



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН  
ТАДЖИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ САДРИДДИНА АЙНИ

Тел: 224-13-83 734003 г. Душанбе, e-mail: info@tgpu.tj проспект Рудаки 121

12.03.2026 № 03/11

**«У Т В Е Р Ж Д А Ю»**

Ректор Таджикского Государственного педагогического университета им. С. Айни,  
доктор исторических наук, профессор  
Ибодуллозода А.И.



» 12.03.2026 2026 г.

**О Ф И Ц И А Л Ь Н Ы Й О Т З Ы В**

ведущей организации на диссертационную работу

**Эмомову Исмоила Абдумаликовича**

на тему: «Физико-химические свойства алюминиевого сплава AlBe-1 с магнием, цинком и кадмием», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17- Материаловедение (технические науки)

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Алюминиевые сплавы являются незаменимыми материалами в приборостроении и электротехнической промышленности, авиастроении и радиоэлектронике, а также в ядерной и космической технике. Каждый алюминиевый сплав обладает определённым комплексом ценных свойств, к которым относятся высокая теплопроводность, малая плотность, относительно низкая температура плавления и высокая коррозионная стойкость.

Алюминий называют «крылатым металлом». Такое название он получил благодаря своей лёгкости и широкому применению, прежде всего в авиастроении. Алюминий отличается высокой устойчивостью к воздействию кислорода и воды. Эта устойчивость обусловлена образованием на его поверхности тонкой, плотной и прочной оксидной плёнки  $Al_2O_3$ . Благодаря этому свойству алюминий и его сплавы нашли широкое применение как в быту, так и в различных отраслях промышленности.

Высокая электропроводность алюминия (по этому показателю он уступает лишь серебру и меди) позволяет широко применять его в электротехнике, тем более что он значительно дешевле указанных металлов. При температуре 100–150 °С алюминий становится настолько пластичным, что из него можно получать тонкую фольгу толщиной менее 0,01 мм. Алюминиевая фольга используется для изготовления электрических конденсаторов и изделий, защищающих от теплового излучения.

Основными преимуществами алюминиевых сплавов являются лёгкость, высокая прочность и коррозионная стойкость, что обуславливает их широкое использование в качестве конструкционных материалов в авиастроении, авто- и судостроении, приборостроении, ракетно-космической технике, а также в строительстве.

Рецензируемая диссертационная работа посвящена исследованию влияния магния, цинка и кадмия как легирующих добавок на теплоёмкость, термодинамические функции, окисляемость и электрохимическое поведение алюминиевого сплава AlBe-1 с целью получения материала с особыми свойствами, пригодного для эффективного промышленного применения.

**Цель исследования** заключается в установлении термодинамических закономерностей, кинетики окисления и электрохимических свойств алюминиево-бериллиевого сплава AlBe-1 с магнием, цинком и кадмием.

При выполнении исследования соискателем **решены следующие задачи:**

1. Исследовать теплоёмкость и температурные изменения термодинамических функций сплава AlBe-1, легированного металлами Zn, Cd, Mg.

2. Установить механизм твердофазного окисления и исследовать кинетические особенности процесса окисления сплава AlBe-1, легированного металлами Zn, Cd, Mg.

3. Установить воздействие каждого из добавок (Mg, Zn, Cd) на коррозионно-электрохимический характер сплава AlBe-1, в жидкой среде электролита хлорида натрия.

4. Основываясь на полученных результатах, среди синтезированных сплавов выявить сплав с определенным составом, который показывает лучшие свойства.

**Научная новизна исследования:**

- определены особенности изменения теплоёмкости, энтропии, энтальпии и энергии Гиббса от содержания легирующих добавок (Mg, Zn и Cd), а также в зависимости от температуры;

- исследованы механизмы и кинетика твердофазного окисления сплава AlBe-1 с добавками Mg, Zn и Cd. Установлены зависимости интенсивности газовой коррозии от состава сплава и температуры рабочей среды. Определены наиболее эффективные концентрации легирующих элементов, среди всех синтезированных сплавов;

- показано, что образование оксидных слоёв на поверхности образцов из алюминиево-бериллиевых сплавов, определяется как температурным режимом, так и концентрацией отдельных элементов в составе сплава;

- исследовано влияние легирующих добавок магния, цинка и кадмия на электрохимическую коррозионную стойкость сплава AlBe-1. Определены составы сплавов из числа разработанных, которые демонстрируют повышенную устойчивость к химической и электрохимической коррозии. Установлены закономерности изменения скорости электрохимической коррозии в зависимости от химического состава сплавов и концентрации

хлорид-ионов в исследуемой среде.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты проведенных исследований по определению температурной зависимости теплоёмкости, а также изменений термодинамических характеристик сплава AlBe-1, легированного металлами Zn, Mg, Cd;

- определенные в результате исследований кинетические и термодинамические параметры твердофазного, высокотемпературного окисления сплава AlBe-1, легированного металлами Zn, Mg, Cd. Структурно-фазовый анализ образовавшихся оксидных пленок и установлена их функциональная роль в развитии механизма окисления;

- влияние добавок Zn, Mg, Cd на коррозионно-электрохимические характеристики сплава AlBe-1, а также влияние концентрации хлорид ионов в жидкой исследовательской среде на скорость коррозии синтезированных сплавов;

- состав среди синтезированных сплавов, характеризующийся наилучшими свойствами и стойкостью к коррозионному разрушению при различных влияниях.

**Теоретическое значение диссертации.** Исследование охватывает теоретические положения, объясняющие, влияние структурных особенностей материалов на кинетические и энергетические параметры окисления, а также на температурное поведение теплоёмкости и соответствующих термодинамических функций. Проведён анализ коррозионно-электрохимических свойств сплава AlBe-1, модифицированного Zn, Cd и Mg. Показано, что устойчивость материала к коррозии определяется как содержанием легирующих металлов, так и составом или агрессивностью используемой электролитической среды.

**Практическая ценность проведенного исследования** заключается в определении оптимального состава сплава синтезированного на основе сплава AlBe-1, легированного металлами Mg, Zn и Cd, которые

характеризуются устойчивостью к окислению при высокой температуре, устойчивостью к электрохимической коррозии и имеющими улучшенные показатели механических свойств, что делает его перспективным для применения в современной технике.

Установлены кинетические и энергетические характеристики процесса высокотемпературного окисления трёхкомпонентных сплавов в твёрдом состоянии. Идентифицированы фазовые составы окисных продуктов, а также определена их роль в формировании механизма окисления при повышенных температурах.

Анализ показал, что легирование малыми добавками Mg, Zn и Cd оказывает влияние на формирование микроструктуры, что обуславливает соответствующее изменение свойств сплава. Установлена зависимость анодных характеристик сплава от природы и содержания легирующих компонентов, при исследовании в нейтральной среде (NaCl), при различных значениях pH среды.

Проведенные научные исследования и полученные по их результатам итоги стали основой для получения малого патента Республики Таджикистан (TJ №1276 от 04.02.2022 года).

**Достоверность диссертационных результатов** данного исследования обусловлена отсутствием противоречий известным положениям наук: металлургической, физической химии, материаловедения. Экспериментальные результаты согласуются с известными данными по предметам исследования и с результатами исследования других ученых по данному направлению. Результаты получены при использовании сертифицированных общепризнанных методик исследования и анализа, что гарантирует воспроизводимость экспериментальных данных. Для обеспечения высокой точности измерений и исключения влияния внешних факторов, все опыты выполнялись на высокоточных стандартизированных оборудовании, предварительно прошедших калибровку в соответствии с требованиями.

**Личный вклад соискателя** заключается в проработке и анализе научнотехнической литературы по теме диссертационной работы, обосновании актуальности, постановке цели и задач, выбора методов исследований, планировании и выполнении экспериментов, анализе, обработке и систематизации результатов исследований.

**Общие принципы построения и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка использованной литературы из 197 наименований и приложения. Работа изложена на 171 страницах компьютерного набора, включает 60 рисунков и содержит 39 таблиц.

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

**В первой главе** диссертации представлен обзор литературных данных в области применения алюминиевых сплавов; теплоёмкость и термодинамические функции алюминиевых сплавов с металлами; особенностям высокотемпературного окисления алюминиевых сплавов; влиянию магния, цинка и кадмия на анодное поведение алюминиевых сплавов. На основе выполненного обзора показано, что теплофизические и термодинамические свойства, кинетика окисления, анодное поведение алюминий-бериллиевых сплавов с щелочными и щелочноземельными металлами хорошо изучены, но свойства сплавов с такими металлами как магний, цинк и кадмий не исследованы, для данной группы сплавов имеются лишь отрывочные сведения. Поэтому алюминий-бериллиевые сплавы с этими элементами диссертантом взяты в данной диссертационной работе в качестве объекта исследования.

**Во второй главе** диссертации представлены результаты исследования влияния магния, цинка и кадмия на теплоемкость и изменения термодинамических функций алюминий- бериллиевого сплава AlBe1 (Al+1 мас. % Be). Температурная зависимость теплоемкости сплавов исследована автором в режиме «охлаждения», определена температурная зависимость

коэффициента теплоотдачи сплавов. Кроме того, рассчитана температурная зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса сплавов. С помощью полученных полиномиальных зависимостей показано, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается. Указанные изменения теплофизических свойств и термодинамических функций алюминиевого эвтектического сплава AlBe1 при его модифицировании автором объясняется измельчением и ростом степени гетерогенности структуры сплавов.

**Третья глава** работы, посвящена результатам исследования кинетики окисления легированного алюминиевого сплава AlBe1, легированных магния, цинка и кадмия в твердом состоянии термогравиметрическим методом. Полученные данные математически обработаны. Изучение кинетических кривых окисления легированного алюминиевого сплава AlBe1 показало, что они подчиняются уравнению  $y = KX^n$ , в котором значение  $n$  меняется от 1 до 4 в зависимости от состава окисляемого сплава. Характер окисления сплавов подчиняется гиперболическому закону. Установлено, что добавки с магнием, цинком и кадмием к алюминиевому сплаву AlBe1 приводят к образованию химически прочных оксидов, что способствует повышению их жаростойкости.

Самые минимальные значения скорости окисления отмечены у исходного сплава при легировании магнием, а максимальные – кадмием, с цинком - промежуточное положение. Продукты окисления сплавов в основном состоят из оксида алюминия, что подтверждено рентгенофазовым методом.

**В четвертой главе** работы приведены результаты потенциостатического исследования влияния магния, цинка и кадмия на анодное поведение алюминиевого сплава AlBe1с легирующими металлами в среде 0,03; 0,30 и 3,00 % NaCl. Показано, что легирование магния, цинка и кадмия в пределах 0,05-1,00 мас. % смещает потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации в положительную область во

всех концентрациях NaCl. Легированные сплавы имеют более низкие значения скорости коррозии по сравнению с исходным сплавом. При содержании легирующих металлов от 0,05 до 1,00 % скорость коррозии исходного сплава уменьшается от 30 до 50 %. При повышении концентрации NaCl скорость коррозии сплавов увеличивается независимо от содержания с магнием, цинком и кадмием, а потенциал свободной коррозии уменьшается.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертационной работы, а её результаты доложены и обсуждены на конференциях различного уровня. Выводы и положения, сформулированные соискателем, обоснованы теоретическими выкладками и полученными практическими результатами проведенных систематических экспериментальных исследований.

**По результатам исследований диссертантом опубликованы 22 научных работ, из них 5 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации и 17 статьи в материалах международных и республиканских конференций, получено 1 малых патента Республики Таджикистана.**

Работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченное исследование, в котором получены существенные научные результаты. По работе имеются некоторые **замечания**.

1. В работе недостаточно конкретизированы возможные направления практического применения разработанных сплавов с оптимизированным составом.
2. В диссертации анализируются процессы окисления и фазовые превращения в зависимости от состава сплавов, однако иллюстративный материал в виде равновесных диаграмм состояния представлен в ограниченном объёме.
3. Обзор литературы по теории окисления металлов и сплавов мог бы быть более детализированным с учётом значительного объёма существующих исследований.

4. В тексте диссертации встречаются отдельные редакционные и стилистические неточности и местами не лишена отдельных грамматических и стилистических ошибок (например, стр. 15; 28; 37; 65; 72 и т.д.)

Отмеченные замечания не умоляют научную и практическую ценность диссертационного исследования и не снижают её актуальности.

#### ***Рекомендации по использованию результатов исследования***

Результаты исследования, приведённые в диссертационной работе Эмомову И.А. могут быть использованы предприятиями Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, Государственным учреждением «Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана», производителями, металловедами, а также ВУЗами химического и металлургического профилей в учебных курсах по физической, неорганической химии, специальных курсов соответствующего профиля.

#### ***Заключение***

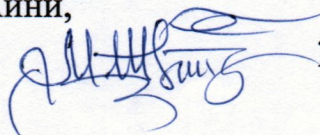
Диссертационной работы Эмомову Исмоила Абдумаликовича на тему: «Физико-химические свойства алюминиевого сплава AlBe-1 с магнием, цинком и кадмием», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 - физическая химия (химические науки) является законченным научно - исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы обоснованы. Публикации автора вполне отражают содержание диссертационной работы, которые опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах. Текст автореферата согласуется с диссертацией.

Диссертационная работа написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По актуальности, поставленным целям и задачам, объёму проведённых исследований, новизне полученных результатов, их научной и практической значимости рецензируемая работа вполне соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении учёных степеней» Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

за № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Эмомову Исмоила Абдумаликовича – заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Отзыв заслушан и утвержден на расширенном заседании кафедры «Общая и неорганическая химия» Таджикского государственного педагогического университета им. С.Айни, протокол №8, от «7» марта 2026г.

Председатель расширенного заседания  
кафедрой «Общая и неорганическая химия»  
Таджикского государственного  
педагогического университета им. С. Айни,  
кандидат химических наук, доцент



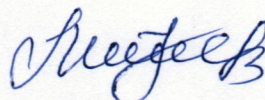
Жумаев М.Т.

Эксперт:  
к.х.н., доцент



Низомов И.М.

Секретарь заседаний:  
к.х.н., доцент



Мусоджонзода Дж.М.

**Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки 121, Таджикский государственный педагогический университет (ТГПУ) им. С. Айни, химический факультет, кафедра «Общая и неорганическая химия»  
E-mail: [info@tgpu.tj](mailto:info@tgpu.tj) Тел: +992 (37) 224-13-83;  
E-mail: [jumaev\\_m@bk.ru](mailto:jumaev_m@bk.ru) Тел: +992-90-44-44-100.

Подлинность подписей к.х.н., доценты Жумаева М.Т., Низомова И.М. и Мусоджонзода Дж.

Начальник управления кадров и специальных работ  
Таджикского государственного педагогического  
университета им. С. Айни



Кодирзода С.