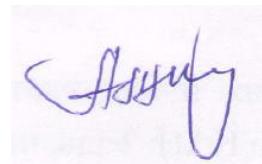


**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА**

На правах рукописи

УДК 620.193+669.715



АЛИЕВ Фирдавс Алиевич

**СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО
СПЛАВА Е-AlMgSi (АЛЬДРЕЙ) С ЭЛЕМЕНТАМИ
ПОДГРУППЫ ГАЛЛИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Душанбе – 2020

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

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

Научный консультант: доктор химических наук, профессор,
академик Национальной академии наук
Таджикистана
Ганиев Изатулло Наврузович

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

кандидат технических наук, доцент,
и.о. начальника УМО филиала Национального
исследовательского технологического
университета «МИС и С» в городе Душанбе
Бобоев Икром Рахмонович

Ведущая организация: Кулябский государственный университет
им. А. Рудаки

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

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

Автореферат разослан «___» _____ 2020 года

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



Махкамов X.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Задачи исследования:

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

Объекты, методы исследования и использованная аппаратура

Объекты исследования - алюминиевый проводниковый сплав E-AlMgSi («альдрей») состава Al+ 0.5Si+0,5Mg (мас%), а также металлические галлий, индий и таллий. Для исследуемого сплава измерены следующие показатели: теплоёмкости каждого сплава в режиме «охлаждения». Использованы потенциостатический (прибор ПИ-50.1.1), рентгенофазовый (РФА), металлографический и термогравиметрический методы анализа образцов сплавов. Полученные результаты обрабатывались математическими методами в программах Microsoft Excel и Sigma Plot 10.

Степень достоверности и апробация результатов

Степень достоверности работы обеспечена современными методами исследований, качественным соответствием полученных результатов с имеющимися в литературе экспериментальными данными и теоретическими представлениями.

Основные положения диссертации обсуждались на: Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы индустриализации Республики Таджикистан: проблемы и стратегии» (Душанбе, Технологический университет Таджикистана, 2019); Республиканской научной конференции «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан» (Душанбе, Технический колледж ТТУ им. М.С.Осими, 2019); Республиканской научно-практической конференции «Роль народного творчества в развитии и устойчивости национальной культуры», посвящённой объявлению 2019-2021 гг. годам развития деревни, туризма и народного творчества» (Душанбе, Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, 2019), Республиканской научно-практической конференции «Индустриализация - фактор развития экономики Республики Таджикистан» (Бустон, Горно-металлургический институт Таджикистана, 2020); Республиканской научно-практической конференции «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторождений полезных ископаемых», посвящённой 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Бустон, Горно-металлургический институт Таджикистана, 2020).

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

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

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

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

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

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

На защиту выносятся:

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

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

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

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

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

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликованы 7 работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан и 4 статей в материалах конференций, получен 2 малых патентов Республики Таджикистан.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа включает введение, четыре главы и приложения, изложена на 153 страницах компьютерного набора, включает 78 рисунков, 49 таблиц, 86 библиографических наименований.

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

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

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

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

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

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

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

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

Синтез сплавов проводилось в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 750 – 800 °C. В качестве шихты при получении сплава E-AlMgSi использовали алюминий марки А6, который дополнительно легировалось расчётным количеством кремния и магния. При легировании алюминия кремнием учитывалось имеющейся в составе первичного алюминия кремний (0.1 мас.%). Магний, завернутый в алюминиевой фольге, вводилось в расплав алюминия с помощью колокольчика. Металлические галлий, индий и таллий вводилось в расплав в завернутом в алюминиевой фольге виде. Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводились в Центральной заводской лаборатории ГУП “Таджикская алюминиевая компания”. Состав сплавов также контролировалось взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1-2% отн. синтез сплавов проводился заново. Далее из расплава удалялось шлак и производилось литьё образцов для исследования теплоемкости свойств, в графитовую изложницу. Образцы цилиндрической формы имели диаметр 16мм и длину 30мм.

Измерение теплоемкости проводилось на установке¹, схема которой представлена на рисунке 1. 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 вы сверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L»(7).

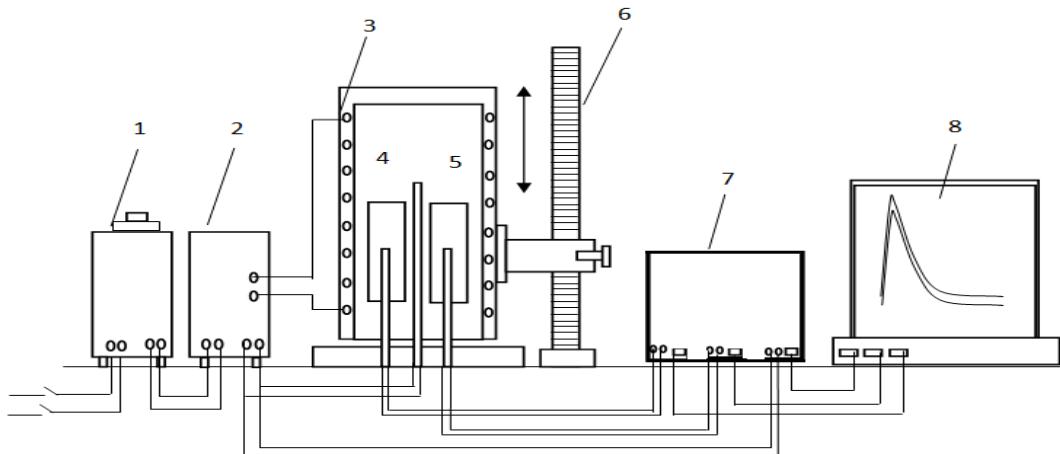


Рисунок 1 - Схема установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»

Электропечь запускается через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L», фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец и эталон в электропечь и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показания цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L» на компьютере (8). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208L» на компьютер через каждый 10с. до охлаждения температуры образца и эталона.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

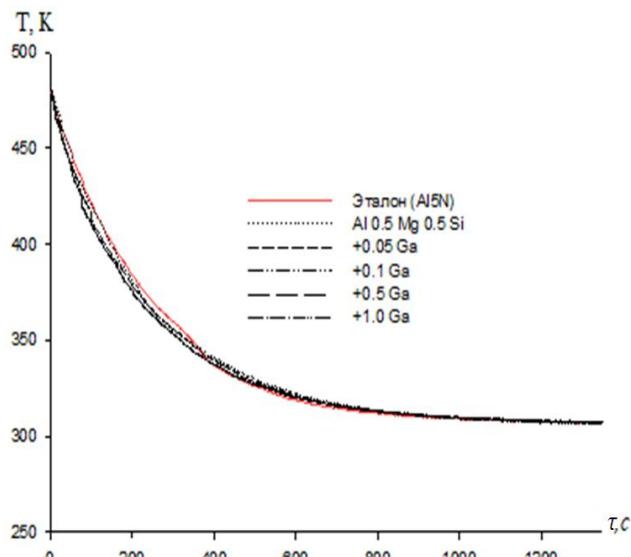


Рисунок 2 - График зависимости температуры от времени охлаждения для образцов из сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

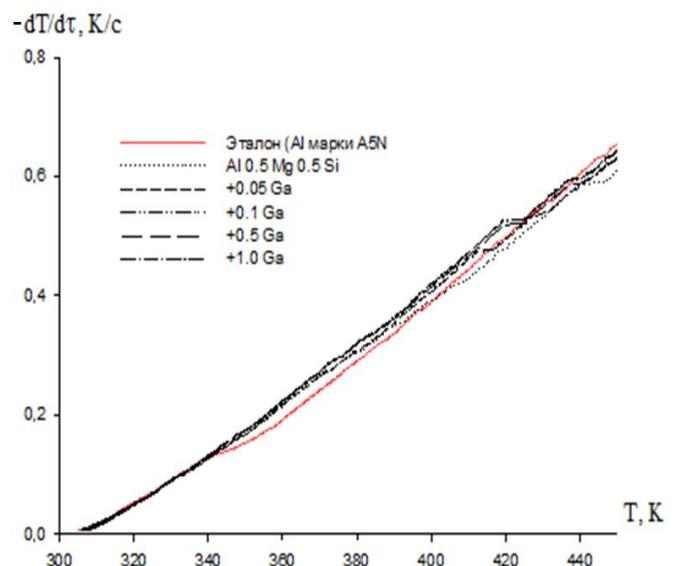


Рисунок 3 - Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 3 - Температурная зависимость удельной теплоёмкости $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ алюминиевого сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

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

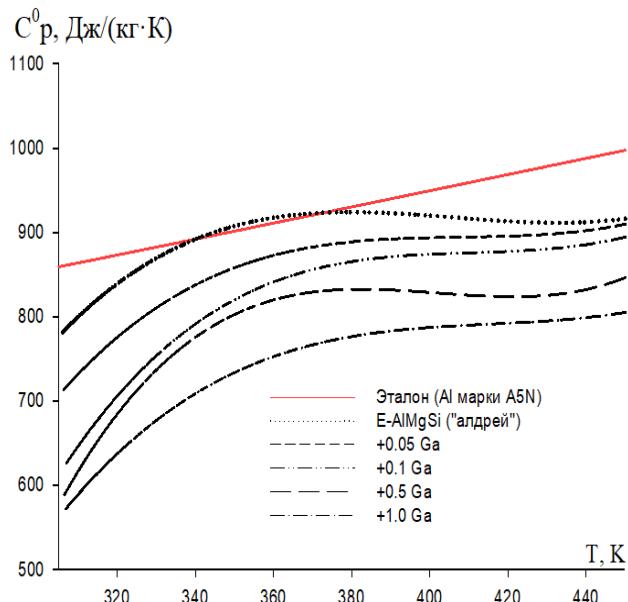


Рисунок 4 - Температурная зависимость удельной теплоемкости алюминиевого сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

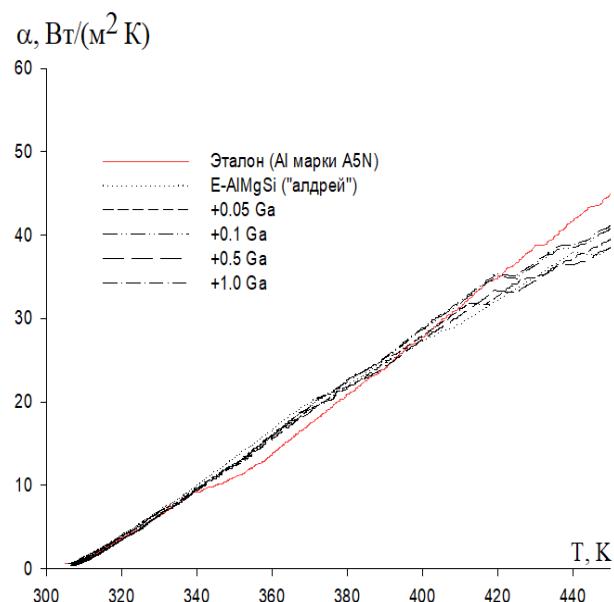


Рисунок 5 - Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

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

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

где: Т и T_0 – температура образца и окружающей среды; S, m - площадь поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для алюминиевого сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием представлена на рисунке 5.

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

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

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

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

где $T_0 = 298,15$.

Таблица 4 - Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием и эталона (Al марки A5N)

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

* $T_0 = 298.15$ K

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

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

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

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

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

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi (АЛЬДРЕЙ), ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ

Для определения скорости окисления чаще всего пользуются термогравиметрическим методом, который получил широкие применение при изучении кинетики окисления твёрдых и жидкких металлов. К достоинствам данного метода следует отнести относительную простоту аппаратурного оформления и возможности его использования для высоких температур ($>1773\text{K}$).

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

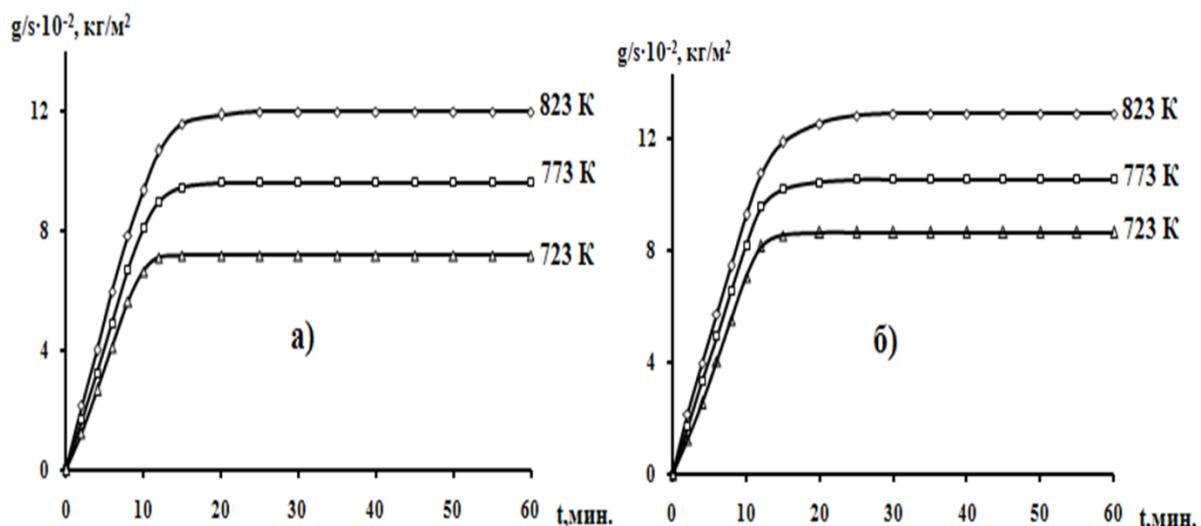


Рисунок 6 – Кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”) (а) с 0.05 мас.% галлием (б)

Истинная скорость окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”) в зависимости от температуры изменяется в пределах $2.67 \cdot 10^{-4}$ до $3.28 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}$. Кажущаяся энергия активации процесса окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости $\lg K_1/T$, составляет 149.0 кДж/моль (таблица 7).

Окисление алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”), содержащего 0.05 мас.% галлия, в твёрдом состоянии проводили при температурах 723К, 773К и 823К. Кинетические кривые окисления сплава приведены на рисунке 6б. Скорость окисления сплава в зависимости от времени и температуры незначительно увеличивается. Однако рост величины удельной массы образца к 20 минутам приобретает постоянное значение равное $3.34 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг}/\text{м}^2$ при 823К. Кажущаяся энергия активации процесса окисления составляет 120.3 кДж/моль (таблица 7).

Наблюдается медленное, но плавное нарастание толщины оксидной плёнки, которая при 20 минутах полностью предотвращает процесс окисления. По мере роста толщины оксидной плёнки скорость процесса окисления резко затормаживается, а с увеличением температуры растёт. При содержании 1.0 мас.% галлия при температуре 723К скорость окисления составляет $3.09 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹, то при 823К увеличивается до $3.66 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹, соответственно. Кажущаяся энергия активации при этом имеет величину 98.9 кДж/моль (таблица 7).

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

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

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

Приведенная на рисунке 8 зависимость $\lg K_1/T$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием, показывает, что процесс окисления с остоем температуры увеличивается.

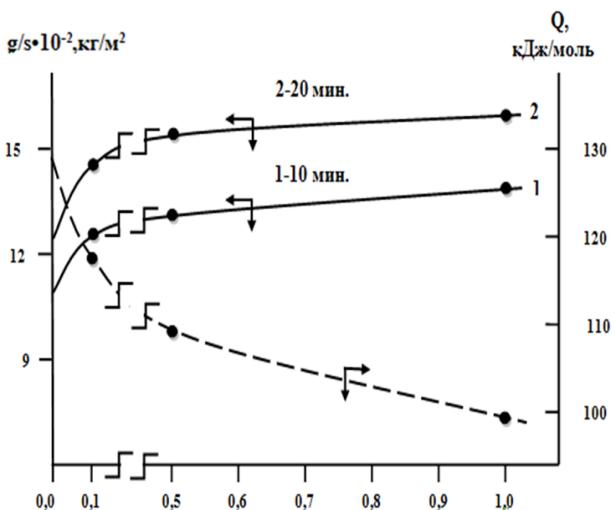


Рисунок 7 – Изохронны окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием при 823 К

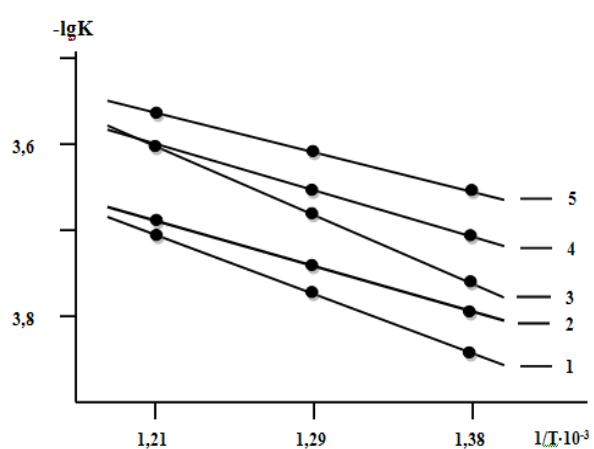


Рисунок 8 – Зависимость lgK от $1/T$ для алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”)(1), легированного галлием, мас.%: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5)

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

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

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

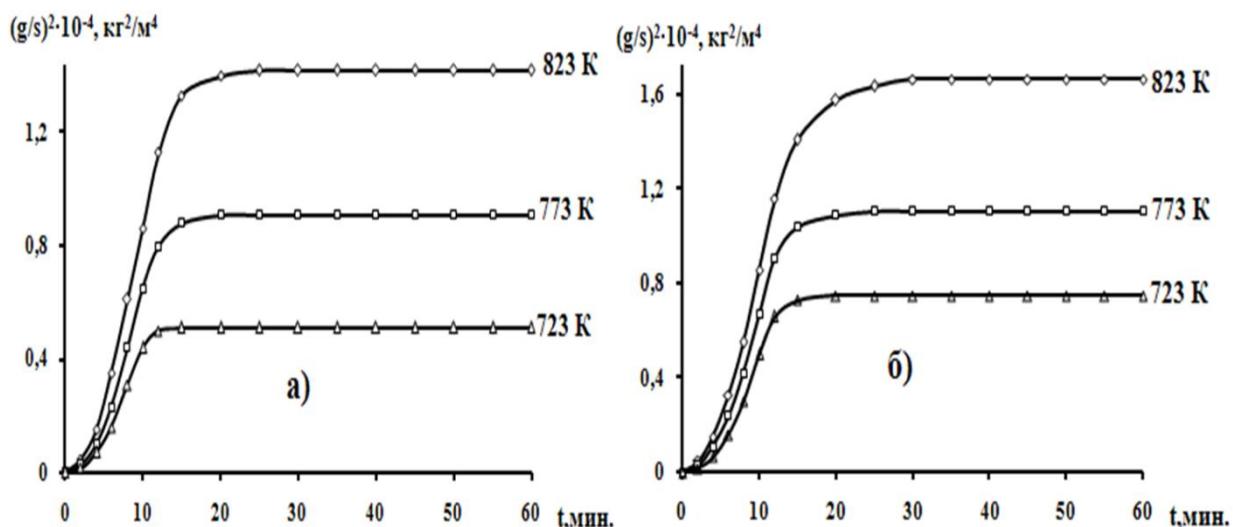


Рисунок 9 – Квадратические кинетические кривые окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”)(а) с 0,05(б) мас.% галлием

В таблице 9 обобщены величины кажущейся энергии активации процесса окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“альдрей”), легированного галлием, индием и таллием, различной концентрации. Среди легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации имеют сплавы с галлием.

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

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

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

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

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОВОДНИКОВОГО СПЛАВА E-AlMgSi (АЛЬДРЕЙ), ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Из полученных сплавов отливали в графитовую изложницу стержни диаметром 8мм и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная-20⁰C с помощью термостата MLШ-8.

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

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

$$K = i_{кор.} \cdot k,$$

где $k = 0.335 \text{ г}/\text{A} \cdot \text{час}$ для алюминия.

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

значений и одновременно с этим повышается стойкость сплавов к питтинговой коррозии.

Зависимость скорости коррозии сплава E-AlMgSi (“алдрей”) от содержания галлия, в среде электролита 0,03, 0,3 и 3,0%-ного NaCl приведён на рисунке 10. Добавки галлия к сплаву E-AlMgSi (“альдрей”) уменьшает скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом рост концентрации электролита NaCl (хлорид-иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рисунок 11). Скорость коррозии и плотность тока коррозии сплава E-AlMgSi (“альдрей”) имеют минимальное значение при концентрации 1,0 мас.% галлия. Следовательно, указанный состав сплавов является оптимальным в коррозионном отношении.

Анодные ветви поляризационных кривых сплава E-AlMgSi (“альдрей”) с галлием, приведены на рисунке 12. Как видно из хода кривых, с повышением содержания галлия наблюдается смещение в область положительных значений всех электрохимических потенциалов, в среде электролита NaCl, что свидетельствует о снижении скорости анодного растворения легированных сплавов.

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

Среда NaCl, мас.%	Содержание галлия в сплаве, мас.%	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{кор.} · 10 ² , A/m ²	K · 10 ³ , г/m ² ·час
0,03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0,05	0,844	1,082	0,595	0,710	0,047	15,74
	0,1	0,838	1,067	0,587	0,710	0,045	15,07
	0,5	0,827	1,050	0,579	0,704	0,043	14,40
	1,0	0,817	1,044	0,565	0,700	0,041	13,73
0,3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0,05	0,870	1,164	0,660	0,756	0,065	21,77
	0,1	0,862	1,147	0,649	0,752	0,063	21,10
	0,5	0,850	1,132	0,642	0,748	0,060	20,10
	1,0	0,842	1,119	0,636	0,748	0,058	19,43
3,0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0,05	0,902	1,224	0,720	0,780	0,080	26,80
	0,1	0,894	1,217	0,710	0,776	0,077	25,79
	0,5	0,886	1,210	0,704	0,769	0,075	25,12
	1,0	0,879	1,200	0,696	0,760	0,073	24,45

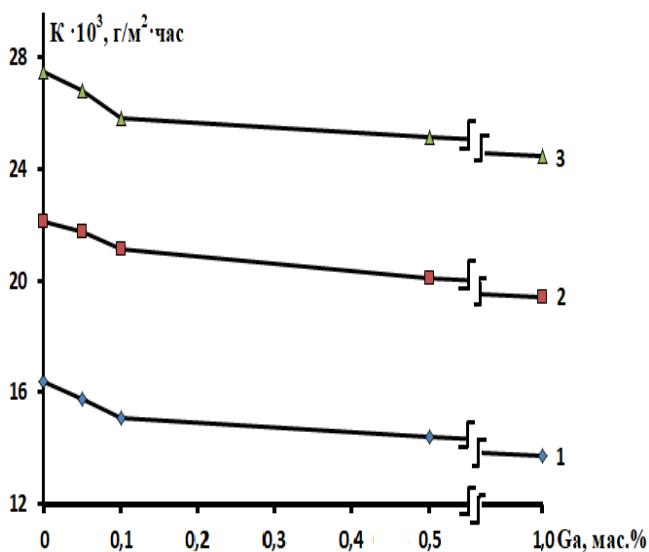


Рисунок 10 - Зависимость скорости коррозии плюминиевого сплава Е-AlMgSi (“альдрей”) от концентрации галлия, в среде электролита 0,03%(1); 0,3%(2) и 3,0%-ного(3) NaCl

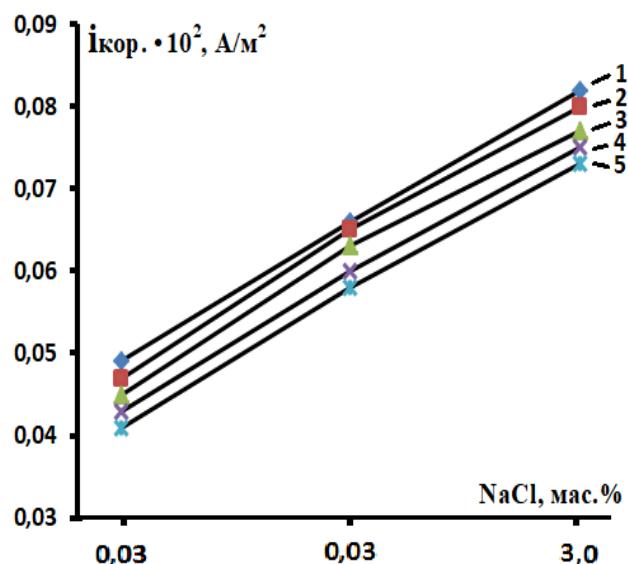


Рисунок 11 - Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава Е-AlMgSi (“альдрей”) (1), содержащего галлий, мас.%: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5)от концентрации NaCl

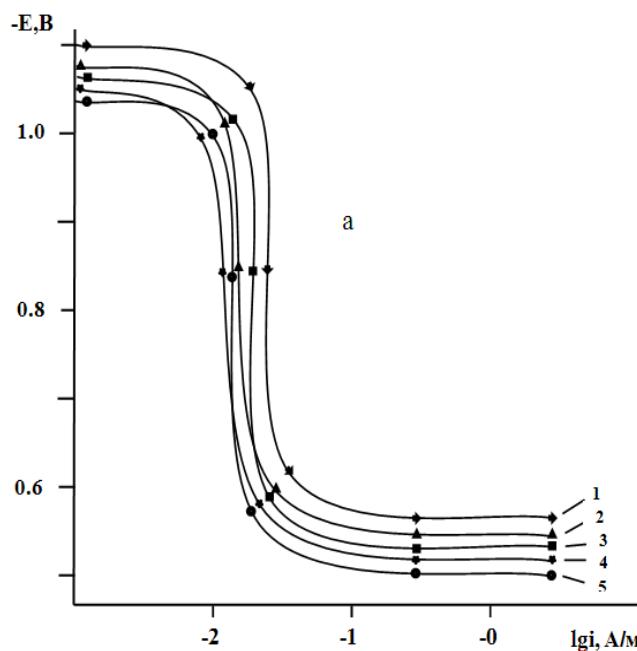
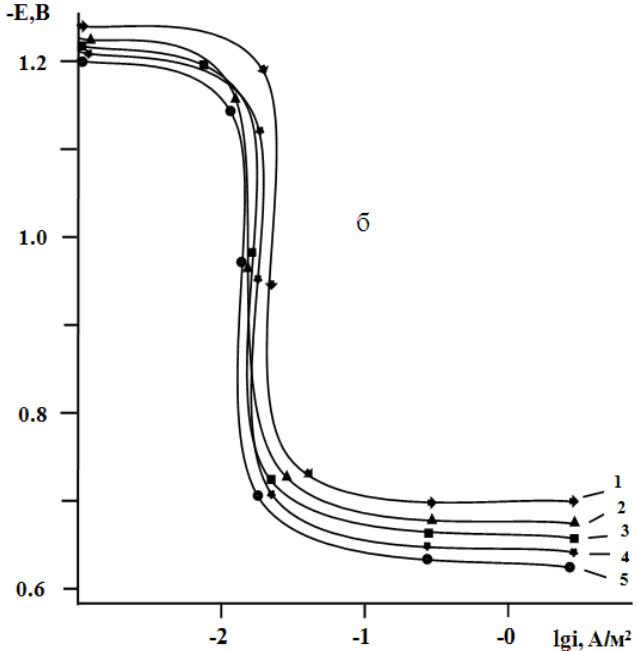


Рисунок 12 - Анодные поляризационные ($2\text{mV}/\text{с}$) кривые алюминиевого сплава Е-AlMgSi (“альдрей”) (1), содержащего галлий, мас.%: 0.01(2), 0.05(3), 0.1(4), 0.5(5), в среде электролита 0,03% (а) и 3% - ного (б) NaCl



Сдвиг в положительную область электрохимических потенциалов и снижение скорости коррозии сплава Е-AlMgSi (“альдрей”) при легировании его галлием можно объяснить ростом степени гетерогенности структуры сплавов. Как видно из рис. 13г,д в микроструктуре сплава Е-AlMgSi (“альдрей”), содержащего 0,5 и 1,0 мас.% галлия не наблюдается первичные выделения фазы Mg_2Si . Фаза Mg_2Si у исходного сплава (рис. 13а) и малолегированных

галлием сплавов кристаллизуется в игольчатой форме на фоне твердого раствора алюминия (рис. 13б).

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

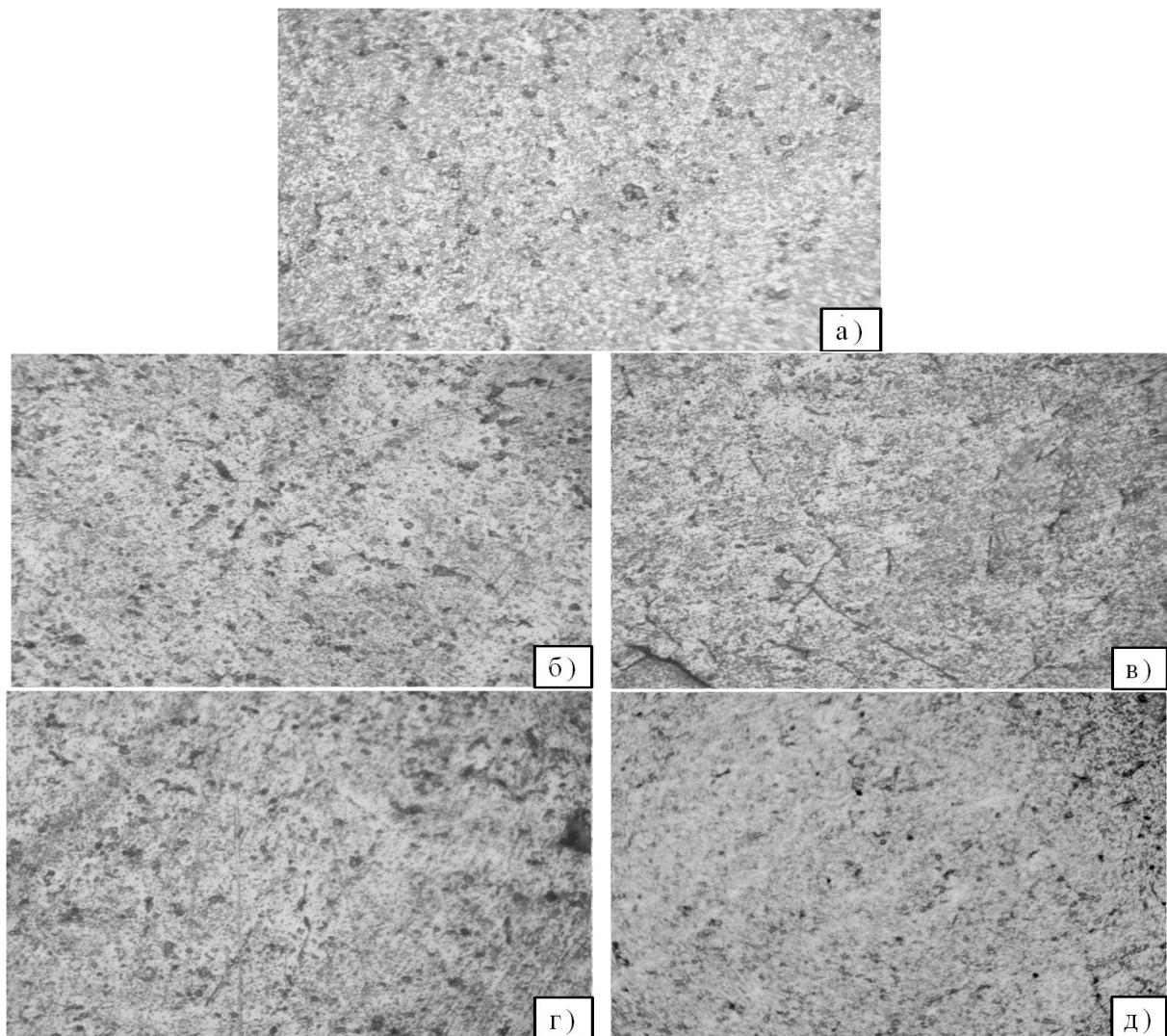


Рисунок 13 - Микроструктуры (x650) сплава E-AlMgSi (“альдрей”) (а), легированного галлием, мас.%: 0.05(б), 0.1(в), 0.5(г), и 1.0(д)

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

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

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

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

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

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

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты исследования:

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Показано, что с ростом легирующего компонента теплоемкость сплавов уменьшается, от температуры растёт. При переходе от сплавов с галлием к сплавам с таллием величина теплоемкость уменьшается [1-А, 3-А, 6-А, 7-А, 8-А].

2. Исследованиями температурных зависимостей изменения термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием показано, что при переходе от сплавов с галлием к сплаву с таллием величины энталпии и энтропии уменьшаются. С ростом температуры энталпия и энтропия сплавов растёт, значение энергии Гиббса растёт. Изменение теплоемкости и термодинамических функций сплавов объясняется ростом гетерогенности структуры сплавов при их легировании [1-А, 3-А, 9-А].

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гипербалическому закону с истинной скоростью окисления порядка 10^{-4} $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$; выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления

имеют сплавы E-AlMgSi (“алдрей”) с галлием, а максимальные – относятся к сплавам с таллием. Среди легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации характерно для сплавов с таллием [4-А].

5. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”), легированного галлием, индием и таллием. Показано, что добавки легирующего компонента в количествах от 0.05 до 1.0 мас.%, на 30-40% повышают коррозионную стойкость сплавов алюминия в нейтральной среде электролита NaCl. Показано, что добавки галлия, индия и таллия к сплаву E-AlMgSi (“алдрей”) повышают значение электрохимических потенциалов, в среде электролита NaCl. При этом отмечено, что с ростом концентрации хлорид-иона в электролите значение потенциалов уменьшаются и скрость коррозии сплавов растут [2-А, 5-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- на основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы алюминиевого сплава E-AlMgSi («альдрей») с элементами подгруппы галлия. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов подгруппы галлия в сплаве E-AlMgSi («альдрей») соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с галлиевым покрытием имеют самый низкий показатель коррозии;
- разработанные сплавы и способы их получения рекомендуется для использования предприятиям промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан;
- опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО
В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ**

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

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

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

[3-А]. Ганиев, И.Н. О коэффициенте теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с индием / И.Н. Ганиев, А.М.

Сафаров, Ф.А. Алиев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук.- 2020.- № 2/2 (73).- С.

Изобретений:

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

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

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

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

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

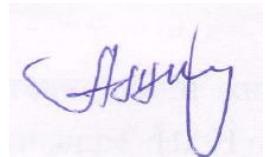
[8-А]. **Алиев, Ф.А.** Влияние добавок галлия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) / Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Х.О. Одиназода, Дж.Х. Джайлоев // Мат. Межд. конф. «Современные проблемы физики».- Физико-технический институт им. С.У. Умарова.- 2020.-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

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

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

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 669.77:621



АЛИЕВ Фирдавс Алиевич

**ХОСИЯТҲОИ ХЎЛАИ АЛЮМИНИЙИ НОҚИЛИИ Е-AlMgSi
("АЛДРЕЙ") БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ЗЕРГУРӮҲИ ГАЛЛИЙ**

АВТОРЕФЕРАТИ

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисосҳои

05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника),

**05.17.03 – Технологияи равандҳои электрохимиявӣ ва
муҳофизат аз коррозия**

Душанбе – 2020

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

Роҳбари илмӣ:

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

Мушовири илмӣ:

доктори илмҳои химия, профессор, академики
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Ғаниев Изатулло Навruzovich

Муқарризони расмӣ:

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

номзади илмҳои техникӣ, дотсент, и.в.
сардори ИМО филиали Донишгоҳи миллии
таҳқиқотӣ-технологии «ИП ва ХМ» дар шаҳри
Душанбе
Бобоев Икром Раҳмонович

Муассисаи пешбар:

Донишгоҳи давлатии Кӯлоб ба номи А. Рудакӣ

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

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

Автореферат санаи «_____» _____ соли 2020 тавзъе шудааст.

Котиби илмии
Шӯрои диссертационӣ,
номзади илмҳои химия



Маҳкамов Ҳ.Қ.

ТАВСИФИ УМУМИИ ДИССЕРТАЦИЯ

Мубрамияти мавзӯъ. Алюминий ва хӯлаҳои он дар соҳаи электротехника ба сифати маводи ноқили ҷараёни электрикӣ ва конструксионӣ васеъ истифода бурда мешаванд. Алюминий ҳамчун ноқили барқӣ, дорон гузариши баланди электрикӣ ва гармӣ мебошад (пас аз мис, дар байни ҳама metallҳои аз ҷиҳати техникий истифодашаванда сатҳи баландтарин). Алюминий инчуни ин бо зичии кам, муқовимати баланди ба зангзанӣ тобоварм дар шароити атмосфера, муқовимати баланд ба моддаҳои кимиёвӣ хос аст.

Бартарии дигари алюминий дар он аст, ки вай ба маводҳои гарминигоҳдоранд ба монанди равған, лак ва термопластика рафтори бетараф дорад, ҳатто дар ҳарорати баланд. Алюминий аз дигар металлҳо бо ҳассосияти пасти магнитӣ, инчуни пайдоиши маҳсулоти хокай ғайритудетикӣ ва ба осонӣ ҷудошаванда (Al_2O_3) дар камонҳои электрикӣ фарқ мекунад.

Истифодаи алюминий ва хӯлаҳои он ба ҳайси мавод барои дастгоҳҳои коммутатсионӣ, ҳати интиқоли барқ, рӯйпӯшҳо ва коммутаторҳо ва ғ. таҳти қоидаҳои маҳсус ё қоидаҳои умумии тарроҳӣ риоя карда мешаванд.

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

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

Дар солҳои охир, хӯлаҳои алюминий коркард карда шуданд, ки ҳатто дар ҳолати нарм ҳусусиятҳои мустаҳкам доранд, ки онҳоро ҳамчун ноқили барқӣ истифода мебаранд.

Яке аз хӯлаҳои алюминийи ин хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") мебошад, ки ба хӯлаҳои саҳтбовар ва устувор ҳангоми коркарди термодинамикӣ тааллуқ дорад. Он бо қувваи баланд ва ҷандирии хуб тавсиф мешавад. Ин хӯла бо коркарди дурусти гармӣ қувваи барқи баландро ба даст меорад. Ноқилҳои аз он сохташуда танҳо барои ҳатҳои интиқоли барқ истифода мешаванд.

Азбаски ҳатҳои интиқоли барқ аз алюминий ва хӯлаҳои он дар фазои кушод истифода карда мешаванд, масъалаҳои баланд бардоштани муқовимат ба зангзании онҳо масъалаи мубрар мебошанд.

Мақсади маҳқиқот муқарар намудани вобастагии ҳароратии ҳусусиятҳои термодинамикӣ, кинетикий ва анодии хӯлаи алюминий алюминий E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудааст, барои эҳтиёҷоти саноати электрикӣ пешбинӣ шудааст.

Ҳадафҳои таҳқиқот:

- омӯҳтани вобастагии гармиғунҷоиш аз ҳарорат ва тағирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва таллий ва таҳияи таркиби хӯлаи на;

- омӯхтани хосияти кинетикаи оксидшавиҳои хӯлаи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий, дар ҳолати саҳт ва муайян кардани механизми оксидшавии онҳо;
- муайянкуни таҷрибии таъсири галий, индий ва таллий ба рафтори аноди хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), дар муҳити электролити NaCl;
- коркарди таркиби хӯлаҳои ҷорҷонда дар асоси хосиятҳои структуравӣ, гармиғунҷоиши, физикию химиявӣ ва муайянкуни соҳаҳои истифодабарии онҳо.

Мавод, усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳҳои истифодашуда. Маводи тадқиқот хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо таркиби Al + 0.5Si + 0.5Mg % -и вазн, инчунин галий, индий ва талий буд. Таҳқиқотҳо тавассути чен кардани гармиғунҷоиши дар ҳолати "хунуккунӣ", усулҳои термогравиметрӣ, металлографӣ, марҳилаи рентгенӣ, потенсиостатикӣ гузаронида шуданд. Коркарди математикии натиҷаҳо бо истифодаи бастаи стандартии барномаҳо ва Microsoft Excel ва Sigma Plot 10 гузаронида шуд.

Дараҷаи саҳеҳият ва баррасии натиҷаҳо

Дараҷаи саҳеҳияти рисола бо усулҳои муосири таҳқиқот, мутобиқати босифатии натиҷаҳои ҳосилнамуда бо қиматҳои амалан додашуда ва тасаввуроти назариявии дар адабиёт мавҷуда таъмин гардидааст.

Нуктаҳои асосии рисола дар конференсияҳо, симпозиумҳо ва форумҳо баррасӣ шудаанд: Рес. научной конф. «Развитие энергетической отрасли Республики Таджикистан», Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (г.Душанбе, 21 декабря, 2019); Респ. научно-практ. конф. «Роль народного творчества в развитии и устойчивости национальной культуры» посвящённый объявлению 2019-2021гг. Годам развития, деревня, туризма и народного творчества», ТГПУ имени С. Айни (Душанбе, 10 мая, 2019); Рес. научн-прак. конф. «Геологические и маркшейдерские проблемы в разработке месторожденый полезных ископаемых», посвя. “20 – летию изучения и развития естественных, точных и математических наук”, Горно-металлургический институт Таджикистана (г.Бустон, 25 января, 2020).

Навоварии илмии тадқиқот. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикии (энталпия, энтропии, энергия Гиббса) хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi («алдрей») бо галий, индий ва таллий вобаста аз ҳарорат ва миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашуда муқаррар қарда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат, гармиғунҷоиши, энталпия ва энтропияи хӯлаи алюминийи ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий афзоиши меёбад, дар ҳоле ки энергияи Гиббс коҳиш меёбад. Бо зиёд шудани ҳиссаи галий, индий ва таллий дар хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), энталпия ва энтропия кам мешавад ва энергияи Гиббс меафзояд.

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

шуд, ки оксиidi хўлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ба қонуни гиперболикӣ итоат мекунад.

Боусули потенсиостатикӣ дар ҳолати потенсиодимикӣ бо суръати тобиши потенсиал (2 мВ/с) муайян карда шудааст, ки илова кардани компоненти ҷавҳардор то 1,0 % - и вазн, ба коррозия устувории хўлаи хўлаи E-AlMgSi ("алдрей") - ро 20-30% зиёд менамояд. Ҳамзамон, тағирёбии тамоми потенсиалҳои электрикӣ ба қайд гирифта шудааст. Ҳангоми гузаштан аз хўлаҳои галий ҷавҳаронидашуда ба хўлаҳо бо индий ва таллий ҷавҳаронидашуда, коҳиш (барои хўлаҳо бо 1,0 % - и вазн иловагӣ) арзиши потенсиалий ва камшавии суръати занг ба қайд гирифта мешавад.

Аҳамияти назариявии тадқиқот. Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии тадқиқот: исботи таъсири сохторҳо, вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағийирёбии фукнсияҳои термодинамикӣ, қонуниятҳои тағийирёбии тавсифоти коррозионӣ-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикии хўлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий баён шудааст.

Аҳамияти амалии кор. Тадқиқотҳои гузаронидашуда имкон доданд, ки таркибҳои хўлаҳо, ки бо ҳароратҳои баланд оксидшаванд дар ҳарорати баланд тавсиф мешаванд, интихоб карда шаванд ва концентратсияи оптималии иловаҳои ҷавҳардори (галлий, индий ва талий) барои баланд бардоштани устувории коррозионӣ хўлаи E-AlMgSi («алдрей») баён шудааст.

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

Барои ҳимояи пешниҳод мешаванд:

- Натиҷаҳои таҳқиқи вобастагии ҳароратии қобилияти гармиғунҷоиш ва тағирёбии фукнсияҳои термодинамикии хўлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий.
- Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикии ҷараёни оксидшавии хўлаи алюминийи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ва инчунин механизми оксидшавии онҳо. Натиҷаҳои муайянсозии маҳсулоти оксидшавии хўлаҳо ва муайян кардани нақши онҳо дар ташаккули механизми оксидшавӣ.
- Вобаста аз хусусиятҳои анодӣ ва дараҷаи зангзании хўлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ҷавҳаронидашуда аз концентратсияи элементи модифитсиронанда, дар муҳити электролитии NaCl
- таркиби хоси хўлаҳо, ки бо оксидшавии пастарин фарқ мекунанд ва муқовимати афзояндаи зангзаний тавсиф мешаванд, яъне ба коррозия устуворанд ҳамчун маҳсулоти ноқил барои истеҳсоли маҳсулоти электротехникӣ аҳамият доранд;

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

Интишорот. Аз рўйи мавзўи диссертатсия 7 мақола, аз чумла 3 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тавсиянамудаи КОАғи назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва 4 мақола дар маводи конференсияҳо нашр шуда, 2 Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулоса ва иловаҳо иборат аст. Рисола аз 153 саҳифаи компьютерӣ, ки 49 ҷадвал, 78 расм, ва 86 феҳрасти адабиёти истифодашуда ба муқова оварда шудааст.

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

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

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

Дар боби дуюм натиҷаи тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағиیرёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галий, индий ва талий оварда шудаанд.

Боби сеюм ба масъалаҳои омӯзиши амалии кинетикаи оксидшавии ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галий, индий ва талий дар ҳолати саҳтӣ бахшида шудааст.

Дар боби чорум натиҷаҳои тадқиқоти потенсиостатикии ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаҳои галий, индий ва талий дар муҳити электролитии NaCl оварда шудаанд.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАЦИЯ

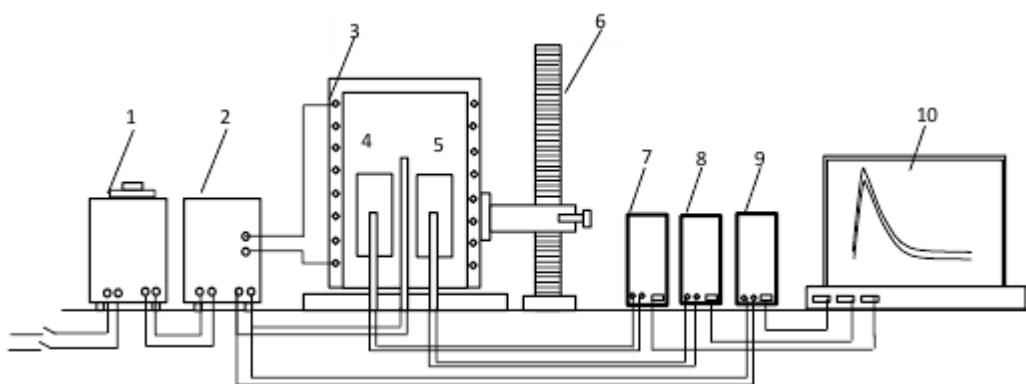
ТАҲҚИҚОТИ ҲОСИЯТҲОИ ГАРМОФИЗИКАВӢ ВА ТАҒИИРЁБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ҲӮЛАИ АЛЮМИНИИ НОҚИЛИИ E-AlMgSi (АЛДРЕЙ) БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА

Дар адабиётҳо мо маълумот дар бораи ҳусусиятҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида ёфт нашуд. Дар робита ба ин, ҳадафи ин таҳқиқот муайян кардани таъсири иловаҳои галий, индий ва таллий ба гармиғунҷоиш ва тағирот дар функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей")

мебошад. Синтези хұлақо дар оташдони муқовимати лаборатории намуди СШОЛ дар ҳарорати 750 - 800 °С гузаронида шуд, ҳосил карда шудааст. Ҳамчун синтези хула ҳангоми бадастоварии хұлаи E-AlMgSi, мо алюминийи тамғай А6 -ро истифода мебурдем, ки ба таври иловагүй бо микдори ҳисобшудаи кремний ва магний омекта карда шуд. Ҳангоми илова кардан алюминий бо кремний, кремнийе, ки дар алюминийи аввалия мавҷуд аст (ба андозаи 0,1%) ба назар гирифта шуд. Магний, ки бо фолгаи алюминий печонида шудааст, бо истифода аз занг ба гудозиши алюминий ворид карда шуд.

Галлии металлй, индий ва таллий ба гудохтақо бо фолгаи алюминий печонида шуда буданд. Таҳлили химиявии хұлақои ба даст овардашуда барои таркиби кремний ва магний дар озмоишгоҳи марказии Корхонаи воҳиди давлатии «Ширкати Алюминийи Тоҷик» гузаронида шуд. Таркиби хұлақо инчунин бо тарозуи заряд ва хұлақои бадастомада назорат мешуд Таҳқиқот нишон дода шудааст, ки фарқи массаҳо аз 1 - 2% зиёд мешуд, ин намунаҳо аз нав гудохта мешудаанд. Сипас, аз хұлақои гудохта бо усули рехтагирий дар қолабҳои графити намунаҳои силиндрӣ диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм намунаҳоро барои омӯхтани гармиғунчиши ҳосиятҳо шлакро аз гудохта тоза карда барои омӯзиши гармиғунчиш тайёр карда шуд.

Ченкуни гармиғунчиш дар дастгоҳе гузаронида шуд, ки тарҳи он дар расми 1 оварда шудааст. Дастгоҳ аз ҷузъҳои зерин иборат аст: қўраи барқии (3) ба пояи (6) маҳкам карда шудааст, ки метавонад ба боло ва поён давр занад (акрабак самти даврзаниро нишон медиҳад). Намуна (4) ва этalon (5) (ки чой иваз карда метавонанд) силиндрни дарозиаш 30 мм ва диаметраш 16 мм мебошад. Ба сӯроҳии як нӯги намуна термопараҳо гузошта мешавад. Охири термопараҳо ба ҳароратсанҷҳои рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 ва 9) васл шудаанд.



Расми 1 – Дастгоҳ барои муайянкунии гармиғунчиши ҷисмҳои саҳт дар реҷаи «хунуккунӣ»: 1-автотрансформатор; 2-ҳарорат танзимкунанда; 3- қўраи барқӣ; 4-намунаи ченшаванд; 5-этalon; 6-пояи қураи барқӣ; 7-ҳароратсанҷи рақамии намуна; 8-ҳароратсанҷи рақамии этalon; 9-ҳароратсанҷи рақамии таъйиноти умумӣ; 10-асбоби қайдкунанда (компьютер)

Құраи барқи тавассути автотрансформатор (1) ба кор дароварда, ҳарорати заруриро бо ёрии танзимкүнандай ҳарорат (2) чен карда мешавад. Аз рүйи нишондоди ҳароратсанчи рақамии «Digital Multimeter DI9208L» қимати ҳарорати аввала ба қайд гирифта мешавад. Намунаи ва эталонро ба гармкүнаки ворид намуда, то ҳарорати зарурый гарм карда, ҳароратро бо нишондоди ҳароратсанчи рақамии «Digital Multimeter DI9208L», ки бо компьютери (10) васл шудааст, назорат карда мешавад. Баъдан намунаи ченшаванда ва эталонро дар як вақт аз дохили құраи барқй берун карда, аз ҳамон лаҳза камшавии ҳарорат ба қайд гирифта мешавад. Нишондоди ҳароратсанчхой рақамии дар компьютер (10) дар давоми вақти мушоҳида (10 с) сабт карда мешавад.

Барои чен кардани ҳарорат аз ҳароратсанчи рақамии чандканалық истифода карда шуд, ки имкон дод, ки натижаҳои ченкуний мустақиман дар компьютер дар шакли ҷадвал сабт карда шаванд. Дурустии ченкуни ҳарорат $0,1^{\circ}\text{C}$ буд. Хатогии нисбий ҳангоми чен кардани ҳарорат дар диапазони аз 40°C то $400^{\circ}\text{C} \pm 1\%$ буд. Хатогии чен кардани иқтидори гармий бо усули пешниҳодшуда, вобаста аз ҳарорат аз 4-6% зиёд намешавад.

Натиҷаи тадқиқотхо бо истифода аз барномаҳои компьютерии «MSExcel» истифода шудааст. Барои соҳтани графикҳо бо истифода аз барномаҳои компьютерии «Sigma Plot» коркард карда шудаанд. Дар ин қиматҳо коэффициенти корреляция ба $R_{\text{корр}} > 0,989$ баробар мешавад.

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

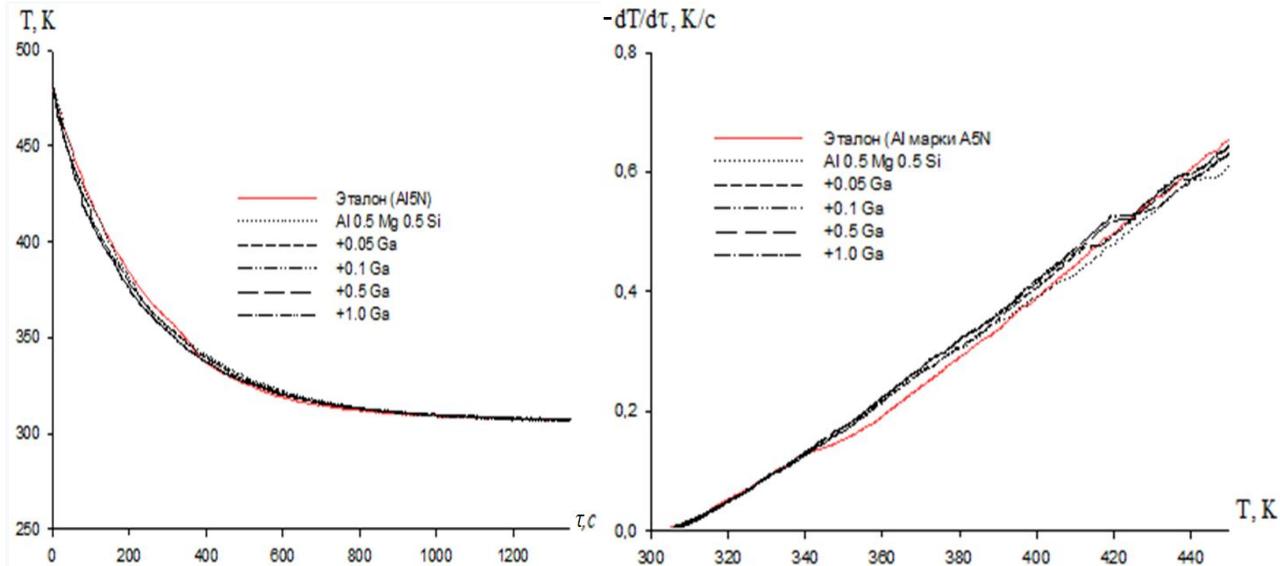
$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (1)$$

дар ин чо, a, b, p, k – бузургихо; τ – вақти хунукшавай.

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

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

Муодилаи (2) барои ҳисоб кардани суръати хунукшавии намунаҳо аз ҳұлаи E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий қавҳаронида шуда, ҳисоб карда шудааст, ки дар расми З оварда шудаанд. Қимати коэффициентҳои a, b, p, k, ab, pk бо муодилаи (2) барои таҳқиқи ҳұлаҳо дар ҷадвали 1 оварда шудаанд.



Расми 2 – Вобастагии ҳарорат аз суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий ҷавҳаронидашуда ва этalon (Al марки A5N)

Расми 3 – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий ҷавҳаронидашуда ва этalon (Al марки A5N)

Ҷадвали 1 – Қимати зарибҳои a , b , p , k , ab , pk дар муодилаи (9) барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлий ҷавҳаронидашуда ва этalon (Al марки A5N)

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

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

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2}, \quad \text{дар ин чо, } m_1 = \rho_1 V_1 \text{ – вазни этalon; } m_2 = \rho_2 V_2 \text{ – вазни}$$

намунаи таҳқиқ; $\left(\frac{dT}{d\tau} \right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau} \right)_2$ – суръати хунукшавии намунаҳо ҳангоми ҳарорати додашуда.

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

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

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

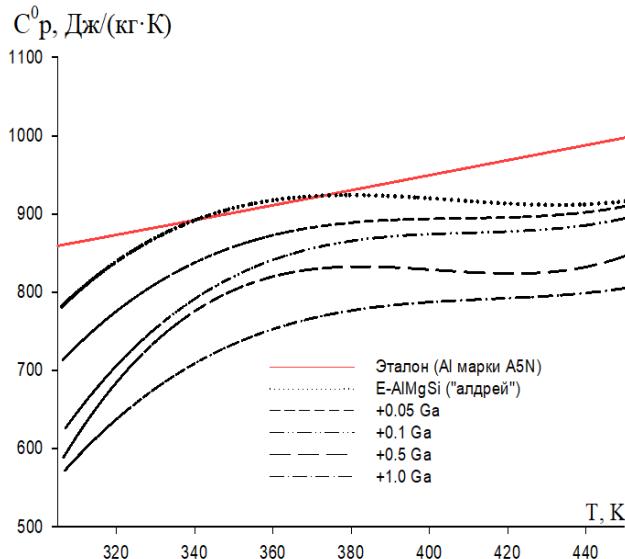
Ҷадвали 2 - Қиматҳои зарибҳоиҳои a , b , c , d ба муодилаи (4) барои намунаҳои ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ҷавҳаронида шуда ва этalon (Al тамғаи A5N)

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

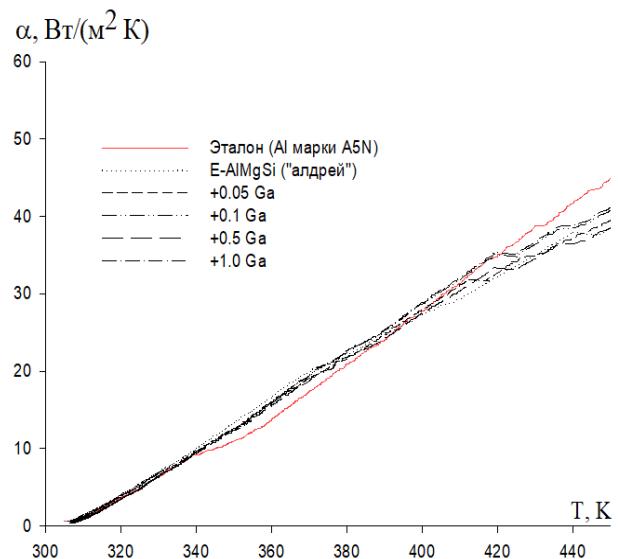
Натиҷаҳои ҳисобкунии вобастагии гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаҳо бо формулаи (3) пас аз 25 К дар ҷадвали 3 ва дар расми 4 оварда шудаанд. вобастагии гармиғунҷоиши ҳӯлаҳо аз концентратсияи галий дар ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") кам шуда, бо зиёдшавии ҳарорат меафзояд.

Ҷадвали 3 - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси кДж/(кг·К) ҳӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий ва ҷавҳаронида шудааст ва этalon (Al тамғаи A5N)

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



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



Расми 5 - Вобастагии ҳароратии зариби гармидахӣхӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей"), бо галлийчавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

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

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

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

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

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

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

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

дар ин ҷо, $T_0 = 298,15$.

Чадвали 4 - Вобастагии ҳароратии тағиирёбии функцияи термодинамикии хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ва этalon (Al тамғаи A5N)

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

* $T_0 = 298.15$ К

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

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

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

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

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

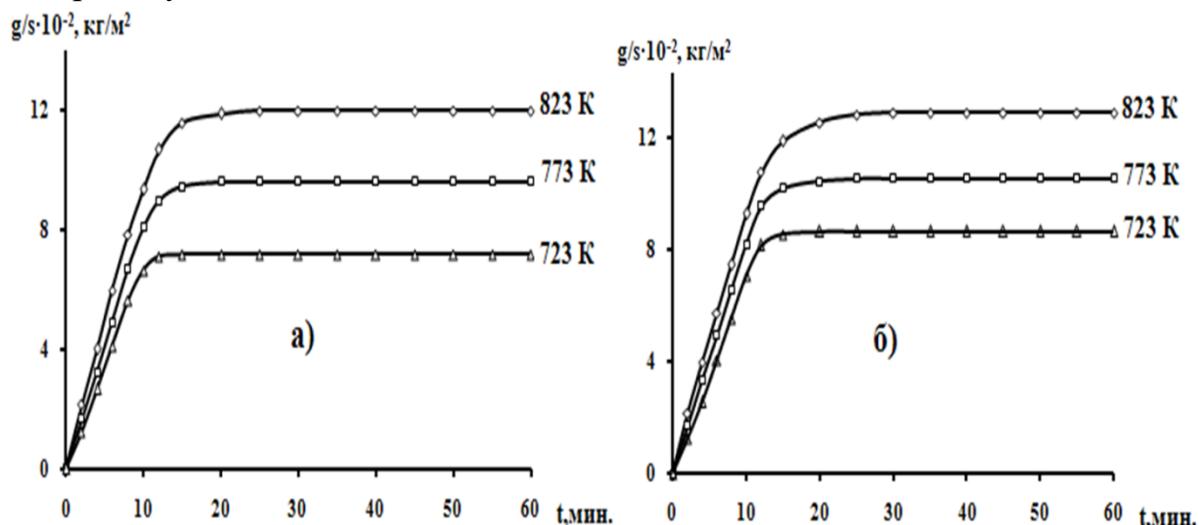
Микдори компонентҳои ҳӯла, %-и вазн	Т, К					
	300	325	350	375	400	450
$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кЧ/кг барои ҳӯлаҳо						
ҲӯлаE-AlMgSi	1,3799	21,5847	43,7138	66,6654	89,7383	135,4471
1.0 Ga	0,9726	15,9695	33,4642	52,3503	71,8750	111,5986
1.0In	0,9022	14,8532	31,2205	48,9997	67,4982	105,4415
1.0 Tl	0,8914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

Ҳангоми аз ҳӯлаҳои бо галлий ба ҳӯлаҳои бо таллий гузаштан, қобилияти гармӣ, энтаплия ва энтропияи ҳӯлаҳо кам шуда, қимати энергияи Гиббс меафзояд.

ТАХҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҮЛАИ АЛЮМИНИЙИ НОҚИЛИИ Е-AlMgSi ("алдрей") БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР ҲОЛАТИ САХТ

Барои муайян кардани суръати оксидшавӣ бештар усули термогравиметрӣ истифода мешавад, ки дар омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳои саҳт ва моеъ татбиқи васеъ пайдо кардааст. Афзалиятҳои ин усул аз соддагии нисбии тарроҳии саҳтафзор ва имконияти истифодаи он барои ҳарорати баланд ($> 1773\text{K}$) иборатанд.

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



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

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

Оксидкунии хӯлаи ноқили алюминии Е-AlMgSi (алдрей), ки 0,05% галлий дар ҳолати саҳт дорад, дар муҳити ҳаво дар ҳарорати 723K, 773K ва 823K ғузаронида шуд. Ҳатҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳо дар расми 6б нишон дода шудаанд. Сатҳи оксидшавии хӯла вобаста ба вақт ва ҳарорат каме меафзояд. Аммо, зиёд шудани вазни хоси намуна то 20 дақиқа дар 823K ба $3.34 \cdot 10^{-4}$ $\text{кг}/\text{м}^2$ баробарии доимӣ ба даст меорад. Энергияи намоёни фаъолшавии раванди оксидшавӣ 120,3 кДж / мол (Ҷадвали 7) мебошад.

Чадвали 7 - Параметрҳои кинетикий ва энергетикии раванди оксидшавии алюминий гузарондаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий дар ҳолати саҳт

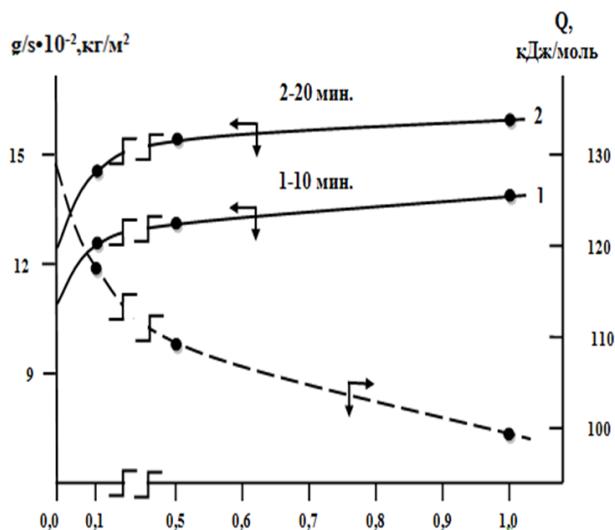
Миқдори Ga дар ҳӯла, %-вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, $K \cdot 10^{-4}$, кг·м ⁻² ·с ⁻¹	Энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ, кДж/мол
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.05	723	2.72	120.3
	773	2.91	
	823	3.34	
0.1	723	2.81	117.8
	773	3.00	
	823	3.41	
0.5	723	2.98	108.5
	773	3.14	
	823	3.53	
1.0	723	3.09	98.9
	773	3.22	
	823	3.66	

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

Иловаҳои галлий дар ҳаҷми 0,05% ба таври ноҷиз ба оксидшавандай ҳӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi (алдрей) таъсир мерасонанд. Афзоиши минбаъдан концентратсияи галлий оксидшавандай ҳӯлаи аввали гузаронандай E-AlMgSi ("алдрей") -ро меафзояд (Расми 7).

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

Дар ҷадвали 8 натиҷаҳои коркарди қаҷҳои кинетикии оксидшавӣ дар шакли вобастагӣ (g/s)²-т барои ҳӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), ки аз 0,05 то 1,0% галлийро дар бар мегиранд, нишон дода шудааст (Расми 9). Бояд ба хулоса омад, ки табиити оксидшавии ҳӯлаҳо ба вобастагии гиперболӣ итоат мекунад.



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

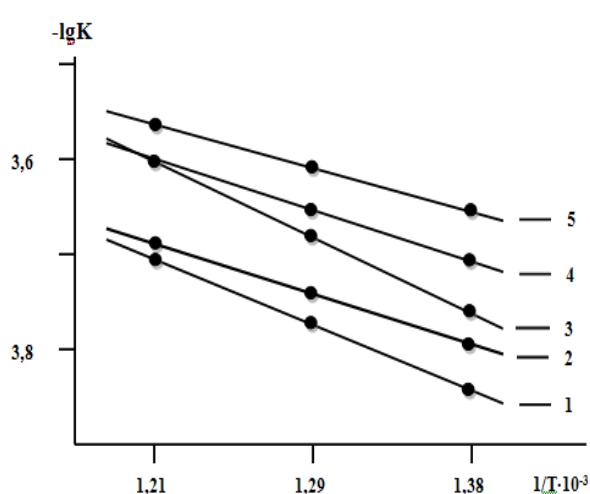
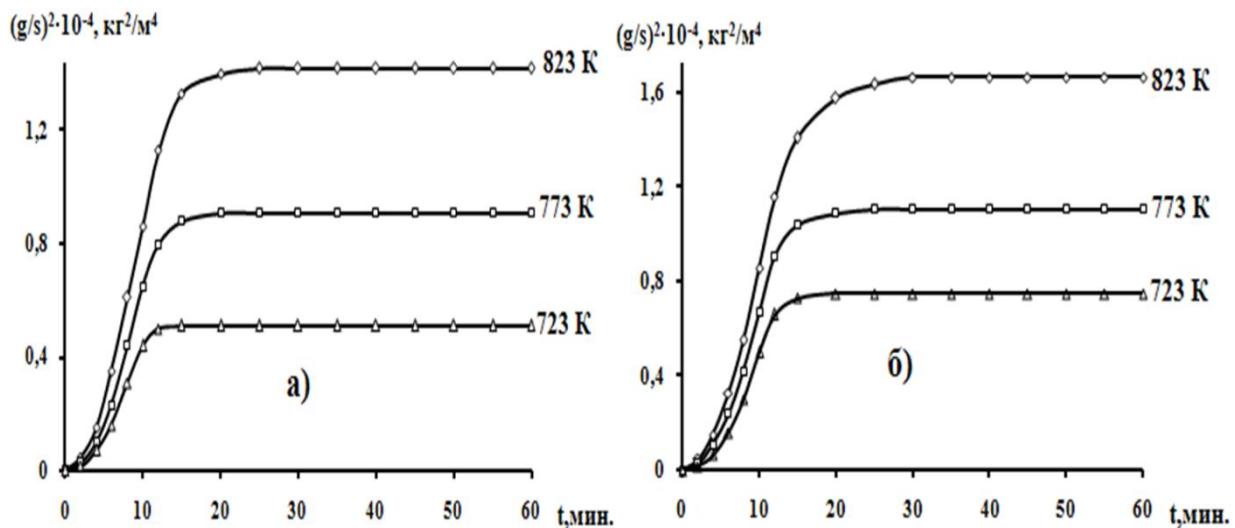


Рисунок 8 – Вобастагии $-\lg K$ от $1/T$ барои хұлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), (1), бо галлий, вазн%: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5)

Чадвали 8 - Натицаҳои коркарди полиномаҳои каҷхати оксидшавии хұлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), дар ҳолати сахт

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



Расми 9 – кацхатаи кинетикии квадратии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi ("алдрей") (а) с 0.05(б) вазн % галлий

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

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

Элементи ҷавҳаронидашуда % - и вазн	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
Галлий	128.5	120.3	117.8	108.5	98.9
Индий		114.1	109.6	99.4	91.8
Таллий		108.9	100.3	91.5	84.1

Дар асоси таҳқиқоте, ки дар кинетикай оксидшавии хӯлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо иловаи галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудаанд, қонунҳои зерини тағирот дар хусусиятҳои кинетикий ва энергетикии раванди оксидшавӣ дар ҳолати саҳт муқаррар карда шуданд:

1. муқаррар карда шуд, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гипербола итоат мекунад, ки сатҳи оксиди ҳақиқии тартиби $10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$;
2. Муайян карда шуд, ки қиматҳои пасттарини сатҳи оксидшавӣ дорои хӯлаҳои E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий мебошанд ва ҳадди аксар ба хӯлаҳои бо таллий омехта шудаанд.

ТАХҚИҚОТИ РАФТОРИ АНОДИИ ХЎЛАИ АЛЮМИНИЙИ НОҚИЛИИ Е-AlMgSi (АЛДРЕЙ) БО ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ ЧАВҲАРОНИДАШУДА, ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl

Дар қолиби рехтагарии графитӣ меҳварҳои металлии (стержни) диаметри 8мм ва дарозии 140мм рехта ба даст оварда шуд. Қисми ғайрикории намунаҳоро бо қатрон (омехтаи 50% канифол ва 50% парафин) изолятсия намудем. Ба сифати сатҳи корӣ паҳлуи электрод хизмат расонид. Пеш аз ғутонидани намуна ба маҳлули корӣ қисми паҳлуи, нӯги намунаро бо қофази сунбода сайқал дода, тамиз намуда, бодикӯат бо спирт шуста пас аз он ба маҳлули электролити NaCl барои таҳқиқот воридонида шуд. Ҳарорати маҳлул дар ячейка 20°C ба таври доимӣ бо ёрии термостати MLIII-8 нигоҳ дошта шуд. Барои омӯзиши хосиятҳои электрохимиявии хўлаҳои чоргона чунин усули таҳқиқот истифода бурда шуд. Озмоиши электрохититявии намунаҳоро бо усули потенсиостатикӣ дар реҷаи потенсиодинамикӣ дар потенсиостати ПИ-50.1.1 бо суръати тобиши потенсиали 2 мВ/с дар муҳити электролити NaCl гузаронида шуд. Ба сифати электроди таҳқиқотӣ-муқоисавӣ хлорию нуқрагӣ ва ҳамчун электроди ёрирасон - платинагӣ хизмат расонид.

Намунаҳоро бо усули потенсиодинамикӣ дар самти мусбӣ аз потенсиал поляризатсия намуда, ҳангоми ворид карда то ногаҳон зиёдшавии ҷараён дар натиҷаи питтингҳосилкунӣ муқаррар карда мешавад. Сипас намунаҳоро дар самти мӯқобил поляризатсия намуда аз рӯи бурида гузаштани каҷхатҳо бузургии потенсиали репассивро муайян карда шуд. Сипас аз рӯи минтақаи катод то қимати потенсиали $-1,3\text{V}$ барои дур кардани пардаи оксидӣ бо сатҳи электрод дар натиҷаи ишқорноккуни сатҳи электрод ҳаракат карда шуд. Дар охир намунаҳоро аз сари нав поляризатсия намуда аз рӯи каҷхати анодӣ параметрҳои асосии электрохимиявӣ муайян карда шуд.

Ҳамин тавр аз каҷхатҳои ҳосилкардашудаи поляризационӣ, характеристикаҳои асосии электрохимиявии хўлаҳо: потенсиали питтингҳосилкунӣ ($E_{п.о.}$), потенсиал ва ҷараёни зангзаниӣ ($E_{кор.}$ ва $i_{кор.}$) муайян карда шуд. Потенсиали репассивӣ ($E_{р.п.}$), ба таври графикий ба мисли қатшавии яқум ба ҳаракати баргашти каҷхати анодӣ ё ин, ки ба мисли бурида гузаштани ҳати рост ва ҳаракати баргашт муайян карда шуд. Ҳисоби ҷараёни зангзаниӣ ҳамчун характеристикаи асосии раванди зангзаниӣ аз рӯи каҷхати катодӣ бо назардошли моилии таффеловӣ $v_k=0,12\text{V}$ ба роҳ монда шуд, азбаски дар муҳити нейтралии раванди питтингҳосилкуни зангзании алюминий ва хўлаҳои он аз рӯи реаксияи катодии ионизатяқунии оксиген назорат карда мешавад. Суръати зангзаниӣ дар навбати худ функсияи ҷараёни зангзаниӣ мебошад, ки аз рӯи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад: $K = i_{кор.} \cdot k$, дар ин ҷо $k = 0.335 \text{ г/A}\cdot\text{соат}$ барои алюминий.

Натиҷаҳои таҳқиқоти коррозия-электрохимиявии хўлаи алюминии Е-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, дар маҳлули электролит NaCl, дар ҷадвал оварда шудаанд (ҷадвали 10 ва расми 10-12). Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки иловажои галлий аз 0,05 то 1,0% -и вазн ба хўлаи ибтидоии AlMgSi ("алдрей")

дар воситаҳои ахбори омӯхташуда коррозия, репассиватсия ва потенсиалро ба доираи мусбати қиматҳо мегузаронанд ва дар айни замон муқовимати хӯлаҳо ба зангзани питингҳосилкунӣ меафзояд.

Ҷадвали 10 - Тавсифоти коррозионӣ-электрохимиявии хӯлаи алюминий E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, дар муҳити электролитии NaCl

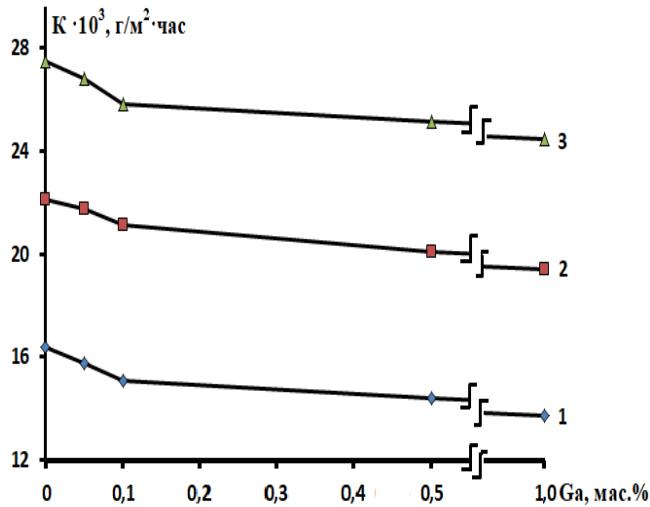
Муҳит NaCl, % - и вазни	Миқдори галлий дар хӯла, %-и вазн	Потенсиалҳои электрохими- яйӣ (э.х.н.)				Суръати коррозия	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{рп.}	i _{кор.} · 10 ² , А/М ²	K · 10 ³ , Г/М ² ·час
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.05	0,844	1,082	0,595	0,710	0,047	15,74
	0.1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

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

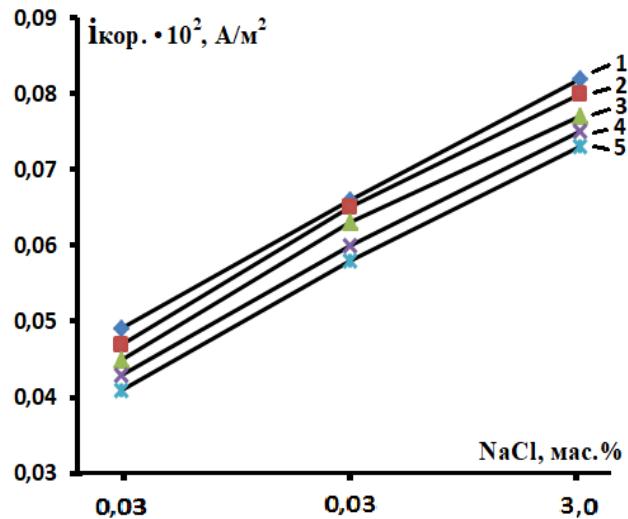
Шоҳаҳои анодии качхатаи поляризатсияи хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий дар расми 12 нишон дода шудааст. Тавре ки аз качхата дида мешавад, бо афзоиши миқдори галлий, гузариш ба сӯи минтақаи арзишҳои мусбии ҳамаи потенсиалҳои электрохимиявӣ дар муҳити электролитии NaCl мушоҳида мешавад, ки ин суръати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

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

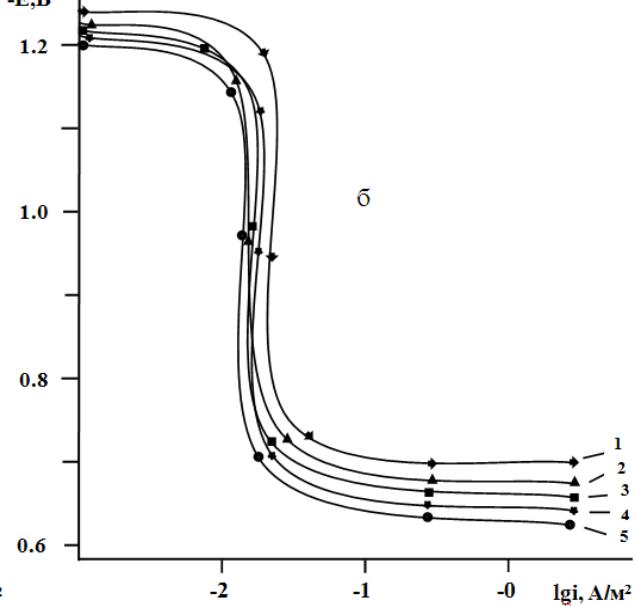
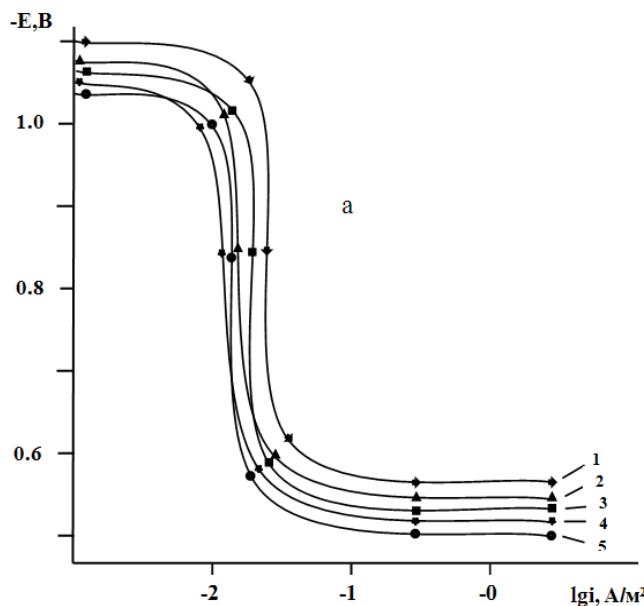
Фазаи Mg₂Si дар хӯлаи аввалия (расми 13а) ва хӯлаҳои бо галлий сабук сабукшуда дар шакли оккулярӣ дар заминаи маҳлули алюминии саҳт кристалл мешаванд (расми 13б).



Расми 10 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминии E-AlMgSi (“алдрей”) аз концентратсияи галий, дар муҳити электролит 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0% (3) NaCl



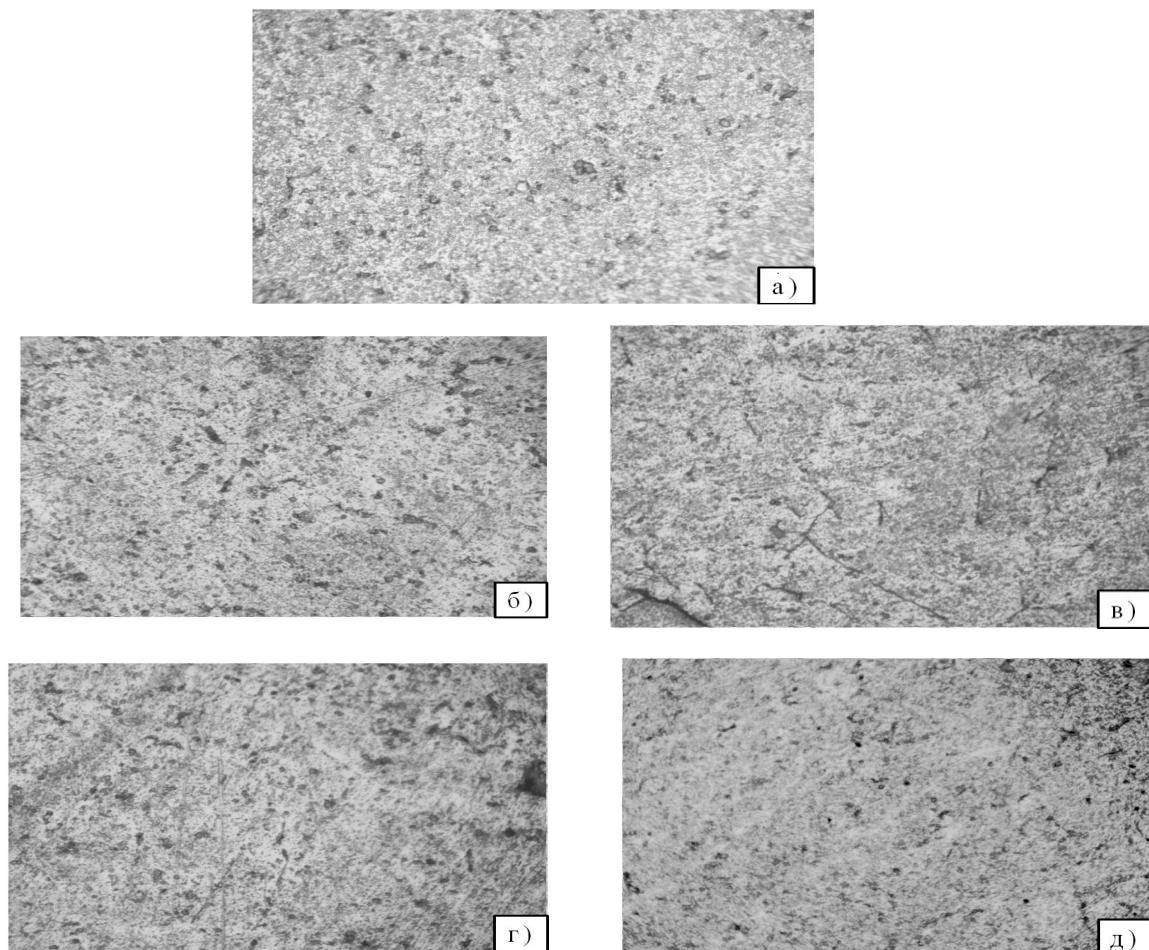
Расми 11 - Вобастагии зичии чараёни зангзании хӯлаи алюминии E-AlMgSi (“алдрей”) (1) дорои галий, %- и вазн: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) концентратсияи NaCl



Расми 12 - Каҷхатаи поляризатсиионии анодии 2 мВ/с хӯлаҳои алюминий ноқили E-AlMgSi (“алдрей”) бо галий, %- и вазн: 0,01(1), 0,05(2), 0,1(3), 0,5(4), дар муҳити электролитии 0,03% (а) ва 3% (б) NaCl

Дар ҷадвалҳои 11 ва 12 натиҷаҳои умумии омӯзиши рафтори анодии хӯлаҳои системаҳои E-AlMgSi -Ga (In, Ta) оварда шудаанд. Потенсиали зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо афзоиши концентратсияи галий, индий, таллий ба самти мусбати меҳвари ордината ҳаракат мекунад. Ҳангоми аз электролитҳои заиф ба электролитҳои қавӣ гузаштан, новобаста аз мундариҷаи

компоненти ҷавҳаронидашуда, камшавии арзиши потенсиали коррозия озод мушоҳид мешавад. Ҳамин тариқ, бо зиёд шудани концентратсияи иони хлорид, потенсиали коррозияи озоди ҳӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») аз -0,860 V, дар муҳити 0,03% NaCl то - 0,919 V, дар муҳити 3% NaCl коҳиш меёбад. Афзоиши концентратсияи ҷузъиҷавҳаронидашуда ба афзоиши миқёси потенсиалҳои питингҳосилкунӣ ва репасиватсия дар ҳама воситаҳо, новобаста аз концентратсияи иони хлор, мусоидат мекунад. Вобастагии муқарраршуда ба ҳӯлаи E-AlMgSi (“алдрей”), ки бо галлий, индий ва таллий омехта шудаанд, хос аст. Ҳангоми аз ҳӯлаҳои бо галлий ба ҳӯлаҳои бо индий ва таллий гузаштан, потенсиали зангзании озод ва питингҳосилкунӣ меафзояд (Ҷадвали 11).



Расми 13 - Микроструктураҳои (x650) ҳӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") (а) бо галлий омехта, вазни % - и : 0.05(б), 0.1(в), 0.5(г), и 1.0(д)

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

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

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

Чадвали 12 - Вобастагии зичи ҷараёни зангзанӣ ва суръати зангзании хӯлаи E-AlMgSi ("алдрей") бо Ga, In ва Ta, дар муҳити электролитии NaCl

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

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

ХУЛОСАҲО

Натиҷаҳои асосии илмии таҳқиқот:

1. Дар режими "хунуккунӣ" вобастагҳои ҳароратии гармиғунҷоиши хоси хўлаи алюминии электрикии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда таҳқиқ карда шуд. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми зиёд шудани ҷузъи ҷавҳаронӣ, миқдори гармиғунҷоиши хўлаҳо кам ва бо баланд шудани ҳарорат зиёд мешавад. Ҳангоми аз хўлаҳои бо галлий ба хўлаҳои бо таллий гузаштан, қобилияти гармиғунҷоиш кам мешавад [1-М, 3-М, 6-М, 7-М, 8-М].

2. Омӯзиши вобастагии ҳароратии тағироти функсияҳои термодинамикии хўлаи алюминии E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда нишон дод, ки ҳангоми аз хўлаҳои бо галлий ба хўлаи таллий гузаштан, бузургиҳои энталпия ва энтропия кам мешаванд. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат энталпия ва энтропияи хўлаҳо меафзояд, қимати энергияи Гиббс бошад паст мешавад. Тағирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хўлаҳо бо зиёд шудани гетерогенияи соҳтори хўлаҳо ҳангоми ҷавҳаронӣ шарҳ дода мешавад [1-М, 3-М, 9-М].

3. Бо усули термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии хўлаи алюминии ноқили E-AlMgSi (алдрей), ки бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудаанд, омӯхта шуд. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хўлаҳо ба қонуни гипербола итоат мекунад ва сатҳи оксидшавии ҳақиқии тартиби $10^{-4} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Муайян карда шуд, ки қимати пасти сатҳи оксидшавӣ барои хўлаҳои E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий ва қиматҳои максималӣ барои хўлаҳои таллий мушоҳида мешаванд. Дар байнин үнсурҳои омехта қимати баландтарини энергияи ба назар намоён барои хўлаҳои бо таллий хос аст [4-М].

4. Рафтори анодии хўлаи алюминии ноқили E-AlMgSi ("алдрей") бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронидашуда бо усули потенсиостатикӣ дар режими потенсиодинамикий бо суръати тобиши потенсиалиалаш 2 мВ/с омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки илова намудани ҷузъи ҷавҳаронӣ ба миқдори аз 0,05 то 1,0%-и муқовимати зангзании хўлаҳои алюминийро дар муҳити нейтралии электролит NaCl 30-40% зиёд мекунад. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои галлий, индий ва таллий ба хўлаи E-AlMgSi ("алдрей") арзиши потенсиалҳои электрохимиявиро дар муҳити электролитии NaCl зиёд мекунанд. Қайд карда шуд, ки бо зиёд шудани концентратсияи иони хлорид дар электролит, қиматҳои потенсиалҳо кам шуда, суръати зангзании хўлаҳо меафзояд [2-М, 5-М].

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ:

- дар асоси таҳқиқоти физикӣ-химиявии иҷронамуда, ҳудуди ҷавҳаро-нии хўлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей») бо элементҳои зергурӯҳи галлий илмӣ асоснок карда шудааст. Махсусан, нишон дода шудааст, ки миқдории

оптималии элементҳои зергурӯҳи галлий дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») ба концентратсияи 0,05-1,0%-и вазн мутобиқ аст. Хӯлаҳои бо галлий ҷавҳаронидашуда бо қимати хурдтарини коррозия фарқ менамоянд;

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

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

НАТИЧАҲОИ АСОСИИ ДИССЕРТАЦИЯ ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН БАЁН ШУДААСТ

*Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмии эътироғишидаи КОА-и
назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашируда:*

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

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

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

Ихтироом:

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

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

Мақолаҳои дар маводи конфронсҳо нашируда:

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

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

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

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

АННОТАЦИЯ

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

Калимаҳои калидӣ: ҳӯлаи алюминийи AlMgSi ("алдрей"), галлий, индий, таллий гармиғунҷоиш, функсияҳои термодинамикӣ, энталпия, энтропия, энергияи Гиббс, усули термогравиметрӣ, кинетикаи оксидшавӣ, энергияи активатсия, методи потенсиостатикӣ, потенсиали озоди коррозия, питтингҳосилкунӣ ва репассиватсия, суръати коррозия.

Мавод, усулҳои таҳқиқот ва дастгоҳҳои истифодашуда. Маводи тадқиқот ҳӯлаи Е-AlMgSi ("алдрей") бо таркиби $Al + 0.5Si + 0.5Mg\%$ -и вазн, инчунин галий, индий ва талий буд. Таҳқиқотҳо тавассути чен кардани гармиғунҷоиш дар ҳолати "хунуккунӣ", усулҳои термогравиметрӣ, металлографӣ, марҳилаи рентгенӣ, потенсиостатикӣ гузаронида шуданд.

Мақсади таҳқиқот ин муқаррар намудани вобастагии ҳароратии хусусиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии ҳӯлаи алюминий алюминий Е-AlMgSi ("алдрей"), ки бо галлий, индий ва таллий ҷавҳаронида шудааст, барои Ҷоҳиёти саноати электрикӣ пешбинӣ шудааст.

Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва навғониҳои онҳо. Вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва тағиیرёбии функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропии, энергия Гиббса) ҳӯлаи алюминийи ноқилии Е-AlMgSi («алдрей») бо галий, индий ва таллий вобаста аз ҳарорат ва миқдори компонентҳои ҷавҳаронида шуда мӯқаррар карда шудаанд. Нишон дода шудааст, ки бо афзоиши ҳарорат, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи алюминийи ноқилии Е-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий афзоиш мейёбад, дар ҳоле ки энергияи Гиббс коҳиши мейёбад. Бо зиёд шудани хиссай галий, индий ва таллий дар ҳӯлаи Е-AlMgSi ("алдрей"), энталпия ва энтропия кам мешавад ва энергияи Гиббс меафзояд. Муайян карда шуд, ки бо афзоиши ҳарорат, дараҷаи оксидшавии ҳӯлаи алюминийи ноқилии Е-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий дар ҳолати саҳти миафзояд. Сатҳи оксиди доимӣ ба $10^4 \text{ кг}/\text{м}^2 * \text{с}^{-1}$ баробар аст. Муайян карда шуд, ки оксиди ҳӯлаи Е-AlMgSi ("алдрей") бо галий, индий ва талий ба қонуни гиперболикӣ итоат мекунад. Бо усули потенсиостатикӣ дар ҳолати потенсиодимикий бо суръати тобиши потенсиал (2 мВ/с) муайян карда шудааст, ки иловавар кардани компоненти ҷавҳардор то $1,0\%$ -и вазн, ба коррозия устувории ҳӯлаи ҳӯлаи Е-AlMgSi ("алдрей") -ро $20\text{-}30\%$ зиёд менамояд. Ҳамзамон, тағиیرёбии тамоми потенсиалҳои электрикӣ ба қайд гирифта шудааст. Ҳангоми гузаштани аз ҳӯлаҳои галий ҷавҳаронида шуда ба ҳӯлаҳо бо индий ва таллий ҷавҳаронида шуда, коҳиш (барои ҳӯлаҳо бо $1,0\%$ -и вазн иловагӣ) арзиши потенсиалий ва камшавии суръати занг ба қайд гирифта мешавад.

Тавсияҳо барои татбиқи амалии натиҷаҳои илмӣ:

- дар асоси таҳқиқоти физикӣ-химиявии иҷронамуда, ҳудуди ҷавҳаронии ҳӯлаи ноқилии алюминии Е-AlMgSi («алдрей») бо элементҳои зергурӯхи галлий илмӣ асоснок карда шудааст. Махсусан, нишон дода шудааст, ки миқдории оптималии элементҳои зергурӯхи галлий дар ҳӯлаи Е-AlMgSi («алдрей») ба концентратсияи $0,05\text{-}1,0\%$ -и вазн мутобиқ аст. Ҳӯлаҳои бо галлий ҷавҳаронида шуда бо қимати хурдтарини коррозия фарқ менамоянд;
- ҳӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои ҳосил кардани онҳо ба муассисаҳои саноати тобеи Вазорати саноат ва технологияҳои нави Ҷумҳурии Тоҷикистон барои истифода пешниҳод карда мешавад;
- ҳӯлаҳои навро барои таҷриба, дар озмоишгоҳи Муассисаи илмии давлатии Маркази тадқиқотии технологияи инноватсионӣ дар назди Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ҳосил карда, ба муассисаҳои ҳавасманд пешниҳод кардан мумкин аст.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати электротехника.

АННОТАЦИЯ

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

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

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

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

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

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- на основании проведенных физико-химических исследований научно обоснованы границы алюминиевого сплава E-AlMgSi («альдрей») с элементами подгруппы галлия. В частности, было показано, что оптимальное количество элементов подгруппы галлия в сплаве E-AlMgSi («альдрей») соответствует концентрации 0,05–1,0% по массе. Сплавы с галлиевым покрытием имеют самый низкий показатель коррозии;
- разработанные сплавы и способы их получения рекомендуется для использования предприятиям промышленности подведомственные Министерству промышленности и новых технологий Республики Таджикистан;
- опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения Центр исследования инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

Область применения: электротехнической промышленности.

ANNOTATION

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

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

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

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

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

Recommendations about practical use of results:

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

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

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

Application: electrical industry.

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

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 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