

На правах рукописи



АМОНОВА АЗИЗА ВАЛИЕВНА

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ Zn_{5Al} и Zn_{55Al} ,
ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ**

02.00.04 – физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Душанбе – 2016

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

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

Обидов Зиёдулло Рахматович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Хакдодов Махмадшариф Махмудович** – доктор технических наук, профессор, чл.корр. АН Республики Таджикистан, профессор кафедры металлургии Филиала Национального исследовательского технологического университета «Московского института стали и сплавов» НИТУ «МИСиС») в г.Душанбе

Сафаров Амиршо Гоибович – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Физико-технического института им. С.У. Умарова Академии наук Республики Таджикистан

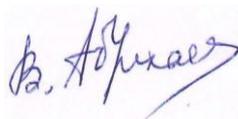
Ведущая организация: Государственное научно-экспериментальное и производственное учреждение Академии наук Республики Таджикистан (ГНЭПУ АН РТ)

Защита состоится «29» июня 2016г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 047.003.02 при Институте химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г.Душанбе, ул. Айни, 299/2.
E-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан www.chemistry.tj.

Автореферат разослан «__» _____ 2016г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор химических наук, профессор



Абулхаев В.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Изделия, конструкция и сооружения из металла составляют наиболее значительную и ценную часть основных производственных фондов любой промышленно развитой страны, и их защита от коррозии позволяет снизить экономические потери от коррозии и обеспечивает дальнейший технический прогресс. Знание основных закономерностей взаимодействия компонентов в сплавах дают возможность прогнозировать свойства сплавов и определить области их использования.

Стремительный рост количества производимого металла сопровождается быстрым ростом экономических потерь от коррозионного разрушения. Этому способствовало то обстоятельство, что получили развитие такие металлоемкие отрасли промышленности, как металлургия, химическая, нефтяная, автомобильный транспорт и авиация, для которых характерно использование весьма агрессивных сред, высоких температур и давлений. Для этих отраслей коррозионная стойкость или химическое сопротивление конструкционного материала одна из важнейших, а часто и самая важная характеристика, определяющая надёжность и срок службы технологического оборудования.

За последние годы интерес исследователей к цинк-алюминиевым сплавам не уменьшается, что привело к широкому применению за рубежом их как защитных противокоррозионных покрытий в различных отраслях промышленности. Им присвоены название Гальфан I (цинк+5мас.% алюминия) и Гальфан II (цинк+55мас.% алюминия).

Настоящая работа посвящена исследованию влияния добавок скандия, иттрия и эрбия на теплофизические свойства и термодинамические функции, кинетики окисления гальфановых сплавов Zn5Al и Zn55Al, изучению их анодного поведения с целью оптимизации состава.

Цель работы заключается в разработке оптимального состава цинк-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, предназначенных в качестве анодного покрытия для защиты от коррозии стальных конструкций, изделий и сооружений.

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

- исследованы теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов;
- изучена кинетика и механизм процесса окисления сплавов в твердом состоянии;
- определены фазовые составляющие продуктов окисления сплавов и их роль в процессе окисления;
- установлены закономерности изменения анодных характеристик сплавов в различных агрессивных средах;
- разработаны оптимальные составы цинк-алюминиевых сплавов, легированных скандием, иттрием и эрбием, которые защищены тремя патентами Республики Таджикистан.

Научная новизна работы. На основе экспериментальных исследований установлена температурная зависимость теплофизических характеристик и термодинамических функции сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием. Определены кинетические параметры и механизм процесса

окисления тройных сплавов. Установлены закономерности изменения анодных характеристик сплавов Zn5Al и Zn55Al от содержания легирующего компонента в среде электролитов NaCl, HCl и NaOH, а также от pH среды.

Практическая значимость работы заключается в разработке оптимального состава сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, отличающиеся коррозионной стойкостью и защитой их малыми патентами Республики Таджикистан.

Тема диссертационной работы входит в «Стратегию Республики Таджикистан в области науки и технологии на 2007-2015г.» и в «Программу внедрения важнейших разработок в Республике Таджикистан на 2010-2015г.».

Методы исследования:

- метод микрорентгеноспектрального анализа состава сплавов на сканирующем электронном микроскопе SEM (в Открытом университете г.Маджлиси Исламской Республике Иран);
- метод измерения теплоемкости сплавов в режиме «охлаждения»;
- термогравиметрический метод изучения кинетики окисления сплавов;
- метод рентгенофазового анализа продуктов окисления сплавов;
- потенциостатический метод исследования сплавов с использованием потенциостата ПИ-50.1.1.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования температурных зависимостей теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием;
- закономерности изменения кинетических и энергетических характеристик процесса окисления цинк-алюминиевых сплавов, легированных скандием, иттрием и эрбием;
- результаты исследования продуктов окисления тройных сплавов и механизм окисления сплавов в твердом состоянии;
- закономерности изменения анодных характеристик сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, в зависимости от pH среды.

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 работы. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих научных конференциях и семинарах: VI Междунар. научно-практ. конф. «Нумановские чтения». Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан (Душанбе, 2009); Респуб. научно-практ. конф. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». Таджикский технический университет (ТТУ) им. акад. М.С. Осими (Душанбе, 2009); Респуб. научно-теорет. конф. «Молодежь и современная наука». Комитет молодежи, спорта и туризма при Правительстве Республики Таджикистан (Душанбе, 2010); IV Междунар. научно-

практ. конф. «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2010); Респуб. научно-практ. конф. «Инновационные технологии в науке и технике». Технологический университет Таджикистана (Душанбе, 2010); Респуб. научно-практ. конф. «Академик М. Осими и развития образования». ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2011); Респуб. науч. конф. «Проблемы современной координационной химии». Таджикский национальный университет (Душанбе, 2011); Междунар. научно-практ. конф. «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии»- Абишевские чтения. Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева (Казахстан, Караганда, 2011); Респуб. научно-техн. конф. «Методы повышения качество и целесообразности процессов производства». ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2011); V Междунар. конф. «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в высших учебных заведениях стран СНГ».- ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2011); Респуб. научно-практ. конф. «Пути инновационного совершенствования обучения технологических дисциплин в учебных заведениях».- ТГПУ им. С.Айни (Душанбе, 2011); IV Респуб. научно-практ. конф. «Из недр земли до горных вершин».- Таджикский горно-металлургический университет (Чкаловск, 2011); Респуб. научно-практ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан» (Душанбе, 2012); Респуб. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроении и методики их преподавания».- ТГПУ им. С.Айни (Душанбе, 2012); Междунар. конф. «Нефть и газ Западной Сибири».- ТюмГНГУ (Тюмень, 2013); Междунар. научно-практ. конф., посв. 1150-летию Абу Бакра Мухаммада ибн Закария Рази.- Институт химии АН Республики Таджикистан (Душанбе, 2015); Респуб. науч. конф. «Актуальные проблемы современной науки». Филиал НИТУ «МИСиС» в городе Душанбе (Душанбе, 2015); Всероссийской научно-практ. конф. «Новые технологии – нефтегазовому региону». ТюмГНГУ (Тюмень, 2015); Респуб. конф. «Состояние химической науки и её преподавание в образовательных учреждениях Республики Таджикистан».- ТГПУ им. С.Айни (Душанбе, 2015).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 24 работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК Министерство образования и науки Российской Федерации – «Журнал физической химии», «Известия ВУЗов. Цветная металлургия», «Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук», «Доклады АН Республики Таджикистан», «Вестник ТТУ им. М.С. Осими» и получено 3 патента Республики Таджикистан на составы разработанных сплавов.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, 4 глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 160 страницах компьютерного набора, включает 51 таблицу, 84 рисунка. Список литературы включает 87 наименований.

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

В первой главе «Физико-химические свойства цинка, алюминия, редкоземельных металлов и покрытий на основе цинка» приведен анализ имеющихся литературных данных по теплофизическим свойствам цинка, алюминия и редкоземельных металлов, а также по окислению и коррозионно-электрохимическому поведению анодных защитных цинк-алюминиевых покрытий. В частности показано, что элементы II и III группы периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева и сплавы с их участием находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Сплавы цинка и алюминия являются основой многих коррозионностойких сплавов и защитных покрытий.

Вторая глава посвящена исследованиям температурных зависимостей теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, иттрием и эрбием.

В третьей главе работы приведены результаты исследования кинетики высокотемпературного окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием.

Четвёртая глава посвящена исследованиям электрохимических свойств сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием в различных агрессивных средах.

Выполненный обзор литературы показывает, что кинетика окисления чистых элементов II и III группы периодической таблицы исследована, хотя информация носит ограниченный характер. Имеются сведения о характере взаимодействия оксидов алюминия с оксидами редкоземельных металлов и цинка в пределах двойных систем. Показано, что сведений о взаимодействии оксидов указанных металлов в рамках тройных систем в литературе и сети интернета отсутствуют.

Расширение областей применения, особенно в различных агрессивных средах цинк-алюминиевых сплавов, требует систематических исследований физико-химических и коррозионно-электрохимических свойств твёрдых сплавов с участием скандия, иттрия и эрбия. Однако, обзор литературы свидетельствует, что теплофизические и термодинамические свойства, кинетика окисления и анодное поведение сплавов Zn5Al (Гальфан I) и Zn55Al (Гальфан II) со скандием, иттрием и эрбием практически не исследованы.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно заключить, что исследование кинетики окисления сплавов Zn5Al (сплав цинка с 5 мас.% алюминия) и Zn55Al (сплав цинка с 55 мас.% алюминия) со скандием, иттрием и эрбием, установление закономерностей изменения анодных характеристик, теплофизических и термодинамических свойств данных сплавов, легированных скандием, иттрием и эрбием, предназначенных в качестве защитных покрытий стальных конструкций и изделий из них, являются актуальной задачей и имеют как фундаментальный, так и прикладной характер.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ СПЛАВОВ Zn₅Al и Zn₅₅Al, ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ

Установка и методика измерения теплоёмкости твердых тел. В настоящей работе для измерения удельной теплоемкости металлов использован закон охлаждения Ньютона.

Измерение удельной теплоемкости сплавов производилось на установке, собранной на кафедре общей физики Таджикского национального университета. Принцип работы установки: электропечь смонтирована на скамье, по которой она может перемещаться вправо и влево. Образец представляет собой цилиндр длиной 30мм и диаметром 16мм с высверленным каналом с одного конца, в который вставлена термопара. Концы термопары подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208». Печь подключается к сети через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), установив напряжение 30В. По показаниям цифрового термометра, отмечаем значение начальной температуры. Вдвигаем образец в печь, и нагреваем до 600 К, контролируя температуру по показаниям цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208», образец быстро выдвигаем из печи. С этого момента фиксируем температуру (по показаниям цифрового термометра) и одновременно начинаем отсчет времени остывания образца секундомером. Записываем показания цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208» на компьютер через каждые 10с, до охлаждения температуры образца ниже 35°C. Строим график зависимости температуры охлаждения T образца от времени t : $T=f(t)$. Вся обработка результатов измерений проводилась на компьютере с помощью программы Microsoft Office Excel, а графики строились с помощью программы Sigma Plot. Как правило, удалось подобрать такой режим в данной установке, что погрешность аппроксимации не превышала 1%, о чём свидетельствует сокращение времени обработки экспериментальных данных и увеличение их точности.

Сплавы, для исследования, были получены в шахтной печи электрического сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 650-750°C. В качестве исходного материала использовали цинк марки ХЧ (гранулированный), алюминий марки А7 и его лигатур со скандием (2 мас.%), иттрием (7 мас.%) и эрбием (10 мас.%). Взвешивание шихты производили на аналитических весах АРВ-200 с точностью $0.1 \cdot 10^{-4}$ кг. Перед исследованием образцы очищали от образующегося оксида. Шихтовка сплавов проводилась с учётом угара металлов. Химический анализ элементного состава указанных сплавов контролировался на электронном микроскопе SEM серии AIS2100 (Южная Корея).

Температурная зависимость теплоемкости термодинамических функций сплавов Zn₅Al и Zn₅₅Al

В режиме «охлаждения» исследованы теплофизические характеристики двойных сплавов Zn₅Al и Zn₅₅Al в интервале температур 300÷600 К. Экспериментально полученные временные зависимости температуры образцов с достаточно хорошей точностью описываются уравнением вида:

$$T = a \exp(-b\tau) + p \exp(-k\tau), \quad (1)$$

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

$$\text{для Zn55Al} \quad T = 418.7113 \exp(-0.0021997 \tau) + 297.4893 \exp(-0.000024674 \tau), \quad (2)$$

$$\text{для Zn5Al} \quad T = 415.594 \exp(-0.0027825 \tau) + 354.5006 \exp(-0.00011711 \tau), \quad (3)$$

Дифференцируя уравнение (1) по τ , для определения скорости охлаждения сплавов Zn5Al и Zn55Al имеем:

$$\frac{dT}{d\tau} = -ab \exp(-b\tau) - pkk \exp(-k\tau) \quad (4)$$

По уравнению (4) нами были вычислены скорости охлаждения цинк-алюминиевых сплавов, графический вид которого приведены на рисунке 1.

Используя вычисленные по правилу аддитивности данные по теплоемкости сплавов Zn5Al и Zn55Al и экспериментально полученные величины скорости охлаждения, нами была рассчитана коэффициент теплоотдачи (α , Вт/К·м²) для сплавов Zn5Al и Zn55Al по формуле (5).

$$|\alpha(T)| = \frac{C(T)m(dT/d\tau)}{S(T-T_0)} \quad (5)$$

Для цинк-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al температурная зависимость коэффициента теплоотдачи имеет вид:

$$\text{Zn5Al} \quad |\alpha(T)| = 5.4722 - 0.0834T + 3.0880 \cdot 10^{-3}T^2 - 2.2725 \cdot 10^{-7}T^3, \quad (6)$$

$$\text{Zn55Al} \quad |\alpha(T)| = 7.3142 + 0.0791T + 6.3354 \cdot 10^{-4}T^2 - 1.3978 \cdot 10^{-8}T^3 \quad (7)$$

В результате эксперимента (с учетом скорости охлаждения образцов) получено следующее уравнение температурной зависимости удельной теплоемкости (Дж/(кг·К)) для сплавов Zn5Al (8) и Zn55Al (9) в интервале температур 300-650К (рисунок 2):

$$\text{Zn5Al} \quad C_p^{\text{Zn5AL}} = 484.1771 - 0.5739T + 1.3846 \cdot 10^{-3}T^2 - 7.7432 \cdot 10^{-7}T^3 \quad (8)$$

$$\text{Zn55Al} \quad C_p^{\text{Zn55AL}} = 612.9926 + 0.1277T + 2.3465 \cdot 10^{-4}T^2 - 5.1942 \cdot 10^{-8}T^3 \quad (9)$$

Для расчета температурной зависимости энтальпии, энтропии и энергии Гиббса были использованы интегралы от молярной теплоемкости сплавов Zn5Al и Zn55Al (Дж/моль·К):

$$H(T) = H(0) + \int_0^T C_p(T) dT, \quad S(T) = \int_0^T C_p(T) d \ln T, \quad G(T) = H(T) - TS(T) \quad (10)$$

Для сплавов Zn5Al и Zn55Al получены следующие уравнения температурных зависимостей энтальпии (кДж/моль), энтропии (Дж/(моль·К)) и энергии Гиббса (кДж/моль) (рисунок 3,4):

$$\text{Zn5Al} \quad H(T) = H(0) + 31.6458T - 0.01875T^2 + 3.0165 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.2652 \cdot 10^{-8}T^4, \quad (11)$$

$$\text{Zn55Al} \quad H(T) = H(0) + 27.6458T - 0.01875T^2 + 3.0165 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.2652 \cdot 10^{-9}T^4 \quad (12)$$

$$\text{Zn5Al} \quad S(T) = 31.6458 \ln T - 0.03751T + 4.5248 \cdot 10^{-5}T^2 - 1.6869 \cdot 10^{-8}T^3, \quad (13)$$

$$\text{Zn55Al} \quad S(T) = 27.6827 \ln T - 0.0057669T + 5.298 \cdot 10^{-5}T^2 - 7.819 \cdot 10^{-9}T^3 \quad (14)$$

$$\text{Zn5Al} \quad G(T) = -31.6458 \cdot T(\ln T - 1) + 0.01875T^2 - 1.5083 \cdot 10^{-5}T^3 + 4.217 \cdot 10^{-9}T^4, \quad (15)$$

$$\text{Zn55Al} \quad G(T) = -27.6827T(\ln T - 1) - 0.02883T^2 - 1.766 \cdot 10^{-6}T^3 + 1.955 \cdot 10^{-9}T^4 \quad (16)$$

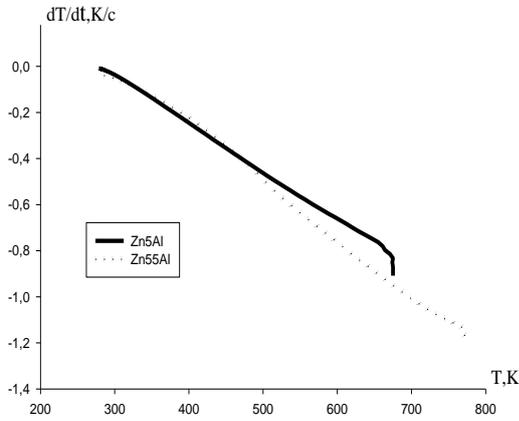


Рисунок 1. Температурная зависимость скорости охлаждения сплавов Zn5Al и Zn55Al.

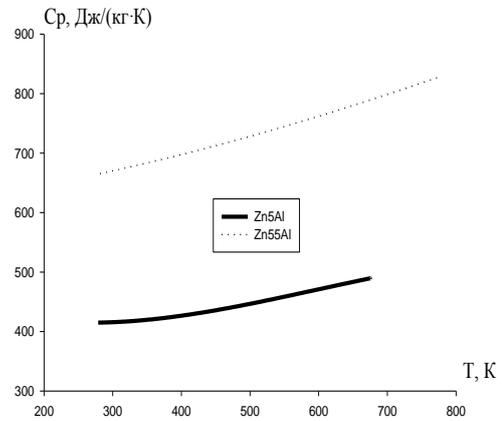


Рисунок 2. Температурная зависимость удельной теплоемкости сплавов Zn5Al и Zn55Al.

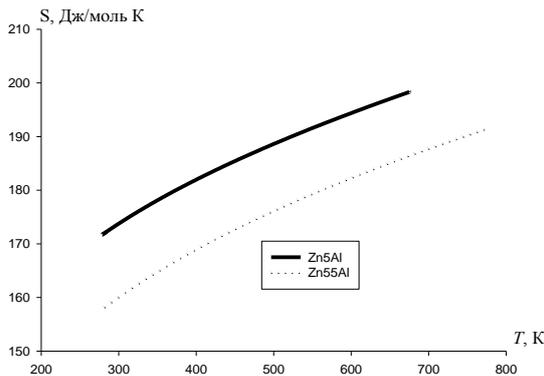


Рисунок 3. Температурная зависимость энтальпии сплавов Zn5Al и Zn55Al.

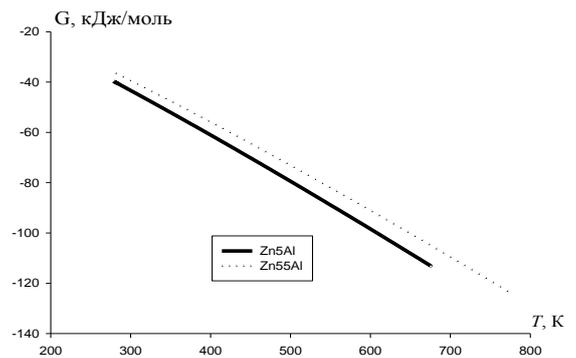


Рисунок 4. Температурная зависимость энергии Гиббса для сплавов Zn5Al и Zn55Al.

С ростом температуры коэффициент теплоотдачи, удельная теплоёмкость, энтальпия и энтропия исходных сплавов Zn5Al и Zn55Al увеличиваются, а величина энергии Гиббса уменьшается. Таким образом, получены уравнения температурной зависимости теплофизических характеристик и термодинамических функций сплавов Zn5Al и Zn55Al, которые с точностью $R_{\text{регр.}} = 0.999$ описывают эти свойства.

Теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием

По выше описанной методике были сняты кривые зависимости скорости охлаждения образцов сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, иттрием и эрбием от времени, а по уравнению (4) определяли скорость охлаждения образцов сплавов (таблица 1), далее рассчитали значения коэффициента теплоотдачи и удельную теплоемкость сплавов. Используя интегралы от молярной удельной теплоемкости исследованных сплавов по уравнению (10) вычислили величины энтальпии, энтропии и энергии Гиббса.

Результаты расчёта температурной зависимости коэффициента теплоотдачи, удельной теплоемкости, энтальпии, энтропии и энергии Гиббса через 50К на примере сплава Zn55Al, легированного иттрием представлены в таблицах 2-4 и на рисунке 4.

Таблица 1

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнение (4)
для сплава Zn55Al с иттрием

Y, мас.%	a , К	b , 10^{-3} c^{-1}	p , К	k , 10^{-4} c^{-1}	ab , Кс^{-1}	pk , Кс^{-1}
-	415.59	2.78	354.50	1.17	1.15	$4.14 \cdot 10^{-2}$
0.05	384.67	2.24	289.16	8.42	1.15	$4.13 \cdot 10^{-3}$
0.1	384.67	2.24	288.56	8.43	2.68	$3.78 \cdot 10^{-3}$
0.5	401.85	2.29	307.33	3.20	2.68	$3.81 \cdot 10^{-3}$

Получены следующие уравнения температурной зависимости теплоемкости для сплава Zn55Al (9) и сплавов с иттрием, мас. %:

$$\text{Zn55Al}+0.05\text{Y} \quad C_p = 612.9762 + 0.1284T + 2.3397 \cdot 10^{-4}T^2 - 5.1765 \cdot 10^{-8}T^3$$

$$\text{Zn55Al}+0.1\text{Y} \quad C_p = 612.9597 + 0.1292T + 2.3329 \cdot 10^{-4}T^2 - 5.1589 \cdot 10^{-8}T^3$$

$$\text{Zn55Al}+0.5\text{Y} \quad C_p = 612.8281 + 0.135T + 2.278 \cdot 10^{-4}T^2 - 5.0176 \cdot 10^{-8}T^3$$

Температурная зависимость энтальпии для сплавов Zn55Al (12) и Zn55Al с иттрием описываются следующими уравнениями:

$$0.05\% \text{ Y} \quad H = 27.6558T + 0.00285T^2 + 3.52 \cdot 10^{-6}T^3 - 5.8427 \cdot 10^{-10}T^4$$

$$0.1\% \text{ Y} \quad H = 27.6551T + 0.0029T^2 + 3.511 \cdot 10^{-6}T^3 - 5.823 \cdot 10^{-10}T^4$$

$$0.5\% \text{ Y} \quad H = 27.6753T + 0.003T^2 + 3.7134 \cdot 10^{-6}T^3 - 5.8883 \cdot 10^{-10}T^4$$

Для температурной зависимости энтропии сплава Zn55Al (14) и сплавов с иттрием получены следующие уравнения,

$$0.05\% \text{ Y} \quad S(T) = 27.6558 \ln T + 0.0057T + 5.28 \cdot 10^{-6}T^2 - 7.79 \cdot 10^{-10}T^3$$

$$0.1\% \text{ Y} \quad S(T) = 27.6551 \ln T + 0.0058T + 5.2665 \cdot 10^{-6}T^2 - 7.764 \cdot 10^{-10}T^3$$

$$0.5\% \text{ Y} \quad S(T) = 27.6753 \ln T + 0.006T + 5.14 \cdot 10^{-6}T^2 - 7.553 \cdot 10^{-10}T^3$$

Температурная зависимость энергии Гиббса для сплава Zn55Al (16) и сплавов с иттрием описываются следующими уравнениями,

$$\text{Zn55Al}+0.05\text{Y} \quad G(T) = -27.6558 \cdot T(\ln T - 1) - 0.00285T^2 - 1.76 \cdot 10^{-6}T^3 + 1.9473 \cdot 10^{-10}T^4$$

$$\text{Zn55Al}+0.1\text{Y} \quad G(T) = -27.6551 \cdot T(\ln T - 1) - 0.0029T^2 - 1.7555 \cdot 10^{-6}T^3 + 1.941 \cdot 10^{-10}T^4$$

$$\text{Zn55Al}+0.5\text{Y} \quad G(T) = -27.6753 \cdot T(\ln T - 1) - 0.003T^2 - 1.7134 \cdot 10^{-6}T^3 + 1.8883 \cdot 10^{-10}T^4$$

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоёмкости (C_p , Дж/кг·К)
сплава Zn55Al с иттрием

T, К	Содержание иттрия мас. % в сплаве Zn55Al			
	-	0.05	0.1	0.5
300	671.02	671.16	671.32	672.48
350	684.21	684.36	684.55	685.83
400	698.29	698.46	698.66	700.06
450	713.24	713.42	713.64	715.14
500	729.01	729.20	729.43	731.01
550	745.57	745.76	746.01	747.64
600	762.87	763.06	763.32	765.00
650	780.87	781.07	781.34	783.04

Как видно из рисунка 5 и таблицы 2 и 3 с увеличением доли иттрия в сплаве Zn55Al теплоемкость, энтропия и энтальпия увеличиваются, а величина энергии Гиббса уменьшается (таблица 3).

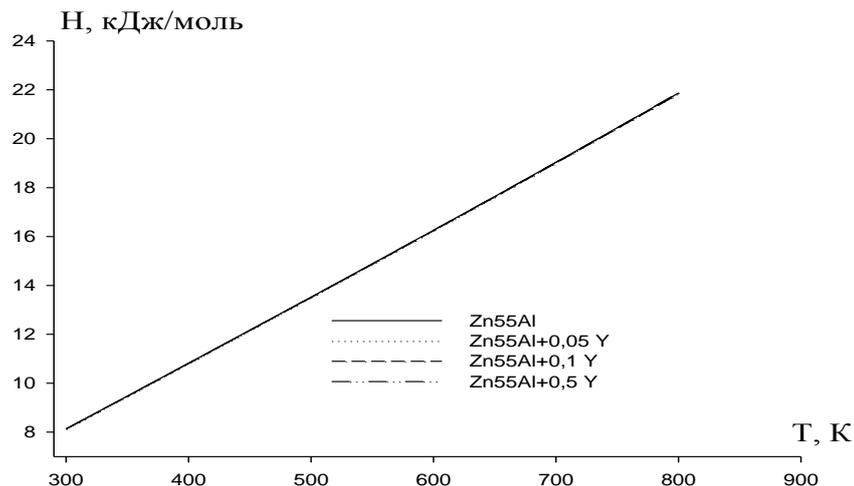


Рисунок 5. Температурная зависимость энтальпии сплава Zn55Al, легированного иттрием.

Таблица 3

Температурная зависимость энергии Гиббса (кДж/моль·К) сплава Zn55Al с иттрием

T, К	Содержание иттрия мас.% в сплаве Zn55Al			
	-	0.05	0.1	0.5
300	-39.37	-39.33	-39.33	-39.37
350	-47.49	-47.44	-47.45	-47.49
400	-55.84	-55.78	-55.79	-55.84
450	-64.38	-64.31	-64.32	-64.39
500	-73.11	-73.03	-73.04	-73.11
550	-81.99	-81.90	-81.92	-82.00
600	-91.04	-90.93	-90.95	-91.04
650	-100.2	-100.1	-100.1	-100.2

В таблицах 4 и 5 обобщены результаты исследования удельной теплоемкости и термодинамических функции сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, иттрием и эрбием на примере сплавов, легированных 0.5 мас.% редкоземельного металла. Сравнение величин теплоемкости сплавов показывает, что при переходе от сплавов со скандием к сплавам с эрбием теплоемкость уменьшается, что в целом согласуется с теплоемкостью чистых РЗМ(Sc, Y, Er) (таблица 4). Энтальпия и энтропия сплавов по мере перехода от сплавов со скандием к эрбию увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшается (таблица 5).

Таблица 4

Температурная зависимость удельной теплоёмкости сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием

T, K	Теплоемкость, (Дж/кг·К)				P3M		
	Zn5Al	Zn5Al+0.5Sc	Zn5Al+0.5Y	Zn5Al+0.5Er	Sc	Y	Er
300	415.7	418.6	416.7	414.5	568	298	168
500	471.0	489.0	473.9	469.5	611	321	172
	Zn55Al	Zn55Al+0.5Sc	Zn55Al+0.5Y	Zn55Al+0.5Er			
300	671.0	684.5	672.4	670.7	568	298	168
500	762.8	781.3	765.0	762.5	611	321	172

Таблица 5

Температурная зависимость энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием

T, K	Энтальпия, кДж/моль·К			
	Zn5Al	Zn5Al+0.5Sc	Zn5Al+0.5Y	Zn5Al+0.5Er
300	8.52	8.83	8.78	8.53
500	14.14	15.17	14.92	14.24
	Zn55Al	Zn55Al+0.5Sc	Zn55Al+0.5Y	Zn55Al+0.5Er
300	8.65	8.82	8.69	8.69
500	18.33	18.76	18.41	18.38
	Энтропия, Дж/моль·К			
	Zn5Al	Zn5Al+0.5Sc	Zn5Al+0.5Y	Zn5Al+0.5Er
300	172.90	186.97	185.33	173.65
500	191.04	204.74	200.67	193.49
	Zn55Al	Zn55Al+0.5Sc	Zn55Al+0.5Y	Zn55Al+0.5Er
300	160.08	165.33	160.10	158.76
500	182.28	185.41	182.32	180.77
	Энергия Гиббса, кДж/моль·К			
	Zn5Al	Zn5Al+0.5Sc	Zn5Al+0.5Y	Zn5Al+0.5Er
300	-46.72	-46.74	-46.81	-46.88
500	-98.44	-98.55	-98.58	-98.78
	Zn55Al	Zn55Al+0.5Sc	Zn55Al+0.5Y	Zn55Al+0.5Er
300	-39.37	-39.93	-39.71	-39.49
500	-86.50	-93.26	-91.96	-90.38

В целом, с повышением температуры и содержания легирующего компонента теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшается (таблицы 4, 5).

КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ ЦИНК-АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Zn5Al и Zn55Al, ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ

Методики исследования кинетики окисления сплавов и продуктов их окисления. Кинетику окисления твердых сплавов изучали термогравиметрическим методом. Для проведения исследования использована установка, состоящая из печи угольного сопротивления с чехлом из окиси алюминия. Для создания контролирующей атмосферы верхний конец чехла

закрывается водо-охлаждающимися крышками, имеющими отверстия для газо-проводящей трубки, термопары и тигля с исследуемым сплавом, подвешенного на платиновой проволоке к пружине из молибденовой проволоки. Изменение веса сплавов фиксировали по растяжению пружины с помощью катетометра КМ-8. Тигли, диаметром 18-20мм, высотой 25-26мм, перед опытом подвергались прокаливанию при температуре 1000-1200 °С в окислительной среде до постоянного веса. По окончании опытов систему охлаждали, тигель с содержимым взвешивали и определяли реакционную поверхность. Затем образовавшуюся оксидную плёнку снимали с поверхности образца и изучали её методом рентгенофазового анализа. Для получения информации о составе фаз в продуктах окисления использовали метод рентгенофазового исследования порошка. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре, а дифрактограммы снимали с использованием медного K_{α} - излучения. Химический анализ сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных РЗМ проводился на сканирующем электронном микроскопе SEM серии AIS2100 (Южная Корея).

Окисление сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, в твердом состоянии

Для исследования процесса окисления были получены серия цинк-алюминиевых сплавов, легированных скандием, иттрием и эрбием в пределах 0.005-0.5 мас.%. Термогравиметрическим методом исследовали кинетику окисления твердых сплавов на воздухе, для чего измеряли увеличение массы образца, вследствие роста оксидной плёнки во времени, при постоянных температурах 523, 573 и 623 К. Истинную скорость окисления вычисляли по касательным, проведённым от начала координат к кривым, по формуле: $K = g/s \cdot \Delta t$, а значение кажущейся энергии активации процесса окисления вычисляли по тангенсу угла наклона прямой зависимости $\lg K - 1/T$. Кинетические кривые окисления сплава Zn5Al, легированного скандием показывают, что процесс окисления в начальных стадиях протекает по линейному, далее к 20-25 мин по гиперболическому закону, о чем свидетельствует формирование защитной оксидной плёнки, которое заканчивается к 20-25 минутам взаимодействия с кислородом воздуха (рисунок 6).

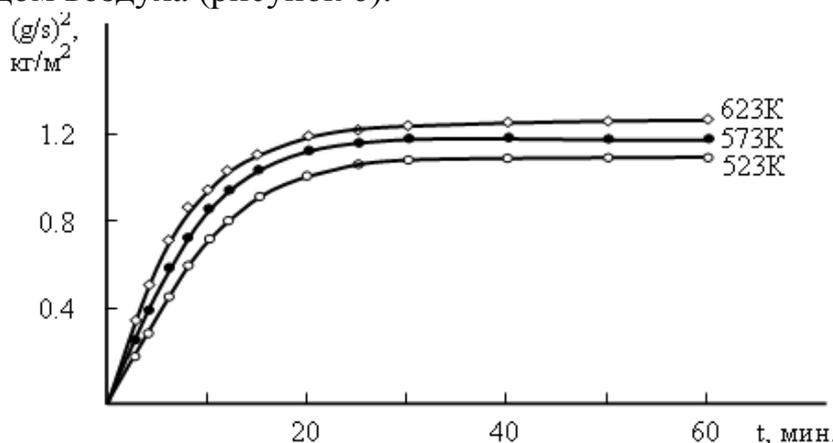


Рисунок 6. Кинетические кривые окисления сплава Zn5Al, содержащего 0.5 мас.% скандий.

Окисление всех исследованных сплавов подчиняется гиперболическому закону, что видно из кривых зависимостей $(g/s)^2-t$, которые не укладываются на прямые линии, а также из аналитических зависимостей $Y=kt^n$ (таблица 6). Рассчитанные из кинетических кривых значения истинной скорости окисления сплава Zn5Al, легированного скандием в зависимости от температуры и состава исследованных сплавов приведены в таблице 7.

Таблица 6
Результаты обработки квадратичных кривых окисления сплава Zn5Al, легированного скандием, в твердом состоянии

Содержание скандия в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Уравнения кривых окисления	Коэффициент регрессии, R ²
Zn5Al	523	$y = 8E - 05x^3 - 0.007x^2 + 0.1833x$	0.990
	573	$y = 6E - 06x^4 - 0.0002x^3 - 0.003x^2 + 0.1916x$	0.995
	623	$y = 4E - 04x^3 - 0.0079x^2 + 0.249x$	0.996
Zn5Al+0.005Sc	523	$y = 1E - 06x^4 + 0.0038x^3 + 0.0492x^2 - 0.0261x$	0.966
	573	$y = 2E - 05x^4 + 0.0055x^3 + 0.0697x^2 - 0.0494x$	0.997
	623	$y = 3E - 06x^4 + 0.0078x^3 + 0.0928x^2 - 0.0397x$	0.996
Zn5Al+0.5Sc	523	$y = 1E - 06x^4 + 0.0038x^3 + 0.0487x^2 - 0.0179x$	0.996
	573	$y = 2E - 05x^4 + 0.0053x^3 + 0.0671x^2 - 0.0328x$	0.997
	623	$y = 3E - 06x^4 + 0.0076x^3 + 0.0896x^2 - 0.0193x$	0.996

Таблица 7
Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава Zn5Al, легированного скандием

Температура окисления, К	Содержание скандия в сплаве Zn5Al, мас.%	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$, $кг \cdot м^{-2} \cdot сек^{-1}$	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
523	-	3.07	128.4
573		3.55	
623		3.91	
523	0.005	2.12	169.8
573		2.58	
623		2.96	
523	0.05	1.90	175.6
573		2.35	
623		2.70	
523	0.1	2.16	167.6
573		2.64	
623		3.01	
523	0.5	2.34	144.6
573		2.76	
623		3.14	

Из таблицы 7 видно, что малые добавки скандия в пределах 0.005-0.05 мас.% способствуют значительному уменьшению истинной скорости окисления исходного сплава Zn5Al. Так, истинная скорость окисления при температуре 573K имеет величину $3.55 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹ для исходного сплава Zn5Al, а для сплава, содержащего 0.05 мас.% скандия достигает величины $2.35 \cdot 10^{-4}$ кг·м⁻²·сек⁻¹.

На рисунке 7 представлена зависимость $\lg K$ от $1/T$ для сплава Zn5Al, легированного эрбием в пределах изученной концентрации. Видно, что процесс окисления в зависимости от температуры исследованных сплавов характеризуется ростом. Кривые (2-4) принадлежащие легированным эрбием сплавам располагаются значительно ниже, чем кривой (1) исходного сплава Zn5Al.

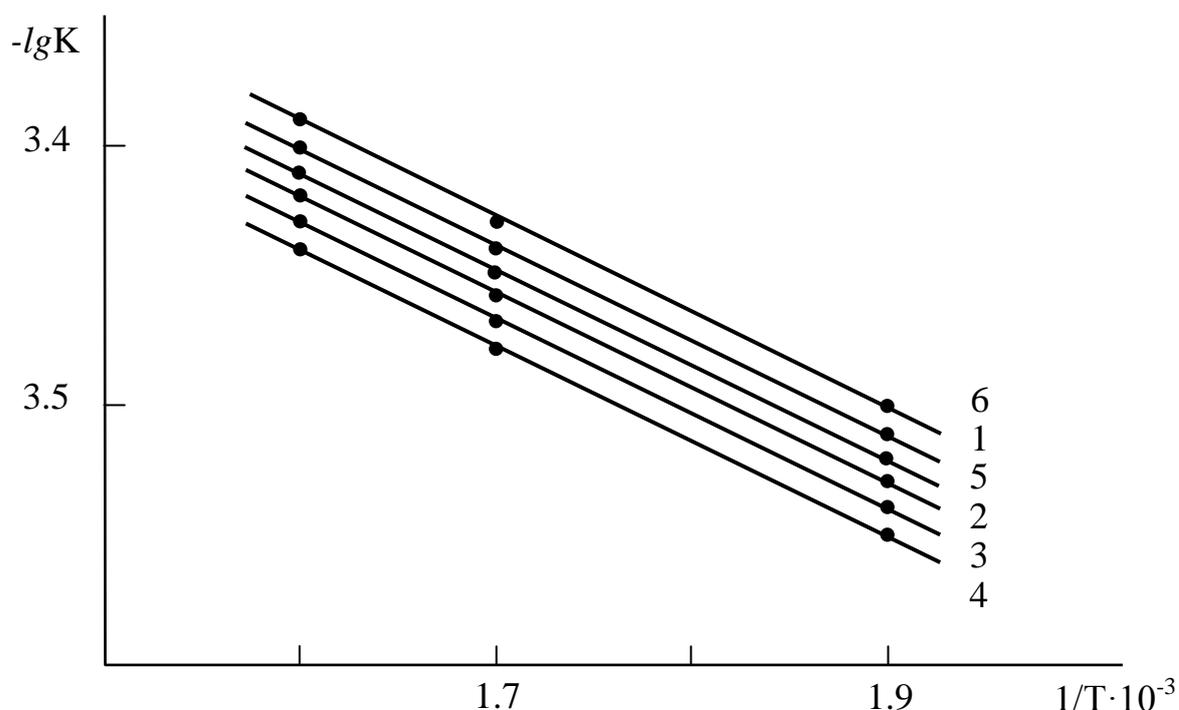


Рисунок 7. Зависимость $\lg K$ от $1/T$ для сплава Zn5Al, содержащего эрбий, мас. %: 0.005(2); 0.01(3); 0.05(4); 0.1(5); 0.5(6).

Динамику изменения истинной скорости окисления и кажущейся энергии активации процесса окисления цинк-алюминиевых сплавов, легированных иттрием можно наблюдать по изохроне окисления сплава Zn5Al, содержащего различной концентрации иттрия, который построен при температуре 573K, соответствующим 10 и 20 минутам процесса окисления (рисунок 8). Кривые процесса окисления характеризуются монотонным снижением истинной скорости окисления и повышением кажущейся энергии активации при содержании легирующего компонента в исходном сплаве Zn5Al до 0.05 мас.%. Однако, добавки 0.1 и 0.5 мас.% иттрия несколько увеличивают окисляемость исходного сплава (рисунок 8).

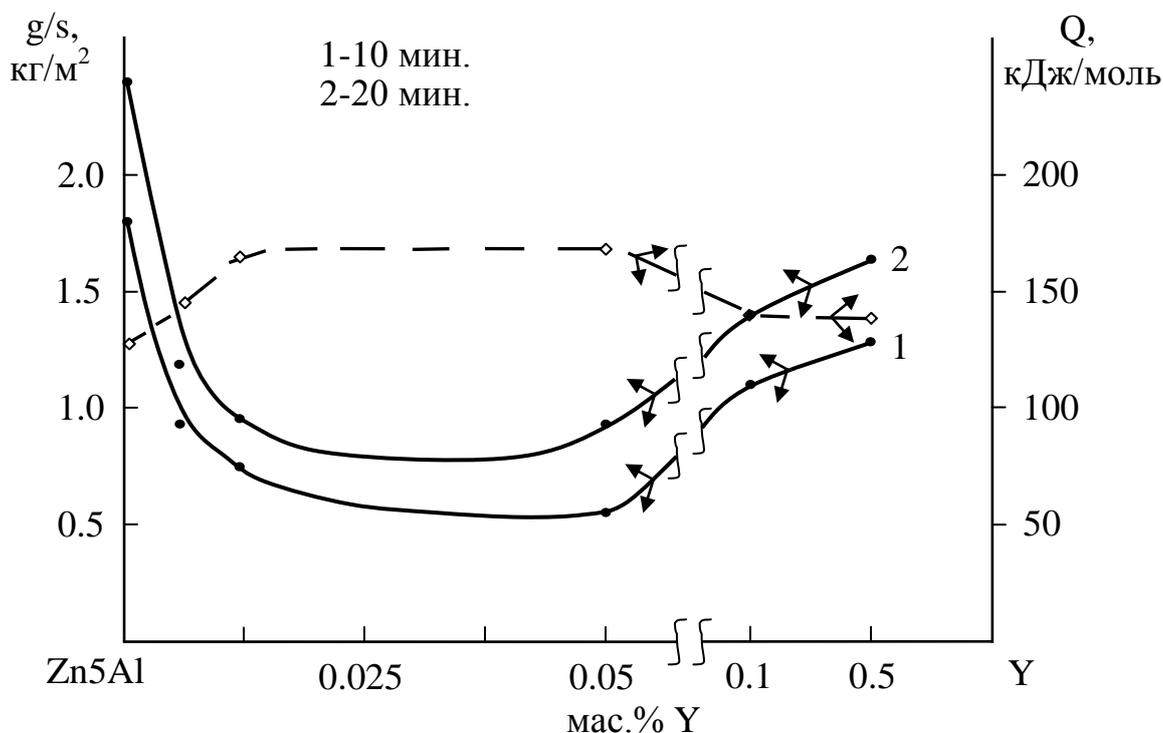


Рисунок 8. Изохроны окисления (573 К) сплава Zn5Al, легированного иттрием.

В целом, по данным экспериментальных исследований кинетики окисления твердых сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, установлено, что самые минимальные значения скорости окисления характерно для цинк-алюминиевых сплавов со скандием, а максимальные – относятся к легированным эрбием сплавам. Сплавы Zn5Al и Zn55Al с иттрием занимают промежуточное положение. Определено, что продукты окисления исследованных сплавов в основном состоят из простых Al_2O_3 , ZnO, Sc_2O_3 , Y_2O_3 , ErO и сложных оксидов $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZnO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Sc}_2\text{O}_3$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Y}_2\text{O}_3$. Выявлено, что легирующие компоненты значительно уменьшают окисляемость исходных сплавов Zn5Al и Zn55Al и являются перспективными в плане использования их в пределах 0.005-0.05 мас.% Sc, Y, Er в качестве анодного защитного покрытия стальных конструкций и сооружений при высоких температурах.

ПОВЫШЕНИЕ АНОДНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СПЛАВОВ Zn5Al И Zn55Al, ЛЕГИРОВАНИЕМ СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ

Потенциостатическое исследование анодного поведения сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием, проводилось в кислой (0.001н, 0.01н, 0.1н HCl), нейтральной (0.03, 0.3, 3%-ного NaCl) и щелочной (0.001н, 0.01н, 0.1 NaOH) средах, в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.

Проведенные исследования показывают, что добавки скандия, иттрия и эрбия в количествах 0.005÷0.05 мас.% сдвигают потенциал свободной коррозии исходного сплава Zn5Al в положительную сторону. Однако дальнейший рост

содержания легирующего элемента до 0.5 мас.% сдвигает $E_{\text{св.корр.}}$ в отрицательную область значений, и при этом наиболее заметен рост величины потенциалов коррозии ($E_{\text{корр.}}$), питтингообразования ($E_{\text{по.}}$) и репассивации ($E_{\text{реп.}}$) в отрицательном направлении, соответственно в электролите NaCl (таблица 8).

Таблица 8

Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{\text{св.корр.}}$) и питтингообразования ($-E_{\text{по.}}$) сплава Zn5Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, в среде электролита NaCl

Электролит	Содержание Sc в сплаве Zn5Al, мас. %	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{по.}}$	Содержание Y в сплаве Zn5Al, мас. %	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{по.}}$	Содержание Er в сплаве Zn5Al, мас. %	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{по.}}$
		B			B			B	
3% NaCl	-	1.100	0.965	-	1.100	0.965	-	1.100	0.965
	0.005	1.050	0.936	0.005	1.045	0.935	0.005	1.060	0.935
	0.01	1.040	0.925	0.01	1.038	0.923	0.01	1.053	0.930
	0.05	1.025	0.917	0.05	1.023	0.916	0.05	1.038	0.910
	0.1	1.055	0.942	0.1	1.050	0.940	0.1	1.064	0.945
	0.5	1.085	0.955	0.5	1.080	0.950	0.5	1.107	0.970
0.3% NaCl	-	1.070	0.935	-	1.070	0.935	-	1.070	0.935
	0.005	1.036	0.915	0.005	1.030	0.915	0.005	1.045	0.928
	0.01	1.020	0.913	0.01	1.015	0.916	0.01	1.031	0.925
	0.05	1.014	0.905	0.05	1.010	0.910	0.05	1.026	0.903
	0.1	1.052	0.918	0.1	1.045	0.920	0.1	1.065	0.937
	0.5	1.065	0.930	0.5	1.065	0.926	0.5	1.082	0.944
0.03% NaCl	-	1.050	0.915	-	1.050	0.915	-	1.050	0.915
	0.005	1.023	0.895	0.005	1.015	0.890	0.005	1.030	0.906
	0.01	1.015	0.867	0.01	1.010	0.860	0.01	1.025	0.875
	0.05	1.010	0.860	0.05	1.005	0.855	0.05	1.021	0.870
	0.1	1.035		0.1	1.030	0.900	0.1	1.042	0.916
	0.5	1.040		0.5	1.035	0.905	0.5	1.054	0.923

На рисунке 9 представлена зависимость скорости коррозии сплава Zn5Al, содержащего скандий, иттрий и эрбий (0.005-0.1 мас.%) от pH среды, рассчитанные по значениям плотности токов коррозии указанных сплавов, снятых в электролитах 0.1н (pH=1); 0.01н (pH=2); 0.001н (pH=3) HCl, 0.03; 0.3; 3% (pH=7) NaCl и 0.1н (pH=12); 0.01н (pH=11); 0.001н (pH=10) NaOH. Так, наблюдается плавное снижение скорости коррозии при легировании до 0.05% исходного сплава Zn5Al, дальнейшее повышение концентрации легирующего компонента несколько увеличивает скорость коррозии, но по абсолютной величине последний не превышает скорость коррозии исходного сплава (рисунок 9).

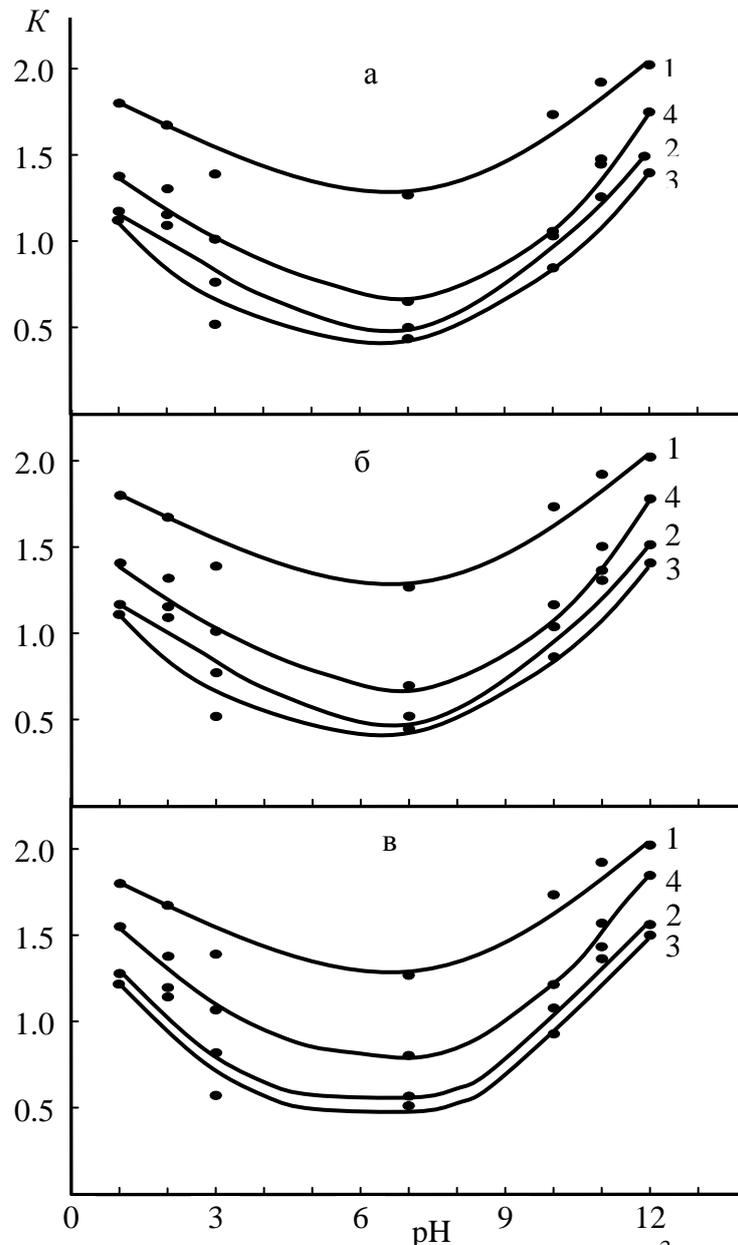


Рисунок 8. Зависимость скорости коррозии ($K \cdot 10^{-3}, \text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$) сплава Zn5Al(1), содержащего 0.005 (2), 0.05 (3) и 0.1 мас.% (4) скандий (а), иттрий (б) и эрбий (в) от pH среды.

ВЫВОДЫ

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость коэффициента теплоотдачи и теплоемкости сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, иттрием и эрбием. Установлен факт роста коэффициента теплоотдачи и теплоемкости сплавов с повышением температуры и содержания легирующего компонента (Sc, Y, Er) в исходных сплавах Zn5Al и Zn55Al.

2. Используя интегралы от молярной теплоемкости, получены математические модели температурных зависимостей энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, иттрием и эрбием, позволяющие провести вычисление значения этих функции при любой температуре и содержании легирующих компонентов в исходных сплавах. Установлено, что с ростом

температуры и содержания легирующего компонента (Sc, Y, Er) энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса при этом уменьшается.

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления твердых сплавов систем Zn5Al-Sc(Y, Er) и Zn55Al-Sc(Y, Er) кислородом воздуха. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону. Истинная скорость окисления имеет порядок: 10^{-4} кг·м⁻²·сек⁻¹. Определено, что минимальные значения скорости окисления и величины энергии активации характерны для сплавов Zn5Al и Zn55Al со скандием, а максимальные – относятся к цинк-алюминиевым сплавам, содержащим эрбий. Сплавы Zn5Al и Zn55Al с иттрием занимают промежуточное положение. Выявлено, что легирующие компоненты в пределах 0.005-0.05 мас.% значительно уменьшают окисляемость исходных цинк-алюминиевых сплавов.

4. Методом рентгенофазового анализа установлен фазовый состав продуктов окисления цинк-алюминиевых сплавов, содержащих скандий, иттрий и эрбий и их роль в процессе окисления. Определено, что продукты окисления исследованных сплавов состоят из простых Al₂O₃, ZnO, ZnAl₂O₄, Sc₂O₃, Y₂O₃, ErO и сложных оксидов Al₂O₃·ZnO, Al₂O₃·Sc₂O₃ и Al₂O₃·Y₂O₃.

5. Потенциостатическим методом исследована анодное поведение сплавов в кислых (0.001н HCl (pH=3)), нейтральных (0.03; 0.3; 3% NaCl (pH=7)) и щелочных (0.001н (pH=10) NaOH) средах и установлено, что скорость коррозии сплавов Zn5Al и Zn55Al уменьшается в 2-3 раза при легировании их скандием, иттрием и эрбием до 0.05 мас.%. Составы разработанных в качестве анодных защитных покрытий сплавов защищены тремя малыми патентами Республики Таджикистан.

Основные положения диссертации опубликованы в:

- статьях в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ:

1. Обидов, З.Р. Кинетика окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев // Журнал физической химии, 2013, т.87, №10, с.717-719.
2. Обидов, З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn55Al, легированных скандием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев // Известия вузов. Цветная металлургия, 2013, №2, с.247-254.
3. Обидов, З.Р. Кинетика окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных эрбием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев // Докл. АН Республики Таджикистан, 2012, т.55, №5, с.403-406.
4. **Амонова, А.В.** Анодное поведение сплава Zn5Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, в среде электролита NaCl / А.В. Амонова, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев и др. // Изв. АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук, 2010. №3(140), с.91-95.
5. **Амонова, А.В.** Коррозионно-электрохимическое поведение сплава Zn55Al, легированного эрбием / А.В. Амонова, З.Р. Обидов, А.Б. Бадалов и др. // Докл. АН Республики Таджикистан, 2010, т.53, №6, с.486-489.
6. **Амонова, А.В.** Влияние добавок скандия на анодное поведение сплава Zn5Al в среде электролита NaCl / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник Таджикского технического университета, 2010, №1(9), с.40-43.

- материалах научных конференций, симпозиумах и семинарах:

7. **Амонова, А.В.** Кинетика окисления сплава $Zn_{55}Al$, легированного иттрием кислородом газовой фазы / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, С.Д. Алиханова, З.Р. Обидов // Мат. Респ. науч.-практ. конф. «Вклад науки в инновационном развитии регионов Республики Таджикистан», Душанбе, 2012, с.8-9.
8. **Амонова, А.В.** Влияния иттрия на кинетику окисления сплава $Zn_{55}Al$ / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Мат. Респ. науч.-практ. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроение и методика их преподавания». ТГПУ им. С. Айни, 2012, с.20-24.
9. Обидов, З.Р. Теплофизические и термодинамические свойства цинк-алюминиевых сплавов, легированных эрбием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев, Н.Б. Одинаева // Матер. Междунар. научно-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири». Тюм ГНГУ, 2013, т.2, с.84-88.
10. **Амонова, А.В.** Кинетика окисления цинк-алюминиевых сплавов, легированных эрбием / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, Н.Б. Одинаева, З.Р. Обидов // Междунар. форум «Молодежь – движущая сила интеллектуального развития страны». Технологический университет Таджикистана, 2015, с.73-76.
11. **Амонова, А.В.** Теплофизические свойства и термодинамические функции сплава $Zn_{55}Al$, легированного эрбием / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, Ф.Р. Сафарова, З.Р. Обидов // Мат. Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 1150-летию Абу Бакра Мухаммада ибн З. Рази. Институт химии АН Республики Таджикистан, Душанбе, 2015, с.66-68.
12. **Амонова, А.В.** Теплофизические свойства и термодинамические функции сплава $Zn_{55}Al$, легированного иттрием / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, Ф.Р. Сафарова, З.Р. Обидов // Матер. Респуб. конф. «Состояние химической науки и её преподавание в образовательных учреждениях Республики Таджикистан». ТГПУ им. С.Айни, 2015, с.15-17.
13. Обидов, З.Р. Потенциодинамическое исследование цинк-алюминиевых сплавов, легированных скандием, в среде электролита $NaCl$ / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев // Матер.VI Междунар. науч.-практ. конф. «Нумановские чтения». Институт химии Республики Таджикистан, 2009, с.150-152.
14. Обидов, З.Р. Защитные покрытия на основе цинк-алюминиевых сплавов, легированных иттрием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, И.Н. Ганиев // Матер. Респ. научно-практ. конф. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2009, с.133-135.
15. Обидов, З.Р. Защитные покрытия на основе цинк-алюминиевых сплавов, легированных скандием/ З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, Н.М.Муллоева, И.Ганиев // Матер. Респ. научно-практ. конф. «Инновационные технологии в науке и технике». Технологический университет Таджикистана, 2010, с.71-74.
16. Обидов, З.Р. Защитные покрытия на основе цинк-алюминиевых сплавов, легированных эрбием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, Д. Джайлоев, И. Ганиев / Матер. Респ. научно-практ. конф. «Академик М. Осими и развития образования». ТТУ им. акад. М.С. Осими, 2011, с.256-259.
17. Обидов, З.Р. Анодное поведение сплава $Zn_{55}Al$, легированного скандием,

- иттрием и эрбием, в среде электролита NaCl / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, Н.Муллоева, С.Комилзод // Мат. Респ. науч. конф. «Проблемы современной координационной химии». Таджикский национал. университет, 2011, с.54-55.
18. **Амонова, А.В.** Влияние рН среды на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиево-цинковых сплавов, легированных иттрием / А.В. Амонова, С.Алиханова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Мат. Респ. науч. прак. конф. «Пути инновационного совершенствования обучения технологических дисциплин в учебных заведениях». ТГПУ им. С. Айни, 2011, с.118-120.
19. **Амонова, А.В.** Анодное поведение сплава Zn5Al, легированных скандием, в кислых, нейтральных и щелочных средах / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Матер. IV Респуб. научно-практ. конф. «Из недр земли до горных вершин». Горно-металлург. институт Таджикистана, Чкаловск, 2011, с.69-70.
20. Обидов, З.Р. Влияние рН среды на анодное поведение сплава Zn5Al, легированного иттрием / З.Р. Обидов, **А.В. Амонова**, Ф.Р. Сафарова // Матер. Всеросс. межд. науч.-практ. конф. «Новые технологии – нефтегазовому региону». ТюмГНГУ, 2015, т.3, с.65-68.
21. **Амонова, А.В.** Влияние рН среды на анодное поведение сплава Zn55Al, легированного иттрием / А.В. Амонова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. тез. докл. науч. конф. «Актуальные проблемы современной науки». Филиал НИТУ «МИСиС» в городе Душанбе, 2015, С.28-29.

Изобретения по теме диссертации

22. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 199, МПК С22С 18/04. Цинк-алюминиевый сплав / **А.В. Амонова**; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, Д.Н. Алиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова, С.Дж. Алиханова / №0800256; заявл. 11.11.08; опубл. 24.12.08, Бюл. 53, 2009.– 2 с.
23. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 319, МПК С22С 18/00; 18/04. Цинк-алюминиевый сплав / **А.В. Амонова**; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова, Н.И. Ганиева / №1000429; заявл. 09.03.10; опубл. 09.04.10, Бюл. 58, 2010.- 2 с.
24. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 422, МПК С22С 18/04. Цинк-алюминиевый сплав / **А.В. Амонова**; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова, А. Сафаров, М. Джураева / №1100559; заявл. 09.02.11; опубл. 18.05.11, Бюл. 62, 2011.- 2 с.

Разрешено к печати 04.03.2016.

Сдано в набор 05.03.2016

Подписано в печать 07.03.2016.

Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ.л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 190

Отпечатано в типографии ООО «Андалеб-Р».

734036, г. Душанбе, ул. Р. Набиева 218.

E-mail: andaleb.r@mail.ru