванд.

2. Хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои ҳосилкунии онҳо ба муассисаҳои саноати тобеи Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон барои истифода пешниҳод мешаванд.

3. Хӯлаҳо ба сифати ноқилҳои барқгузарон ба соҳаи саноати электротехникӣ тавсия мешаванд.

НАТИҶАҲОИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН ДАРҶ ЁФТААНД

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

[1-М]. Ганиев, И.Н. Влияние добавок меди на теплоемкость и термодинамические функции алюминия марки А7 / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Х.О. Одиназода, А.Г. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. -2020. -№ 2. -С. 4-12 (**Scopus**).

Ganiev, I.N. Influence of copper additives on heat capacity and thermodynamic functions of A7 brand aluminum / I.N. Ganiev, **A.R. Rashidov**, H.O. Odinizoda, A.G. Safarov, J.H. Jayloev // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. -2020. -Vol. 61. -No. 4. -pp. 397-403.

[2-М]. Ганиев, И.Н. Кинетику окисления сплавов алюминия с никелем, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, **А.Р. Рашидов**, У.Ш. Якубов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета

технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. -2020. -№ 1. -С. 104-108.

[3-М]. Ганиев И.Н. Электрохимическая коррозия проводникового алюминия, легированного медью, в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Ф.А. Алиев, Ё.Ч. Холов, А.П. Абдулаков // Вестник Казанского технологического университета. -2019. -Т. 22. -№ 9. -С. 56-60.

Ихтироот аз рӯи мавзӯи рисола:

[4-М]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1058. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, Ф.А. Алиев, А.П. Абдулаков, А.М. Сафаров, **А.Р. Рашидов**, Ё.Ч. Холов, Ф.С. Давлатзода // №1901336; заявл. 02.05.2019, опубл. 14.02.2020.

[5-М]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1059. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Ф.З. Зувадуллозода, А.М. Сафаров, Ф.А. Алиев, А.П. Абдулаков, Ё.Ч. Холов // №1901306; заявл. 25.07.2019, опубл. 14.02.2020.

[6-М]. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 1099. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, А.П. Абдулаков, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, Н.И. Ганиева, Ф.А. Алиев, Ё.Д. Холов // №2001416; заявл. 12.03.2020, опубл. 24.06.2020.

Мақолаҳои дар маводҳои конфронси байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашришуда:

[7-М]. Ганиев, И.Н. Особенности окисления алюминия, легированного никелем, в твердом состоянии / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, **А.Р. Рашидов**, У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиева // VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ. Душанбе. - 2020. -С.

[8-М]. Ганиев, И.Н. Термодинамические функции сплавов системы Al-Cu / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Х.О. Одиназода, А.Г. Сафаров, Дж.Х. Джайлоев // VII Межд. конф. «Современные проблемы физики». Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАНТ. Душанбе. -2020. -С.

[9-М]. **Рашидов, А.Р.** Влияние добавок меди на анодное поведение проводникового алюминия, в среде электролита 0.3%-ного NaCl / А.Р. Рашидов, Х.О. Одиназода, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научн-прак. конф. «Инновационное развитие науки», с участием международных организации, НАНТ.- 2020.- С.

[10-М]. Ганиев, И.Н. Коррозионно-электрохимическое поведение проводникового алюминия с никелем, в среде 0.03%-ного NaCl / И.Н. Ганиев, **А.Р. Рашидов**, Дж.Х. Джайлоев, А.П. Абдулаков, Ф.А. Алиев, Ё.Ч. Холов // Рес. научн-прак. конф. «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвя. “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук”, Горно-металлургический институт Таджикистана. Бустон. -2020. -С. 24-27.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Рашидов Акрам Рачабович

дар мавзӯи «Хосиятҳои хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух» барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника)

Калимаҳои калидӣ: хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух, гармиғунҷоиш, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, энергияи ғаболшавӣ, усули потенциостатикӣ, потенциалҳои озоди коррозия, питтингҳосилшавӣ ва репассиватсия, суръати коррозия.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда. Маводи таҳқиқот ин хӯлаи алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух мебошад. Таҳқиқот бо ҷенкунии гармиғунҷоиш дар речаи «хунуккунӣ», термогравиметрӣ, металлографӣ, рентгенофазавӣ, ИК-спектроскопӣ ва потенциостатикӣ (Потенсиостат ПИ-50.1.1) гузаронида шудааст.

Мақсади таҳқиқот ин аниқкунии хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух мебошад, ки ба сифати маводи ноқилӣ барои ниёзи соҳаҳои саноати электротехникӣ пешниҳод мешаванд.

Натиҷаҳои ҳосилшуда ва навоғонҳои онҳо. Қонуниятҳои асосии тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух дар вобастагӣ аз ҳарорат ва миқдори компоненти ҷавҳаронӣ аниқ карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух зиёд мешаванд, аммо энергияи Гиббс кам мешавад. Бо зиёдшавии ҳиссаи никел, мис ва рух дар алюминий тағйирёбии энталпия ва энтропия афзоиш меёбад, вале энергияи Гиббс кам мегардад. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух дар ҳолати сах зиёд мешавад. Иловаҳои никел то 0,5 %-вазн устувории алюминийро ба оксидшавӣ зиёд мекунад, вале иловаҳои мис ва рух онро кам менамоянд. Мутаносибан, энергияи эҳтимолии ғаболшавӣ ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои никел ба хӯлаҳои мис ва рух – кам мегарданд. Доимии суръати оксидшавӣ тартиби 10^{-4} кг/м²·с⁻¹ -ро дорад. Аниқ карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух ба қонунияти гиперболий иттиҳот менамоянд. Бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ ҳангоми суръати тобиши потенциал 2 мВ/с аниқ карда шудааст, ки иловаҳои компонентҳои ҷавҳаронӣ то 0,5%-и вазн устувории коррозсионии хӯлаҳои алюминий ба 30-40% зиёд мекунад. Ҳангоми ин майлдиҳии потенциали коррозияи хӯлаи аввалия ба самти мусбат қайд карда мешавад, вале потенциалҳои питтингҳосилшавӣ ва репассиватсия – ба самти манфии хати меҳвар майл менамоянд. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои бо никел ба хӯлаҳои бо мис ва рух суръати коррозия кам мешавад.

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ: нишондиҳандаҳои физикавӣ-химиявӣ хӯлаҳои алюминийи тамғаи А7 бо никел, мис ва рух барои иловакунӣ ба ҷадвалҳои маълумоти мувофиқ тавсия дода мешаванд; хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои ҳосилкунии онҳо ба муассисаҳои саноати тобеи Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон барои истифода пешниҳод мешаванд; хӯлаҳо ба сифати ноқилҳои барқгузарон ба соҳаи саноати электротехникӣ тавсия мешаванд.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати электротехника.

АННОТАЦИЯ

**диссертации Рашидова Акрама Раджабовича на тему
«Свойства сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)**

Ключевые слова: сплавы алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком, теплоемкость, энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, термогравиметрический метод, кинетика окисления, энергия активации, потенциостатический метод, потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации, скорость коррозии.

Объекты и методы исследования, использованная аппаратура. Объектом исследования служил сплав алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком. Исследования проводились измерением теплоемкости в режиме «охлаждения», термогравиметрическим, металлографическим, рентгенофазовым, ИК-спектроскопическим, потенциостатическим (Потенциостат ПИ-50.1.1) методами.

Целью исследования является установление термодинамических, кинетических и анодных свойств сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком, предназначенных в качестве проводникового материала для нужд электротехнической отрасли промышленности.

Полученные результаты и их новизна. Установлены основные закономерности изменения теплоемкости и термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком в зависимости от температуры и количества легирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается. С увеличением доли никеля, меди и цинка в алюминии изменений энтальпии и энтропии растут, а энергия Гиббса уменьшается. Показано, что с ростом температуры скорость окисления сплавов алюминия с никелем, медью и цинком, в твердом состоянии увеличивается. Добавки никеля до 0,5 мас.% увеличивает устойчивость алюминия к окислению, а добавки меди и цинка снижают его. Соответственно, кажущаяся энергия активации при переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком - уменьшается. Константа скорости окисления имеет порядок 10^{-4} кг/м²·с⁻¹. Установлено, что окисление сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком подчиняется гиперболическому закону. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки легирующих компонентов до 0,5 мас.% увеличивают коррозионную стойкость сплавов алюминия на 30-40%. При этом отмечается сдвиг потенциала коррозии исходного сплава в положительную область, а потенциалы питтингообразования и репассивации – в отрицательном направлении оси ординат. При переходе от сплавов с никелем к сплавам с медью и цинком уменьшается скорость коррозии.

Рекомендации по практическому использованию результатов: установленные физико-химические параметры сплавов алюминия марки А7 с никелем, медью и цинком рекомендуются для пополнения страниц соответствующих справочников; разработанные сплавы и способы их получения рекомендуются для использования предприятиями промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан; сплавы в качестве проводников тока предлагаются электротехнической отрасли промышленности.

Область применения: электротехническая промышленность.

ANNOTATION

**dissertation Rashidov Akram Rajabovich on the topic
"Properties of alloys of aluminum grade A7 with nickel, copper and zinc",
submitted for the degree of candidate of technical sciences, specialty
05.02.01 - Materials science (in electrical engineering)**

Key words: alloys of A7 grade aluminum with nickel, copper and zinc, heat capacity, enthalpy, entropy, Gibbs energy, thermogravimetric method, oxidation kinetics, activation energy, potentiostatic method, potentials of free corrosion, pitting and repassivation, corrosion rate.

Objects and research methods, equipment used. The object of the study was an alloy of A7 grade aluminum with nickel, copper and zinc. The investigations were carried out by measuring the heat capacity in the "cooling" mode, thermogravimetric, metallographic, X-ray phase, IR spectroscopic, potentiostatic (Potentiostat PI-50.1.1) methods.

The aim of the work is to establish the thermodynamic, kinetic and anodic properties of alloys of A7 grade aluminum with nickel, copper and zinc, intended as a conductive material for the needs of the electrical industry.

Obtained results and their novelty. The main regularities of changes in the heat capacity and thermodynamic functions (enthalpy, entropy and Gibbs energy) of alloys of A7 grade aluminum with nickel, copper and zinc, depending on the temperature and the amount of the alloying component, have been established. It is shown that with an increase in temperature, the heat capacity, enthalpy, and entropy of alloys of A7 grade aluminum with nickel, copper and zinc increase, while the Gibbs energy decreases. With an increase in the proportion of nickel, copper and zinc in aluminum, the changes in enthalpy and entropy increase, while the Gibbs energy decreases. It is shown that with increasing temperature the rate of oxidation of alloys of aluminum with nickel, copper and zinc in the solid state increases. Nickel additives up to 0.5 wt% increase the oxidation resistance of aluminum, while copper and zinc additives reduce it. Accordingly, the apparent activation energy decreases when going from alloys with nickel to alloys with copper and zinc. The oxidation rate constant is of the order of $10^{-4} \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. It was found that the oxidation of alloys of aluminum grade A7 with nickel, copper and zinc obeys a hyperbolic law. The potentiostatic method in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV/s has established that the addition of alloying components up to 0.5 wt% increases the corrosion resistance of aluminum alloys by 30-40%. In this case, a shift in the corrosion potential of the initial alloy to the positive region is noted, and the potentials of pitting and repassivation - in the negative direction of the ordinate axis. When going from alloys with nickel to alloys with copper and zinc, corrosion rates decrease.

Recommendations for the practical use of the results: the established physical and chemical parameters of A7 aluminum alloys with nickel, copper and zinc are recommended for replenishing the pages of the corresponding reference books; 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; alloys are offered as current conductors to the electrical industry.

Application: electrical industry.

Разрешено в печать 14.10.2020 г., подписано в печать 25.10.2020 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