

*На правах рукописи*



**ВАЗИРОВ Назир Шамирович**

**ВЛИЯНИЕ ЦЕРИЯ, ПРАЗЕОДИМА И НЕОДИМА  
НА СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6**

**02.00.04 – Физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Душанбе – 2019**

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В. И. Никитина АН Республики Таджикистан.

Научные руководители: **Ганиев Изатулло Наврузович**  
доктор химических наук, профессор, академик  
АН Республики Таджикистан

Официальные оппоненты **Назаров Холмурод Марипович**  
доктор технических наук, профессор, директор  
Филиала Агентства по ядерной и  
радиационной безопасности Академии наук  
Республики Таджикистан

**Сафаров Амиршо Гаибович**  
кандидат химических наук, ведущий научный  
сотрудник Центра исследования и  
использования возобновляемых источников  
энергии при Физико-техническом институте  
им. С.У. Умарова Академии наук Республики  
Таджикистан.

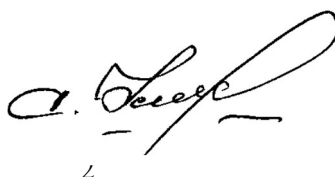
Ведущая организация: Технологический университет Таджикистан,  
кафедра «Химия».

Защита диссертации состоится «**25**» октября 2019 года в 12 час. 00 мин.  
на заседании диссертационного совета Д. 047.003.03 при Институте химии им.  
В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г.Душанбе, ул.  
Айни 299/2. E-mail: [dissovet@ikai.tj](mailto:dissovet@ikai.tj)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института  
химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан [www.ikai.tj](http://www.ikai.tj)  
([www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj))

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 года

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат химических наук



Усманова С.Р.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Сплавы на основе алюминия и магния обладают высокой вязкостью, средней прочностью и являются бинарными однофазными сплавами. Однофазность алюминиево-магниевых сплавов определяет такие их свойства, что они при термической обработке не повышают свою прочность.

Алюминиево-магниевые сплавы носят название магналий и отличаются содержанием магния в качестве легирующей добавки. Содержание магния в магналиях составляет от 2 до 6 процентов. Все алюминиево-магниевые сплавы отличаются хорошей коррозионной стойкостью, свариваемостью и прочностно-механическими свойствами. В группе алюминиево-магниевых сплавов четко прослеживается следующая зависимость: чем выше содержание легирующей добавки магния, тем выше коррозионная стойкость и прочность, но снижается эластичность и повышается стоимость материала.

Главная особенность этих сплавов состоит в их высокой коррозионной стойкости, в том числе в морской воде и морской атмосфере. Самая высокая коррозионная стойкость достигается при минимуме твердых и газообразных примесей. Поэтому эти сплавы изготавливают из высококачественных металлов и с особенной тщательностью при его выплавке и разливке. Они хорошо свариваются и часто применяются в строительстве для декоративной отделки. Алюминиево-магниевые сплавы легко обрабатываются резанием и имеют привлекательный вид после анодирования.

Среде легирующих элементов важное место отводится редкоземельным металлам, так как они значительно улучшают коррозионную стойкость алюминия и его сплавов с магнием.

В литературе нет сведений о физико-химических и теплофизических свойствах алюминиево-магниевых сплавов с редкоземельными металлами. Традиционно теплофизическими свойствами являются такие свойства, как теплопроводность, термическое расширение и теплоемкость. При различных внешних воздействиях физико-химические свойства материалов определяют закономерности их поведения. Для алюминиево-магниевых сплавов, особенно с участием редкоземельных металлов, до настоящего времени такие сведения крайне малы и разрозненны.

**Цель работы** заключается в разработке и оптимизации состава конструкционного алюминиевого сплава АМг6, легированного церием, празеодимом и неодимом, путём исследования их физико-химических свойств.

В связи с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие **задачи**:

- изучена температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом;
- методом термогравиметрии исследован механизм и кинетика окисления алюминиевого сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом;
- установлены кинетические и энергетические параметры процесса окисления;

- исследовано коррозионно – электрохимическое поведение алюминиевого сплава АМгб, содержащего церий, празеодим и неодим, в среде электролита 0,03%, 0.3%, 3%-ного NaCl;

- выявлено влияние концентрации хлорид-иона на коррозионную стойкость алюминиевого сплава АМгб, в среде электролита NaCl.

#### **Научная новизна работы:**

- на основании выполненных исследований установлены полиномы температурных зависимостей теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) для сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом;

- экспериментально установлены кинетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АМгб, легированного церием, празеодимом и неодимом, в твердом состоянии;

- определён механизм окисления сплавов;

- выявлен механизм действия церия, празеодима и неодима, как эффективной анодной добавки, улучшающей коррозионную стойкость алюминиевого сплава АМгб, в среде электролита NaCl;

- определено влияние концентрации хлорид-иона на скорость коррозии сплавов;

#### **Практическая значимость работы:**

- экспериментально полученные данные по температурным зависимостям теплоемкости и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом пополняют страницы соответствующих справочников;

- на основе проведённых исследований разработаны составы коррозионно-стойких сплавов, которые представляют практический интерес. (получен малый патент Республики Таджикистан, №972 от 17.10.2018)

#### **Исходные материалы, синтез сплавов, методы исследования и анализа.**

В качестве исходного материала использовали алюминий марки А995 (ГОСТ 110669-01), магний «металлический гранулированный» марки ХЧ (ТУ-112-40), церий марки Це ЭО (ТУ 48-295-83), празеодим –ПрМ-1 (ТУ 48-40-215-72) и неодим –НМ-2 (ТУ 48-40-205-72). Лигатуры алюминия с 10 мас.% РЗМ были получены в вакуумной печи сопротивления типа СНВЭ -1.3.1/16 ИЗ в атмосфере гелия под избыточным давлением 0.5 мПа. Далее лигатуры вводились в расплав алюминия. Синтез сплавов проводился в тиглях из оксида алюминия в шахтной печи электрического сопротивления типа СШОЛ при температуре 750–850°C. Взвешивание шихты производили на аналитических весах АРВ-200 с точностью  $0.1 \cdot 10^{-4}$  кг. Химический состав сплавов оценивали методом атомно-эмиссионного спектрального анализа на установке дифракционного спектрографа ДФС-452 и многоканальной оптической регистрирующей системе МОРС-9, а также гравиметрическим методом.

Количество легирующих добавок церия, празеодима и неодима в сплаве АМгб контролировалось с помощью микроанализатора к электронному

микроскопу Южно-Корейского производства серии AIS-2100. Объекты исследования были представлены в форме цилиндра высотой 30 мм и диаметром 16 мм.

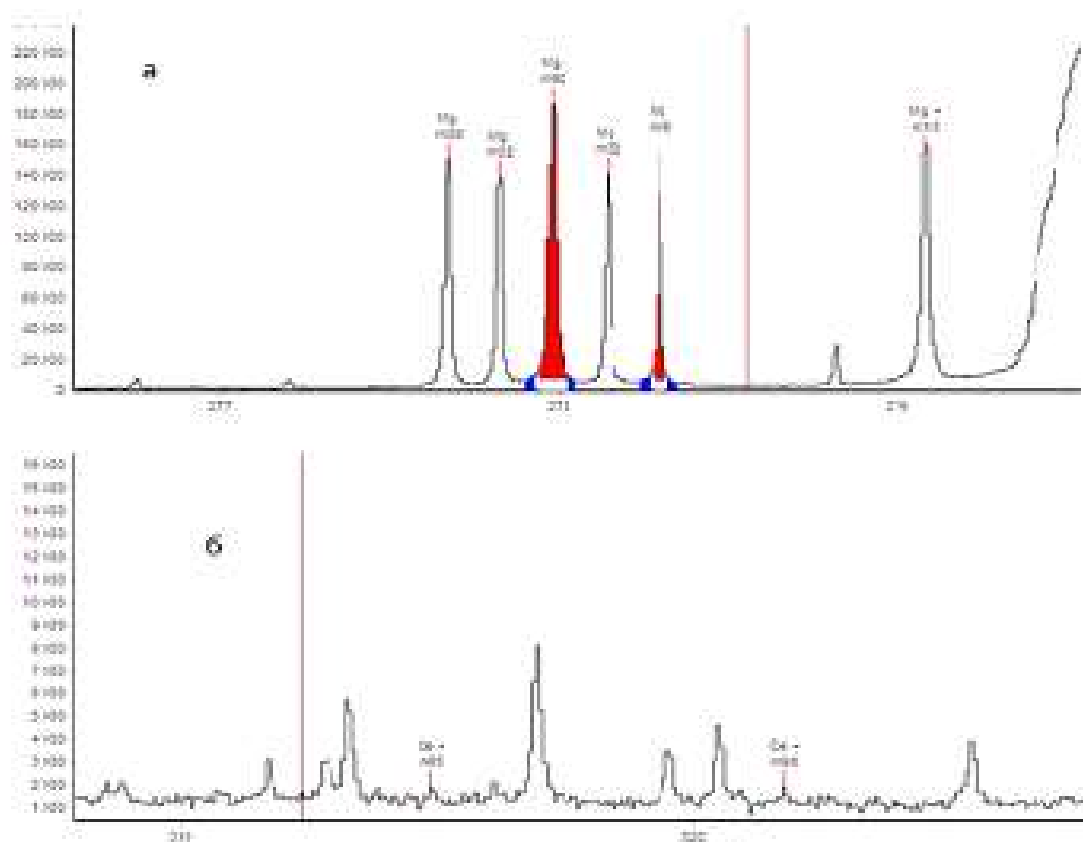


Рисунок 1- Интенсивность дифракционных линий, относящихся к магнию (а) и церию (б) в сплаве АМгб

В качестве примера на рисунке 1 приведена интенсивность дифракционных линий для магния и церия, которые показывают соответствие состава шихты и полученных сплавов. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в весе до и после сплавления не превышала 2% (отн.).

Наиболее простым и доступным методом аналитического определения редкоземельных металлов является гравиметрический метод. В разбавленных растворах сильных кислот оксалаты редкоземельных металлов малорастворимы. Для этого в анализируемый раствор предварительно добавляли соляную кислоту до концентрации не более 5Н. Затем раствор нагревали, прибавляли 30 мл (на 150 мл исходного раствора) насыщенного раствора щавелевой кислоты и отстаивали 12 часов на водяной бане. Затем осадок отфильтровывали и промывали 2%-ным раствором  $H_2C_2O_4$  (рН 0.5) с добавлением HCl. Оксалаты редкоземельных металлов рекомендуется прокалить при 973 К. При этом получают оксиды с общей формулой  $Me_2O$ , только празеодим образует  $Pr_6O_{11}$ .

### **Методология и методы исследования:**

- метод исследования теплоёмкости металлов и сплавов в режиме «охлаждения» с использованием автоматической регистрации температуры образца от времени охлаждения;
- термогравиметрический метод изучения кинетики окисления металлов и сплавов;
- потенциостатический метод исследования анодных свойств алюминиевого сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом, в потенциодинамическом режиме (на потенциостате ПИ-50-1.1) ;
- ИК-спектроскопическое исследование продуктов окисления сплавов на приборе ИК-20.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты исследования температурных зависимостей теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом;
- полученные кинетические и энергетические характеристики процесса высокотемпературного окисления сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом в твердом состоянии;
- установленный механизм окисления сплавов;
- эффективность добавок церия, празеодима и неодима в качестве легирующей добавки к сплаву АМгб, улучшающей его коррозионную стойкость, в среде электролита NaCl.

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

**Степень достоверности и апробация результатов.** Основные положения диссертации обсуждались на: Республиканской научно-практической конференции, посвященной 35-летию кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ТТУ имени М.С. Осими, (Душанбе, 2009); Республиканской научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан, образованию Механико-технологического факультета и 20-летию кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология», ТТУ имени М.С. Осими, (Душанбе, 2011); Международной научно-практ. конф. «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии», ХМИ им. Ж. Абишева (Казахстан, Караганда, 2011); Республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», посвящённой 70-летию доктора химических наук, профессора Азизкуловой О.А. (Душанбе, 2011); Республиканской конференции «Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды и технических материалов» (Душанбе, 2013); Республиканской научно-практической конференции «Внедрение наукоёмкой техники и технологий в производстве» (Душанбе, 2013); VII-й Международной

научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования», ТТУ имени М.С. Осими, (Душанбе, 2014); Научной конференции «Современные проблемы естественных и социально-гуманитарных наук», посвященной 10-летию Научно-исследовательского института ТНУ, (Душанбе, 2014); Международной научно-практической конференции, посвященной 1150-летию персидско-таджикского учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази (Душанбе, 2015); VIII-ой Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования», посвященной 25-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 60-летию ТТУ имени М.С. Осими (Душанбе, 2016).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 20 научных работ, из них 7 в журналах, рекомендованных ВАК РФ – «Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И.Носова»; «Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук»; «Доклады АН Республики Таджикистан»; «Политехнический Вестник ТТУ имени М.С.Осими»; «Вестник Технологического университета Таджикистана» и 13 публикаций в материалах международных и республиканских конференций, получен один малый патент Республики Таджикистан.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и приложения, изложена на 140 страницах компьютерного набора, включает 54 рисунка, 48 таблиц, 103 библиографических наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6 С ЦЕРИЕМ, ПРАЗЕОДИМОМ И НЕОДИМОМ

Для измерения удельной теплоемкости металлов применяют закон охлаждения Ньютона-Рихмана. Любой предмет, имея температуру выше окружающей среды, охлаждается, и скорость его охлаждения зависит от коэффициента теплоотдачи и величины теплоемкости тела.

При сравнении кривых охлаждения двух металлических стержней определенной формы (температуры, как функции времени), из которых один является эталоном (известны его скорость охлаждения и теплоемкость) можно рассчитать теплоемкость другого стержня при расчете скорости его охлаждения.

Теряемое ранее разогретым телом массой  $m$  при его охлаждении на  $dT$  градусов количество теплоты  $\delta Q$ , рассчитывается по формуле:

$$\delta Q = c_p^0 m dT, \quad (1)$$

где  $C_p^0$  – удельная теплоемкость вещества, из которого состоит тело.

Допуская, что через поверхность тела происходит потеря энергии, считают, что теряемое через поверхность тела за промежуток времени  $dt$  количество теплоты  $\Delta Q_S$  будет пропорционально разности температур тела  $T$  и окружающей среды  $T_0$ , площади поверхности  $S$  и времени  $\tau$ :

$$\delta Q_S = -\alpha(T - T_0) \cdot S d\tau \quad (2)$$

При перепаде температур на 1К коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  (Вт/м<sup>2</sup>·К) не всегда является постоянным и зависит от разности температур, вследствие чего закон является приближительным. При рассмотрении теплового потока, как вектора, следует учесть, что он перпендикулярно направлен к площади поверхности, через которую при единичном температурном напоре проходит  $\alpha$ -количество теплоты, отдаваемое за единицу времени с 1 м<sup>2</sup> поверхности. На тепловой поток влияет ряд факторов: геометрия тела, состояние поверхности и направление обтекания; режим течения и вид конвекции; температура напора; вид теплоносителя и его температура. Следовательно,  $\alpha$ -функция процесса теплоотдачи не является табличной величиной, а определяется экспериментально, являясь расчетной величиной.

Когда из тела тепло выделяется так, что изменяется одинаково температура всех его точек, применяется следующее уравнение:

$$\delta Q = \delta Q_S \text{ и } C_p^0 m dT = -\alpha(T - T_0) \cdot S d\tau \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде:

$$C_p^0 \cdot m \left( \frac{dT}{d\tau} \right) = -\alpha(T - T_0) S \quad (4)$$

Полагая, что  $C_p^0$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $T$  и  $T_0$  в малых интервалах температур не зависят от координат точек поверхности образца, разогретых до равной температуры окружающей среды, для двух образцов соотношение (4) будет следующим:

$$C_{p1}^0 \cdot m_1 \cdot S_2 \cdot \alpha_1 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 \cdot m_2 \cdot S_1 \cdot \alpha_2 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2 \quad (5)$$

Применение данного равенства для двух образцов, один из которых является эталоном, имеющих равные состояния поверхностей и размеры ( $S_1=S_2$ ), предполагает, что их коэффициенты теплоотдачи будут равны  $\alpha_1=\alpha_2$ , тогда выражение примет вид:

$$C_{p1}^0 \cdot m_1 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1 = C_{p2}^0 \cdot m_2 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2 \quad (6)$$

Согласно (6), зная удельную теплоемкость эталона  $C_{p1}^0$ , скорости его охлаждения  $\left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1$ , эталона и неизвестного образца  $\left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2$ , их массы  $m_1$  и  $m_2$ , можно рассчитать теплоёмкость неизвестного вещества  $C_{p2}^0$  по:

$$C_{p2}^0 = \frac{C_{p1}^0 \cdot m_1 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_1}{m_2 \left( \frac{dT}{d\tau} \right)_2}, \quad (7)$$

Ранее ряд авторами был экспериментально установлен вышеописанным методом значение теплоёмкости для меди и алюминия. Результаты, полученные в ходе эксперимента, совпадают с данными, имеющимися в литературных источниках.



## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СПЛАВА АМг6 С ЦЕРИЕМ, ПРАЗЕОДИМОМ И НЕОДИМОМ

Температурную зависимость теплоёмкости сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом изучали в режиме «охлаждения» в интервале температур 298,15-800К.

Полученные в ходе эксперимента зависимости температуры от времени охлаждения для образцов из сплава АМг6 представлены на рисунке 2 и описываются уравнением вида:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[ (T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (8)$$

Проводя дифференцирование уравнения (8) по  $\tau$ , получим уравнение для определения скорости охлаждения образцов из сплава АМг6 с церием вида (9):

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{2} \left[ -\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right) e^{-\frac{\tau}{\tau_1}} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right) e^{-\frac{\tau}{\tau_2}} \right]. \quad (9)$$

По уравнению (9) была рассчитана скорость охлаждения образцов, которые приведены на рис. 2, графически в виде зависимости  $dT/d\tau-T$ . В таблице 1 для исследованных сплавов представлены экспериментальные значения коэффициентов  $\Delta T_1, \tau_1, \Delta T_2, \tau_2$  уравнения (9).

Таблица 1. - Значения коэффициентов уравнения (9) для образцов из сплава АМг6, с церием

Содержание Се в сплаве, мас.%	$\Delta T_1, \text{K}$	$\tau_1, \text{C}$	$\Delta T_2, \text{K}$	$\tau_2, \text{C}$	$\Delta T_1/\tau_1, \text{K/c}$	$\Delta T_2/\tau_2, \text{K/c}$	$\Delta T_0, \text{K}$
Сплав АМг6 (1)	240.2345	132.1231	340.9267	528.4574	1.8183	0.6451	308.7166
(1) +0.05Се	134.7867	110.7174	433.2288	467.1587	1.2174	0.9274	315.2344
(1) +0.1Се	242.1490	122.5490	354.1016	477.9201	1.9759	0.7409	311.9374
(1) +0.5Се	231.8924	142.9572	342.0510	526.0113	1.6221	0.6503	311.5098
Эталон (Cu марки М00)	176.1173	99.0099	404.2012	561.1987	1.7788	0.7202	315.4805

Результаты эксперимента обработаны по программе MSExcel, графики построены с помощью программы SigmaPlot. При этом значение коэффициента регрессии составлял не менее 0,998.

Для вычисления удельной теплоемкости сплава АМг6 с церием использованы значения скорости охлаждения образцов из эталона и сплава АМг6 с церием.

Обработывая полученные экспериментальные и имеющиеся литературные данные по теплоемкости сплава АМг6 и церия, и используя уравнение (7), получили следующие полиномы температурной зависимости удельной теплоемкости для сплава АМг6 и церия (в скобках представлены соответствующие им коэффициенты регрессии):

$$C_p^{0 \text{ АМг6}} = 197.8304 - 0.7362T + 5.38 \cdot 10^{-3} T^2 + 4.4 \cdot 10^{-7} T^3; \quad (R=0.9991) \quad (10)$$

$$C_p^{0 \text{ Се}} = 113.4286 + 0.3276T - 3.3571 \cdot 10^{-4} T^2 + 6.6667 \cdot 10^{-7} T^3 \quad (R=0.9997)$$

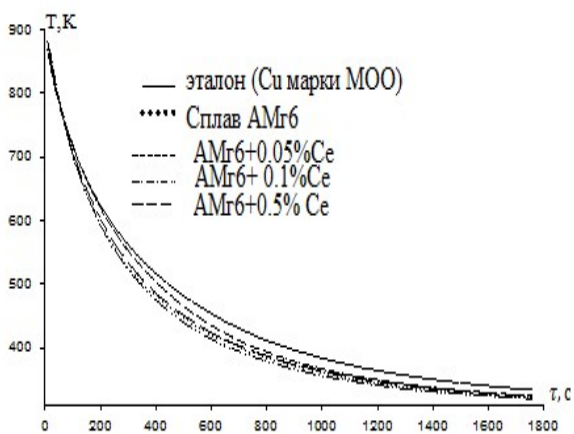


Рисунок 2 - График зависимости температуры образцов от времени охлаждения для эталона (Cu марки М00) и сплава АМг6 с церием.

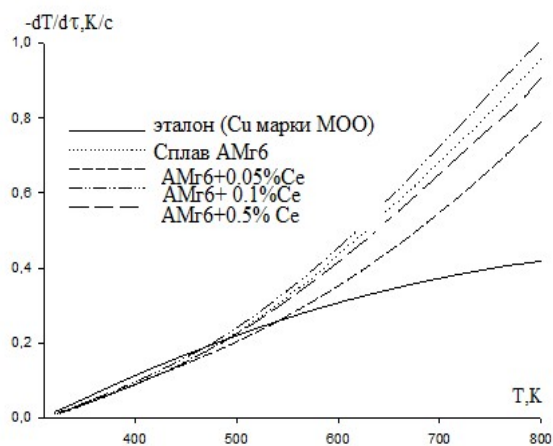


Рисунок 3 - Температурная зависимость скорости охлаждения эталона (Cu марки М00) и сплава АМг6 с церием.

Затем по полученным экспериментально величинам скорости охлаждения образцов из сплавов и по рассчитанным значениям теплоемкости для сплава АМг6 с церием вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ , Вт/К·м<sup>2</sup>) для сплавов. Результаты расчёта представлены на рисунке 4.

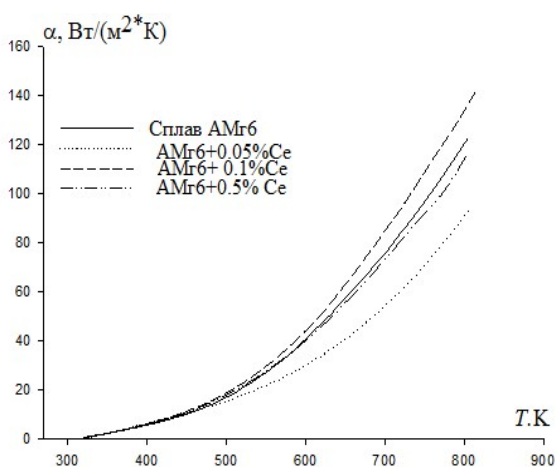


Рисунок 4 - Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АМг6 с церием

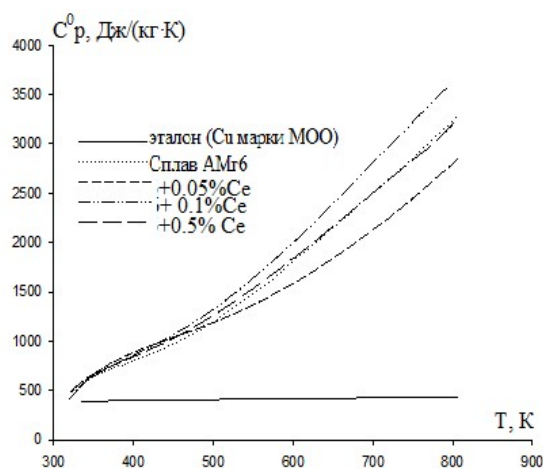


Рисунок 5 - Зависимость удельной теплоёмкости от температуры для сплава АМг6 с церием.

Применив уравнение (7) с использованием значения скорости охлаждения образцов из сплавов, была рассчитана удельная теплоемкость сплава АМг6 с церием, температурная зависимость которых описываются общим уравнением:

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

Рассчитанные значения теплоёмкости для сплава АМг6 с церием через 100 К приведены в таблице 3 и на рисунке 5.

Значение коэффициентов в уравнении (11) приведены в таблице 2.

Таблица 2- Значения коэффициентов  $a, b, c, d$  в уравнении (11) для сплава АМг6 с церием

Содержание церия в сплаве, мас.%	$a,$ Дж/кг·К	$b,$ Дж/кг·К <sup>2</sup>	$c,$ Дж/кг·К <sup>3</sup>	$d,$ Дж/кг·К <sup>4</sup>	Коэффициент корреляции, R, %
Сплав АМг6 (1)	197.8304	-0.7362	0.00538	$4.40 \cdot 10^{-7}$	0.9991
(1)+0.05Ce	-2788.21	17.0171	-0.02690	$1.79 \cdot 10^{-5}$	0.9985
(1)+0.1Ce	-749.188	3.7911	-0.00119	$4.17 \cdot 10^{-6}$	0.9990
(1)+0.5Ce	-274.172	1.7578	0.00180	$1.85 \cdot 10^{-6}$	0.9993
Эталон (Cu марки М00)	324.454	0.2751	$2.87 \cdot 10^{-4}$	$1.42 \cdot 10^{-7}$	1.00

При вычислении температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса были применены интегралы от удельной теплоемкости по (11):

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

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

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

где  $T_0=298,15K$ .

Результаты расчёта изменений энтальпии для сплава АМг6 с церием через 100 К представлены на рисунке 6.

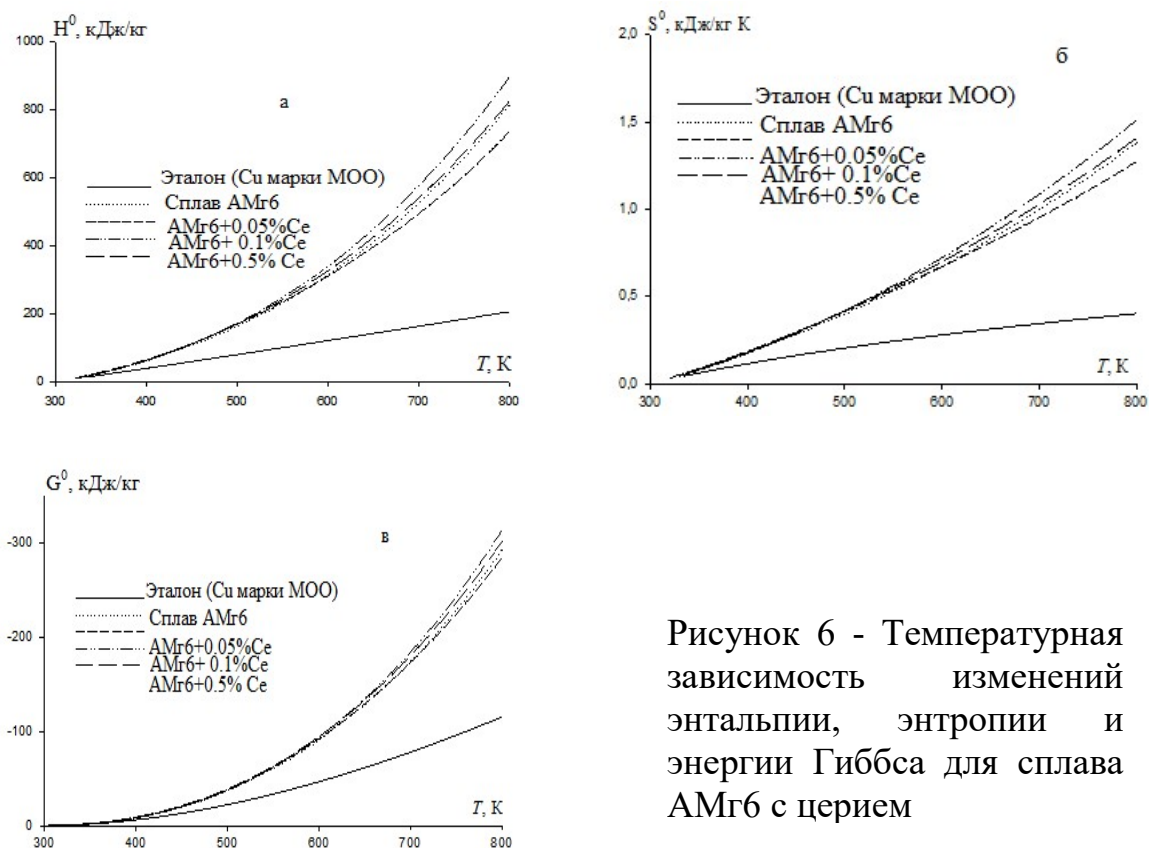


Рисунок 6 - Температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АМг6 с церием

Таблица 3 - Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/кг·К) сплава АМг6 с церием

Содержание церия в сплаве, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АМг6 (1)	449.290	735.990	1119.730	1597.870	2167.770	2826.790
(1)+0.05Ce	379.230	860.240	1232.850	1604.460	2082.470	2774.280
(1)+0.1Ce	393.632	843.732	1370.112	1997.792	2751.792	3657.132
(1)+0.5Ce	465.117	835.347	1285.978	1828.108	2472.838	3231.268
Эталон (Cu марки М00)	384.988	397.662	408.004	416.866	425.100	433.558

Проведенные исследования показали, что с ростом температуры удельная теплоемкость, энтальпия, энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается (рис.6).

Таблица 4- Температурная зависимость удельной теплоёмкости сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом

Т,К	Теплоемкость, Дж/кг·К					РЗМ		
	Эталон (Cu марки М00)	АМг6	+ 0,5% Ce	+ 0,5% Pr	+ 0,5% Nd	Ce	Pr	Nd
300	384.99	449.29	465.12	583.80	339.97	292	184	190.1
400	397.66	735.99	835.35	823.41	888.62	202	202	199.7
500	408.00	1119.73	1285.98	1190.62	1184.07	212	211	210.1
600	416.87	1597.87	1828.11	1638.33	1485.52	228	224	223.3
700	425.10	2167.77	2472.84	2119.44	2052.17	234	238	236.2
800	433.56	2826.79	3231.27	2586.85	3143.22	246	253	252.8

В таблицах 4 и 5 приведены обобщенные результаты исследования теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплава АМг6, содержащего по 0,5 мас.% РЗМ. Видно, что с ростом температуры, теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается. При переходе от сплавов с церием к сплавам с празеодимом величины теплоемкости, энтальпии и энтропии сплавов уменьшаются далее к неодиму растут, что согласуется с литературными данными для чистых РЗМ в пределах подгруппы (табл.4).

Таким образом, исследована температурная зависимость коэффициента теплоотдачи, удельной теплоемкости и изменение термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) для сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом. Установлена закономерность изменений указанных свойств от содержания РЗМ в сплаве АМг6.

Таблица 5 - Температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом

Содержание РЗМ в сплаве, мас.%	$H^0(T)-H^0(T_0)$ , кДж/кг для сплавов					
	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АМг6 (1)	0.8700	63.1700	163.2700	313.1400	524.9800	811.2600
(1)+0,5 Ce	0.8549	65.2676	170.6453	325.5910	539.8200	824.1587
(1)+0,5 Pr	0.8860	68.6184	174.4588	318.0970	500.4830	723.8280
(1)+0,5 Nd	0.6200	65.2400	169.9000	302.2500	475.8500	730.1700
Эталон (Cu марки М00)	0.71	39.87	80.17	121.42	163.52	206.45
$S^0(T)-S^0(T_0)$ , кДж/кг·К для сплавов						
Сплав АМг6 (1)	0.0029	0.1799	0.4015	0.6732	0.9984	1.3795
(1)+0,5 Ce	0.0029	0.1856	0.4188	0.6997	1.0285	1.4069
(1)+0,5 Pr	0.0036	0.2007	0.4220	0.6778	0.9663	1.2803
(1)+0,5 Nd	0.0021	0.1842	0.4165	0.6570	0.9235	1.2615
Эталон (Cu марки М00)	0.0024	0.1149	0.2048	0.2800	0.3449	0.4022
$G^0(T)-G^0(T_0)$ , кДж/кг для сплавов						
Сплав АМг6 (1)	-0.0027	-8.8070	-37.4790	-90.7800	-173.9030	-292.3230
(1)+0,5 Ce	-0.0025	-8.9645	-38.7533	-94.232	-180.1570	-301.3815
(1)+0,5 Pr	-0.1946	-11.681	-36.5414	-88.5730	-175.9510	-300.3910
(1)+0,5 Nd	-0.0019	-8.4380	-38.3630	-91.9550	-170.6030	-279.0220
Эталон (Cu марки М00)	-0.0022	-6.1070	-22.2430	-46.5850	-77.9020	-115.3110

\* $T_0=298.15\text{K}$

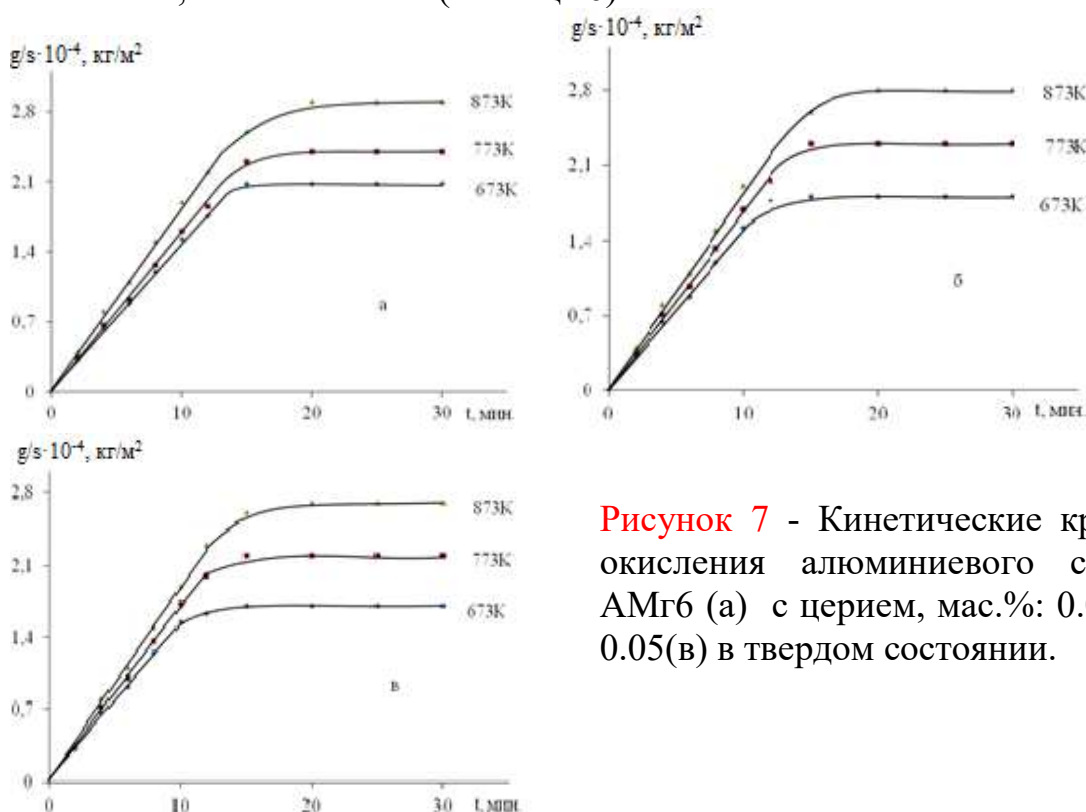
### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕРИЯ, ПРАЗЕОДИМА И НЕОДИМА НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМг6, В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ

Для исследования влияния церия, празеодима и неодима на кинетику окисления сплава АМг6, были синтезированы серии сплавов с содержанием 0.01, 0.05, 0.1 и 0.5 мас.% РЗМ. Окисление сплавов в твердом состоянии, проводили термогравиметрическим методом на воздухе, для чего измеряли увеличение массы образца вследствие роста оксидной пленки во времени при постоянной температуре.

Скорость окисления вычисляли по касательным, проведенным к нескольким точкам кривых окисления, а значение кажущейся энергии активации по тангенсу угла наклона зависимости  $\lg K-1/T$ . Результаты исследования представлены в таблицах 6, 7 и на рисунках 7,8.

Кинетику окисления исходного сплава АМг6 в твердом состоянии исследовали при температурах 673 К, 773 К и 873 К (рисунок 7а). Сформировавшаяся оксидная пленка в начальных стадиях процесса, по-видимому, не обладает достаточными защитными свойствами, о чем

свидетельствует рост скорости окисления. Значение скорости окисления сплава АМг6 при указанных температурах составляет  $3.04 \cdot 10^{-4}$ ;  $3.56 \cdot 10^{-4}$  и  $4.12 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг/м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$ ., соответственно (таблица 6).



**Рисунок 7** - Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АМг6 (а) с церием, мас.%.: 0.01(б); 0.05(в) в твердом состоянии.

В качестве примера на рисунке 7б представлены кинетические кривые окисления сплава АМг6, легированного 0.01 мас.% церием, которые характеризуются резким повышением удельного веса образца в начальном периоде процесса окисления с последующим замедлением. Процесс окисления заканчивается примерно к 15-20 минутам, от начала окисления и после этого не наблюдается изменений веса образцов вплоть до 30 минут.

Сплав АМг6, содержащий 0.01 мас.% церий, характеризуется меньшей окисляемостью по сравнению с исходным сплавом. Уменьшение скорости окисления сопровождается увеличением кажущейся энергии активации окисления (таблица 6). Если значение энергии активации исходного сплава составляет 37.8 кДж/моль, то значение этого параметра для сплава, с 0.01 мас.% церием равняется 41.7 кДж/моль.

Окисление сплава АМг6, легированного 0.05 мас.% церием изучали при 673, 773 и 873 К. Из приведенных на рисунке 7в кинетических кривых окисления сплава видно, что максимальная величина привеса  $\Delta g/s$  при окислении равняется  $2.7 \cdot 10^{-4} \text{кг/м}^2$ , минимальная -  $1.71 \cdot 10^{-4} \text{кг/м}^2$ . Кажущаяся энергия активации окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости скорости окисления от обратной температуры, составляет 47.4 кДж/моль (таблица 6).

Таблица 6. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава АМгб с церием, в твердом состоянии

Содержание церия в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль
0.0	673	3.04	37.8
	773	3.56	
	873	4.12	
0.01	673	3.00	41.7
	773	3.43	
	873	4.06	
0.05	673	2.87	47.4
	773	3.23	
	873	3.76	
0.1	673	2.54	59.7
	773	2.96	
	873	3.46	
0.5	673	2.33	68.2
	773	2.71	
	873	3.13	

Кинетические кривые окисления сплава АМгб с 0.1 и 0.5 мас.% церием в координатах  $(\text{g/s})^2 \cdot t$  представлены на рисунке 8, а их математические модели в таблице 7. Непрямолинейный характер кривых и изменение значения  $n$  в уравнении  $y=x^n$  от 2 до 5 свидетельствует о гиперболическом механизме окисления сплавов.

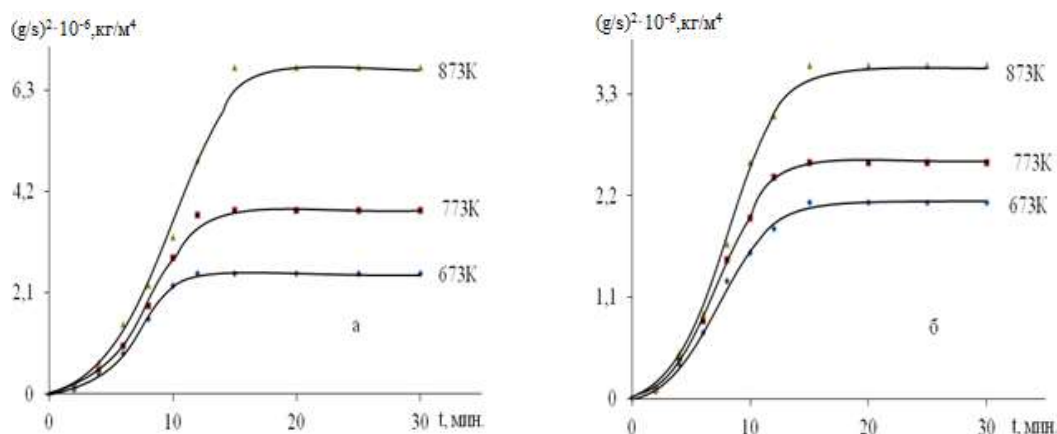


Рисунок 8- Квадратичные кинетические кривые окисления сплава АМгб с церием, мас. %: 0.1(а); 0.5(б), в твердом состоянии

Изохронны окисления, соответствующие температуре 773К, приведены на рисунке 9. На данных кривых отмечается, уменьшение скорости окисления сплавов по мере увеличения содержания церия в них. На кривых отчетливо проявляется минимум скорости окисления для сплава, содержащего 0.5 мас.%

Се, что сопровождается увеличением кажущейся энергии активации от содержания церия в сплаве.

Таблица 7- Полиномы кривых окисления сплава АМг6 с церием, в твердом состоянии.

Содержание церия в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Полиномы кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции R, %
0.0	673	$y^* = 1E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,0091x^2 + 0,1243x^{**}$	0.995
	723	$y = 1E-05x^4 - 0,0008x^3 + 0,01x^2 + 0,1246x$	0.996
	873	$y = 1E-05x^4 - 0,0007x^3 + 0,0082x^2 + 0,1646x$	0.998
0.1	673	$y = -4E-06x^5 + 0,0003x^4 - 0,0092x^3 + 0,1041x^2 - 0,1891x$	0.989
	723	$y = 7E-05x^4 - 0,0042x^3 + 0,071x^2 - 0,0922x$	0.981
	873	$y = 3E-06x^5 - 0,0002x^4 + 7E-05x^3 + 0,054x^2 - 0,0711x$	0.988
0.5	673	$y = -2E-06x^5 + 0,0001x^4 - 0,0046x^3 + 0,0557x^2 - 0,0658x$	0.998
	723	$y = -2E-06x^5 + 0,0002x^4 - 0,0066x^3 + 0,0786x^2 - 0,119x$	0.996
	873	$y = -2E-06x^5 + 0,0002x^4 - 0,0065x^3 + 0,0892x^2 - 0,1589x$	0.994

$y^*$  – привес сплавов;

$x^{**}$  - время (продолжительность окисления сплавов).

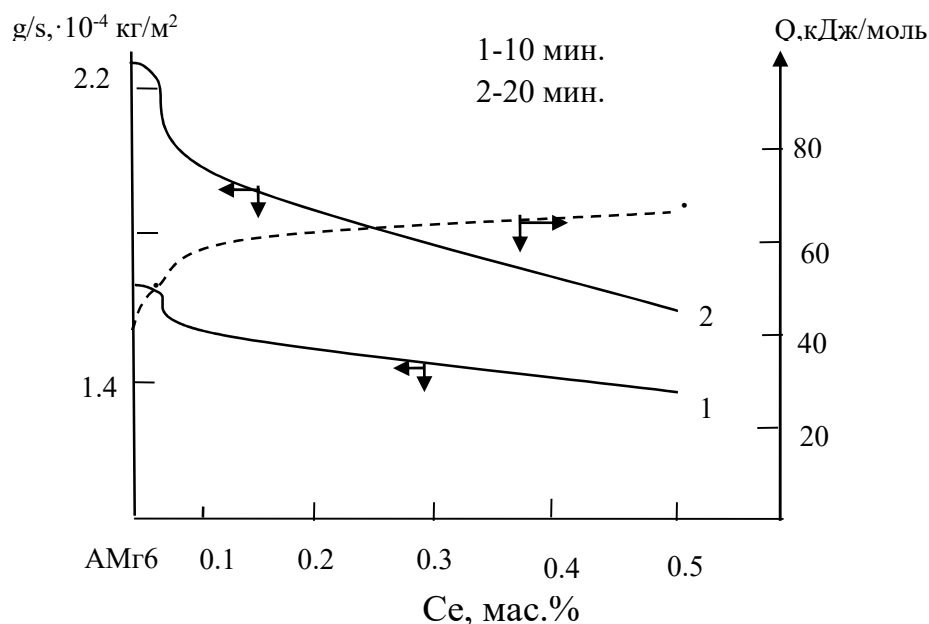


Рисунок 9 - Изохронны окисления алюминиевого сплава АМг6 с церием при 773К

Сплав АМг6, с церием, менее склонен к окислению, что связано как с относительно невысокой активностью церия, так и с хорошим защитным действием пленки его оксида вместе с оксидом алюминия. Образующиеся при окислении сплава оксидные пленки исследованы нами на инфрактометре UR-20. В ИК-спектрах оксидов, образующихся при окислении сплава АМг6, содержащего 0.5 мас.% церия, имеется полоса поглощения при 590-630 см<sup>-1</sup>,



которая идентифицирована нами, как принадлежащая к связям в  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . На ИК-спектрах продуктов окисления сплавов также присутствуют полосы поглощения при 525, 635, 1090  $\text{см}^{-1}$ , которые нами отнесены к связям в оксидах  $\text{CeO}$  и  $\text{CeO}_2$ .

По результатам исследования установлено, что оптимальной концентрацией церия при легировании алюминиевого сплава АМг6 можно считать 0.05-0.5 мас. %.

Таблица 8- Зависимость кажущейся энергии активации процесса окисления сплава АМг6 с Ce, Pr, Nd, в твердом состоянии

Содержание РЗМ, мас. %	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
Система					
АМг6+Ce	37.8	41.7	47.4	59.7	68.2
АМг6+Pr		39.5	44.6	60.7	73.4
АМг6+Nd		40.1	48.7	68.3	81.4

Таким же образом, исследована кинетика окисления сплава АМг6 с празеодимом и неодимом. В таблице 8 представлены величины кажущейся энергии активации процесса окисления сплава АМг6 с Ce, Pr, Nd, в твердом состоянии.

Так, для всех исследованных систем имеет место общая тенденция к увеличению скорости окисления с повышением температуры. Добавки церия, празеодима и неодима, судя по величине энергии активации увеличивают устойчивость исходного сплава АМг6 к окислению; величины привеса оксидной плёнки сплава АМг6 с редкоземельными металлами близки между собой и равняется  $(1.6-2.8) \cdot 10^{-4}$   $\text{кг/м}^2$ . Кажущаяся энергия активации процесса окисления сплава АМг6 с содержанием РЗМ до 0.05 мас. % при переходе от сплавов с церием к сплавам с празеодимом уменьшается, далее к сплавам с неодимом растёт (таблица 8). Процесс окисления сплава АМг6 с церием, празеодимом и неодимом подчиняется гиперболическому закону.

### **АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6 С ЦЕРИЕМ, ПРАЗЕОДИМОМ И НЕОДИМОМ**

Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали цилиндрические стержни диаметром 8-10 и длиной 100-140мм, боковую часть которых изолировали, а торцевую часть подвергали шлифовке и полировке тонкой наждачной бумагой, промывали дистиллированной водой, спиртом и после сушки в эксикаторе использовали в качестве рабочего электрода.

Исследования проводили на потенциостате ПИ-50-1.1 и самописца ЛКД-4-002, в среде электролита NaCl марки ЧДА (ГОСТ 4233-77), при скорости

развертки потенциала составляла  $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$ . Электродом сравнения служил хлорид серебряный, а вспомогательным - платиновый.

В настоящей работе исследования проводили в нейтральной среде NaCl различной концентрации, согласно рекомендациям ГОСТ 9.017-74, то есть в имитате морской воды с целью определения влияния хлорид-иона на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава АМг6, легированного церием.

При электрохимических испытаниях потенциостатическим методом образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис.10, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала  $-1100 \text{ мВ}$  (рис.10, кривые II и III) в результате происходило подщелачивание при электродного слоя поверхности сплава, после чего образцы поляризовали вновь в положительном направлении (рис.10, кривая IV). На полученных таким образом потенциодинамических кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал коррозии  $E_{\text{кор}}$  и ток коррозии  $i_{\text{кор}}$ , потенциалы питтингообразования  $E_{\text{по}}$  и репассивации  $E_{\text{реп}}$ . Величину  $E_{\text{реп}}$  определяли графически как потенциал, при котором наблюдается первый перегиб на обратном ходе анодной кривой. Расчет тока коррозии, как основной электрохимической характеристики процесса коррозии, проводили по катодной кривой с учетом таффелевской константы, равной  $v_k = 0.12 \text{ В}$ , поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии определяли по формуле  $K = i_{\text{кор}} \cdot k$ , где  $k = 0.335 \text{ г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$  для алюминия,  $i_{\text{кор}}$  - ток коррозии. Содержание церия в сплаве АМг6 составляло 0.01, 0.05, 0.1; 0.5 мас. %.

Результаты исследования представлены в таблицах 9-11. Как известно, о коррозионном поведении металлов и сплавов можно судить по различным электрохимическим характеристикам. Установившееся значение потенциала свободной коррозии и характер его зависимости от времени испытаний могут дать ряд важных сведений о поведении металла в коррозионной среде. Как правило, большое смещение потенциала коррозии в положительную область указывает на то, что скорость анодной реакции может уменьшиться вследствие пассивации. Тем самым предварительно можно предсказать, что такая система в естественных условиях эксплуатации окажется более коррозионностойкой. Временная зависимость потенциала свободной коррозии исходного сплава АМг6 и сплавов с различным содержанием церия свидетельствует, что в первые минуты погружения сплава в раствор электролита наблюдается резкое смещение потенциала в область положительных значений.

Динамика изменения потенциала свободной коррозии при увеличении времени выдержки в среде электролита NaCl свидетельствует о скорости формирования защитного оксидного слоя на поверхности сплава. Так, если для исходного сплава АМг6  $E_{\text{св.кор}}$  стабилизируется в течение 1 час., то для сплавов, легированных церием, данный процесс завершается в течение 40-50 мин., что

свидетельствует об ускорении процесса формирования защитного слоя у легированных сплавов по сравнению с исходным сплавом. Наиболее положительное значение потенциала (-0.880В) характерно для сплава АМг6, легированного 0.05мас.% церием, в среде электролита 0.03 %-ного NaCl. Подобная тенденция имеет место во всех трех исследованных средах.

Таблица 9- Потенциал (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{св.кор.}$ , В) сплава АМг6 с церием, в среде электролита NaCl

Содержание церия в сплаве, мас.%	Концентрация NaCl, мас%		
	0.03	0.3	3.0
-	1.040	1.104	1.124
0.01	0.920	1.065	1.098
0.05	0.880	1.035	1.025
0.10	0.960	1.052	1.075
0.50	1.000	1.062	1.088

Таблица 10- Скорость коррозии сплава АМг6 содержащего церия в среде электролита NaCl

Содержание церия в сплаве, мас.%	Концентрация NaCl, мас.%					
	0.03		0.3		3.0	
	$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$k \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$	$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$k \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$	$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$k \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot \text{час}^{-1}$
-	0.017	5,69	0.026	8.71	0.038	12.73
0.01	0.016	5.36	0.024	8.04	0.036	12.06
0.05	0.013	4.36	0.022	7.37	0.029	9.71
0.10	0.020	6.70	0.025	8.38	0.031	10.38
0.50	0.031	10.38	0.028	9.38	0.037	12.39

Таблица 11- Потенциал питтингообразования ( $-E_{п.о.}$ , В) сплава АМг6 с церием от концентрации NaCl

Содержание церия в сплаве, мас.%	Концентрация NaCl, мас.%		
	0,03	0,3	3,0
-	0.352	0.450	0.630
0.01	0.322	0.434	0.600
0.05	0.316	0.424	0.580
0.10	0.332	0.448	0.590
0.50	0.340	0.490	0.600

Повышение концентрации легирующего компонента приведет к уменьшению потенциала коррозии. С увеличением концентрации хлорид - иона потенциал свободной коррозии смещается в отрицательную область, что свидетельствует о снижении коррозионной стойкости сплавов с ростом агрессивности коррозионной среды (таблица 9). Это подтверждается расчётом

скорости коррозии сплавов из катодной ветви потенциодинамических кривых (таблица 10).

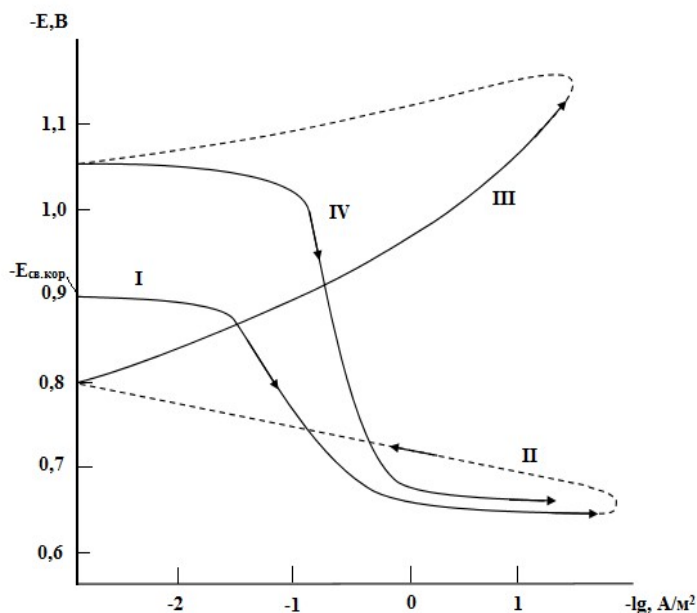


Рисунок 10. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава АМг6, в среде электролита 3%-ного NaCl

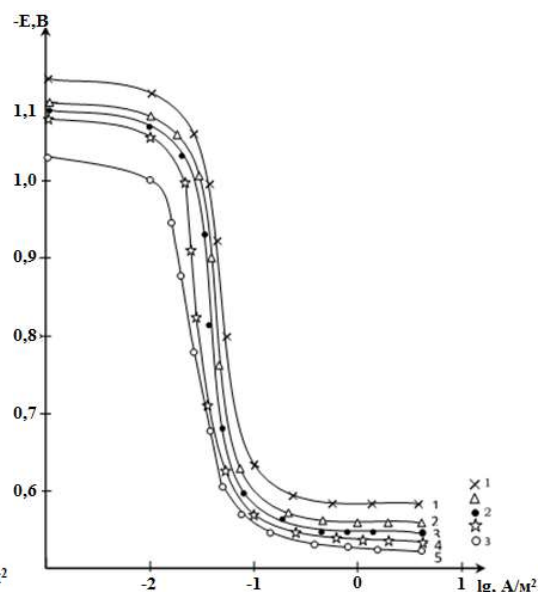


Рисунок 11- Потенциодинамические (2 мВ/с) анодные поляризационные кривые сплава АМг6 (1), содержащего церий, мас.%. В среде электролита 3%-ного NaCl. E- потенциал (В), i- плотность тока ( $A \cdot m^{-2}$ ).

Как видно из таблицы 10, минимальное значение скорости коррозии в указанных средах относится к сплаву, легированному 0.05 мас.% церием, при дальнейшем увеличении его концентрации ток коррозии растёт, следовательно, коррозионная стойкость падает.

В качестве примера на рисунке 11 представлен анодные ветви поляризационных кривых алюминиевого сплава АМг6, легированного церием, в среде электролита 3%-ного NaCl. Видно, что присутствие церия в сплаве АМг6 несколько изменяет ход анодных кривых в сторону меньших значений плотности тока и более положительную область значений потенциалов.

Изучение анодных кривых сплавов в других средах показывает, что по мере разбавления электролита NaCl (влияние хлорид-иона среды ослабляется) исследуемые образцы сплавов становятся более пассивными, то есть более устойчивыми к коррозионному разрушению. Об этом свидетельствует и сдвиг  $E_{п.о}$  в более положительную область значений по мере разбавления раствора (таблица 11).

В таблице 12 обобщены величины потенциала питтингообразования сплавов в зависимости от концентрации электролита NaCl и содержания легирующей добавки. С увеличением концентрации хлорид-иона потенциал

питтингообразования, как и потенциал коррозии сплавов, смещается в отрицательную область.

Таблица 12- Влияние церия, празеодима и неодима на скорость коррозии алюминиевого сплава АМгб, в среде электролита NaCl

Легирующий элемент	Содержание легирующего элемента, мас. %	Концентрация NaCl, мас. %					
		0.03		0.3		3.0	
		$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot Ч^{-1}$	$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot Ч^{-1}$	$i_{кор}, A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot Ч^{-1}$
Ce	-	0.017	5,69	0.026	8.71	0.038	12.73
	0.01	0.016	5.36	0.024	8.04	0.036	12.06
	0.05	0.013	4.36	0.022	7.37	0.029	9.71
	0.10	0.020	6.70	0.025	8.38	0.031	10.38
	0.50	0.031	10.38	0.028	9.38	0.037	12.39
Pr	0.01	0,014	4,69	0,022	7,37	0,032	10,72
	0.05	0,013	4,36	0,020	6,70	0,028	9,38
	0.10	0,015	5,19	0,023	7,71	0,030	10,05
	0.50	0,016	5,34	0,024	8,04	0,033	11,01
Nd	0.01	0,016	5,36	0,022	7,37	0,030	10,05
	0.05	0,012	4,02	0,020	6,70	0,025	8,38
	0.10	0,013	4,36	0,023	7,71	0,027	9,045
	0.50	0,014	4,69	0,024	8,04	0,031	10,39

В таблице 12 обобщены результаты исследования скорости коррозии сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом от концентрации последних в среде 3%, 0,3% и 0,03%-ного NaCl.

Видно, что с ростом концентрации церия, празеодима и неодима до 0,05% наблюдается снижение скорости коррозии. Дальнейшее повышение концентрации легирующего компонента несколько увеличивает скорость коррозии исходного сплава. Легирующие элементы по характеру влияния на рост скорость коррозии сплава АМгб располагаются следующим образом: Nd→Pr→Ce, т.е. по мере увеличения заряда ядра РЗМ увеличивается коррозионная стойкость сплавов.

## ВЫВОДЫ

1. Для алюминиево-магниевого сплава АМгб, легированного добавками церия, празеодима и неодима в режиме «охлаждения» изучены зависимости теплоемкости, коэффициента теплоотдачи и термодинамические характеристики (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса) от температуры процессов. Выявлено, что теплоёмкости и коэффициенты теплоотдачи увеличиваются при увеличении содержания легирующих компонентов и роста

температуры. При переходе от сплавов с церием к сплавам с неодимом величины теплоёмкости и коэффициента теплоотдачи сплавов уменьшаются, что согласуется с литературными данными для чистых РЗМ в пределах подгруппы.

2. Исследованиями температурных зависимостей изменений термодинамических характеристик сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом показано, что энтальпия и энтропия сплавов в ряду Ce → Pr → Nd увеличиваются, а энергия Гиббса снижается.

3. Кинетика окисления сплава АМгб, легированного РЗМ изучена методом термогравиметрии и выявлено, что в твёрдом состоянии для окисления сплавов наблюдается гиперболическая зависимость. Величины кажущейся энергии активации процессов окисления сплава АМгб, легированных добавками РЗМ до 0.05 мас.% при переходе от сплавов с церием к сплавам с празеодимом уменьшаются. У сплавов с 0.1-0.5 мас.% РЗМ (Ce, Pr, Nd) энергия активации от сплавов с церием к сплавам с неодимом увеличивается. Максимальная кажущаяся энергия активации процесса окисления отмечается у сплава АМгб, легированного неодимом.

4. Основные электрохимические и коррозионные характеристики сплавов АМгб с добавками церия, празеодима и неодима изучены потенциодинамическим способом в средах электролита NaCl с концентрациями от 0.3 до 3.0%. Показано, что легирующие компоненты (Ce, Pr и Nd) с содержаниями до 0.05 мас.% существенно снижают скорость коррозии, независимо от концентраций электролита. При содержании легирующих добавок выше 0,05 мас.% скорость коррозии увеличивается.

5. Исследованы электрохимические характеристики сплава АМгб, легированного Ce, Pr и Nd, и влияние ионов хлора на электрохимические характеристики. Установлено, что снижение содержания ионов хлора в составе электролита уменьшает скорость коррозии сплавов и сдвигает электродные потенциалы в области более положительных значений.

6. Разработаны оптимальные составы новых сплавов на базе сплава АМгб с церием, празеодимом и неодимом, которые защищены малым патентом Республики Таджикистан №ТJ972 от 17.10.2018

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

### **Список статей, опубликованных в научных журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации**

1. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние церия, празеодима и неодима на электрохимические характеристики алюминиевого сплава АМгб, в нейтральной среде NaCl// Вазиров Н.Ш., Норова М.Т., Ганиев И.Н.// Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – №2. – Т.16. С. 41-47.

2. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние церия на кинетику окисления сплава АМг6, в твёрдом состоянии/ Вазиров Н.Ш., Норова М.Т., Ганиев И.Н., Курбонова М.З.// Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – №2. – С.156-161.
3. Норова, М.Т. Коррозия алюминиево-магниевого сплава, легированного некоторыми редкоземельными металлами/ Норова М.Т., **Вазиров Н.Ш.**, Ганиев И.Н., Иброхимов Н.Ф.// Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2018. – №5. – Том 61. С. 480-484.
4. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние празеодима на кинетику окисления сплава АМг6, в твёрдом состоянии/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И., Бердиев А.Э., Норова М.Т. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – №9. – Том 58. – С.840-844.
5. **Вазиров, Н.Ш.** Кинетика окисления сплава АМг6, легированного церием/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И., Бердиев А.Э. // Вестник технологического университета Таджикистана. – 2014. – №1(22). С.13-15.
6. **Вазиров, Н.Ш.** Коррозионно-электрохимическое поведение сплава АМг6, легированного церием/ Вазиров Н.Ш., Норова М.Т., Ганиев И.Н., Махсудова М.С.// Известия Академии наук Республики Таджикистан. – 2013. – №3(152). – С.91-97.
7. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние неодима на анодное поведение сплава АМг6 / Н.Ш. Вазиров, И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов, Шарипова Х.Я. // Политехнический Вестник Таджикский технический университет имени акад. М.С.Осими -2018. - №4 (44), Душанбе 2018г.–С.52-55.

**Статьи, опубликованные в материалах Международных и  
Республиканских конференций:**

8. **Вазиров, Н.Ш.** Потенциодинамическое исследование сплава Al+6% Mg, легированного церием/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Махсудова М.С., Эшов Б.Б.// Материалы Республиканской научно-технической конференции, посвящённой 20-летию Государственной независимости Республики Таджикистан и образованию «Механико-технологического факультета» и 20-летию кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология». – Душанбе. – 2011. С.71-73.
9. **Вазиров, Н.Ш.** О коррозионном потенциале сплава АМг6, легированного церием, в среде электролита NaCl/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Махсудова М.С.// Материалы Республиканской научно-технической конференции посвящённой 20-летию Государственной независимости Республики Таджикистан образованию «Механико-технологического факультета» и 20-летию кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология». – Душанбе. 2011. С.50-51.
10. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние магния на кинетику окисления сплава Al+0.05% Ва/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Махсудова М.С., Эшов Б.Б.// Материалы Международной научно-практической конференции по обогащению и металлургии. – Абишевские чтения. – Караганда. 2011. С.174-176.

11. **Вазиров, Н.Ш.** Исследование продуктов окисления низколегированных сплавов системы алюминий-магний-ЩЗМ / Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Максудова М.С., Эшов Б.Б.// Материалы республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений», посвящённой 70 летию доктора химических наук, профессора Азизкуловой О.А. –Душанбе. –2011. С.115-117.
12. **Вазиров, Н.Ш.** О коррозионном потенциале сплава АМг6, легированного празеодимом в среде электролита NaCl/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Максудова М.С., Эшов Б.Б.// Сборник Республиканской конференции «Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды и технических материалов», –Душанбе. –2013. –С.33-35.
13. **Вазиров, Н.Ш.** Анодное поведение сплавов Al+6%Mg, легированного празеодимом в среде 0,03%-ного NaCl/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Максудова М.С.// Внедрение наукоёмкой техники и технологий в производстве. Материалы Республиканской научно-практической конференции, – Душанбе. –2013. –С.11-12.
14. **Вазиров, Н.Ш.** Температурная зависимость теплофизических свойств сплавов АМг6 и АМг2/ Вазиров Н.Ш., Низомов З., Ганиева Н.И., Иброхимов Н.Ф., // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования». – Душанбе. – 2014. Част 1, – С. 212-215.
15. **Вазиров, Н.Ш.** Температурная зависимость удельной теплоёмкости алюминиевых сплавов АМг2, АМг4, и АМг6/ Вазиров, Н.Ш. Низомов З. Ганиева Н.И. Иброхимов Н.Ф., Иброхимов С.Дж. //Материалы научной конференции «Современные проблемы естественных и социально-гуманитарных наук», посвященная 10-летию Научно-исследовательского института–Душанбе. –2014. С.143-145.
16. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние неодима на электрохимическое поведение сплава АМг6/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Максудова М.С.// Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 1150-летию персидско-таджикского учёного-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази. – Душанбе, –2015. С.137-139.
17. **Вазиров, Н.Ш.** Анодное поведение сплава АМг6, легированного неодимом в среде электролита NaCl/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т.// Материалы XII Нумановские чтения «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан». – Душанбе. – 2015. С.89-91.
18. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние неодима на анодное поведение сплава АМг6/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т.// Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» посвященной 25-летию Государственной Независимости Республики Таджикистан и 60-летию ТТУ имени М.С.Осими.– Душанбе. – 2016. –Часть 2. С. 77-80
19. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние кальция на анодные характеристики сплава Al+0,2%Mg/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Максудова М.С.//



Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в Республики Таджикистан». Душанбе –2016. С.67-68.

20. **Вазиров, Н.Ш.** Влияние церия на кинетику окисления сплава АМг6 в твёрдом состоянии/ Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Одиназода Х.О.// Материалы XIV Нумановских чтений, посвященных «Году молодёжи», «Вклад молодых учёных в развитие химической науки Института химии имени В.И.Никитина АН РТ». –2017. С.117-120.

#### **Изобретения по теме диссертации:**

21. **Малый патент №ТJ 972** Республики Таджикистан. Способ повышения коррозионной устойчивости алюминиево-магниевых сплавов / Ганиев И.Н., Одинаев Х.О., Вазиров Н.Ш., Норова М.Т., Иброхимов Н.Ф., Шарипова Х.Я., Давлатзода Ф.С. Приоритет изобретения от 17.10.2018; Бюллетень изобретений (№143).- 2018.- 2с.