



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

07.06.23 № 21/819



«У Т В Е Р Ж Д А Ю»

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

Ибодуллозода А.И.

«07» 06 2023 г.

**О Ф И Ц И А Л Ь Н Ы Й О Т З Ы В**

ведущей организации на диссертационную работу

**Рахимовой Нахтии Одинаевны**

на тему: «Физико-химические свойства алюминиево–бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 - физическая химия (химические науки)

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Алюминий называют «крылатым металлом». Такое название этот металл получил за свою легкость и широкое применение, в первую очередь, в самолетостроении. Алюминий очень устойчив по отношению к кислороду и воде. Эта устойчивость обусловлена образованием на его поверхности тонкой, но плотной и прочной оксидной пленки –  $Al_2O_3$ . Благодаря этому свойству алюминий и его сплавы нашли широкое применение в быту и различных областях промышленности.

Высокая электропроводность алюминия (по этому качеству он уступает лишь серебру и меди) позволяет широко его применять в электротехнике, он дешевле указанных металлов. При 100-150 °С алюминий настолько пластичен, что из него можно получить тонкую фольгу, толщиной менее 0,01 мм. Алюминиевая фольга применяется для изготовления электрических конденсаторов и изделий, защищающих от тепловой радиации.

Основные преимущества алюминиевых сплавов – легкость, высокая прочность и коррозионная устойчивость, что является причиной широкого их использования в качестве конструкционного материала в авиастроении, авто-, судо- и приборостроении, ракетной и космической технике, а также строительстве.

Рецензируемая диссертационная работа исследование посвящена изучению влияния титана, ванадия и ниобия как легирующих добавок на теплоёмкость, термодинамические функции, окисляемость и электрохимическое поведение алюминиевого сплава AlBe1 с тем, чтобы превратить данный сплав в материал, отличающийся особыми свойствами, который бы эффективно применялся в промышленности.

**Цель исследования** заключается в разработке состава высококомодульного, легкого алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием, на основе установления их термодинамических, кинетических и анодных свойств.

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

- построены, исследованы температурные зависимости теплоемкости и изменения термодинамических функций алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием;
- определены кинетические и энергетические параметры процессов окисления алюминиевого сплава AlBe1 с указанными добавками, выявлен механизм их окисления в твердом состоянии;



- установлен фазовый состав продуктов окисления сплавов и изучены их защитные свойства;

- экспериментально определено влияние титана, ванадия и ниобия на анодное поведение алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 в электролитической среде 0,03; 0,30 и 3,00 % NaCl;

- осуществлена оптимизация состава тройных сплавов на основе установленных физико-химических свойств и определены возможные области их использования.

#### ***Научная новизна исследования:***

- установлены основные закономерности температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием в зависимости от количества легирующего компонента;

- показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия алюминиевого сплава AlBe1 с приведенными добавками увеличиваются, а энергия Гиббса-уменьшается. С увеличением доли титана, ванадия и ниобия в алюминиевом сплаве AlBe1 энтальпия и энтропия уменьшаются, а значение энергии Гиббса увеличивается;

- выявлено, что скорость окисления легированного вышеуказанными металлами алюминиевого сплава AlBe1 в твердом состоянии с повышением температуры увеличивается, а константа скорости процесса имеет порядок  $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ . Установлено, что окисление исследованного сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием подчиняется гиперболическому закону;

- методом рентгенофазового анализа изучены оксидные плёнки поверхности образцов, идентифицирован их фазовый состав, определена их роль в процессе окисления;

- установлено, что добавки легирующих элементов до 1,0 мас. % повышают коррозионную стойкость исходного алюминиевого сплава AlBe1 на 30-50 %, в зависимости от количества легирующей добавки происходит смещение потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации



сплавов в положительную сторону;

- при переходе от сплавов с титаном к сплавам с ванадием и ниобием наблюдается снижение скорости коррозии.

***Положения, выносимые на защиту:***

- результаты исследования температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием;

- кинетические и энергетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава AlBe1 с выше указанными легирующими добавками, а также механизм окисления сплавов; расшифрованные продукты и выявленные их роли в механизме окисления;

- зависимости анодных характеристик и скорости коррозии алюминиевого сплава AlBe1 от концентрации легирующего компонента в среде электролита NaCl различной концентрации;

- оптимальные составы сплавов, имеющие наименьшую окисляемость и повышенную коррозионную стойкость, представляющие интерес в качестве лёгких конструкционных материалов для ракетно-космической техники и авиации.

***Теоретическое значение диссертации.*** Установленные закономерности влияния структуры и состава сплавов на температурную зависимость теплоемкости и изменения термодинамических функций, кинетические и энергетические свойства, коррозионно-электрохимическое поведение алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием, расширят теоретические основы и представления в соответствующих разделах физической и неорганической химии, а также материаловедения.

Рассчитанные термодинамические характеристики изученных систем и результаты исследований соискателя будут служить готовым справочным материалом для специалистов химиков различного профиля.



### ***Практическая ценность исследования.***

- разработан оптимальный состав алюминиевого-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием, который устойчив к электрохимической коррозии и окислению и может использоваться при создании новой техники и конструкционных материалов;

- отдельные составы алюминиевого сплава AlBe1 с указанными легирующими добавками защищены малыми патентами РТ № ТЈ 1123 «Алюминиевый сплав с бериллием» от 13.04.2020 г. и № ТЈ 1276 «Сплав алюминия с бериллием» от 04.02.2022 г., которые могут использоваться для машиностроительной техники;

- установленные основные закономерности температурной зависимости теплоемкости и электрохимических свойств, а также изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) алюминиевого сплава AlBe1 в зависимости от количества легирующих компонентов: титаном, ванадием и ниобием могут быть использованы как теоретические основы при чтении отдельных и специальных курсов по физической, неорганической химии, а также материаловедении;

- разработанные составы сплавов и способы их получения рекомендуются в качестве материала для использования в авиакосмических конструкциях и изделиях, работающих при высоких температурах;

- опытные партии новых сплавов могут производиться на базе Государственного научного учреждения «Центр по исследованию инновационных технологий при Национальной академии наук Таджикистана» с целью поставки заинтересованным предприятиям и ведомствам.

***Достоверность диссертационных результатов*** подтверждается использованием современных физико-химических методов исследования и синтеза алюминиевых сплавов на модернизированных и усовершенствованных установках с высокой воспроизводимостью и сравнением результатов с данными других исследователей. Достоверность



полученных автором результатов установлена статистической обработкой данных с использованием современных методик по специальным компьютерным программам.

*Личный вклад соискателя* заключается в анализе литературных данных, в постановке и решении задач исследования, личном участии в подготовке и проведении экспериментальных работ в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, осуществлении расчетов, в формулировке основных положений и выводов диссертации, подготовке публикаций.

*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 165 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 редкоземельных металлов 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 титан, ванадий и ниобий не исследованы, для данной группы сплавов имеются лишь отрывочные сведения. Поэтому алюминий-бериллиевые сплавы с титаном, ванадием и ниобием диссертантом взяты в данной диссертационной работе в качестве объекта исследования.

*Во второй главе* диссертации представлены результаты исследования влияния титана, ванадия и ниобия на теплоёмкость и изменения



термодинамических функций алюминиево- 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 сплава AlBe1 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 титаном, ванадием и ниобием 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 титаном, а максимальные – ниобием, с ванадием - промежуточное положение. Продукты окисления сплавов в основном состоят из оксида алюминия, что подтверждено рентгенофазовым методом.

*В четвертой главе* работы приведены результаты потенциостатического исследования влияния титана, ванадия и ниобия на анодное поведение сплава AlBe1 в среде 0, 03; 0,30 и 3,00 % NaCl. Показано, что легирование исследуемыми металлами 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 титаном, ванадием и ниобием, 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 10 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации и 4 статьи в материалах международных и республиканских конференций, получено 2 малых патента Республики Таджикистан и имеется один акт испытания.*

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 изучены механические свойства сплавов, для которых разработан оптимальный состав, но не указано в каких областях промышленности они могут быть использованы.
2. В представленных в диссертации результатах исследований большое внимание уделяется зависимостям процессов окисления и других характеристик сплавов от состава с учетом соответствующих равновесных диаграмм состояния. Однако, ни одной диаграммы состояния со ссылкой на последние публикации, как в случае двойных, так и тройных систем, не



приводятся.

3. В первой главе диссертации, в п. 1.3, приведенный обзор является недостаточным при имеющейся в литературе многочисленной информации по теории окисления металлов и сплавов.

4. Диссертационная работа местами не лишена отдельных грамматических и стилистических ошибок (например, стр. 15; 28; 37; 65; 72 и т.д.)

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

#### *Рекомендации по использованию результатов исследования*

Результаты исследования, приведённые в диссертационной работе Рахимовой Н.О. 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 ВУЗаами химического и металлургического профилей в учебных курсах по физической, неорганической химии, специальных курсов соответствующего профиля.

#### *Заключение*

Диссертационная работа Рахимовой Нахтии Одинаевны на тему: «Физико-химические свойства алюминиево – бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием», 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 Рахимова Нахтия Одинаевна – заслуживает присуждения искомой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 – физическая химия (химические науки).

Отзыв заслушан и утвержден на расширенном заседании кафедры «Общая и неорганическая химия» Таджикского государственного педагогического университета им. С.Айни, протокол №10, от «5» июня 2023 г.

Председатель расширенного заседания, заведующий кафедрой общей и неорганической химии

Таджикского государственного

педагогического университета им. С. Айни,

кандидат химических наук, доцент

Низомов Исохон Мусоевич

Кандидат химических наук, доцент

кафедры общей и неорганической химии

Таджикского государственного педаго-

гического университета им. С. Айни

Жумаев Маъруфжон

Тагоймуротович

Адрес: Республика Таджикистан, 734003, г. Душанбе, пр. Рудаки 121, Таджикский государственный педагогический университет (ТГПУ) им. С. Айни, химический факультет.

E-mail: [info@tgpu.tj](mailto:info@tgpu.tj) Тел: +992 (37) 224-13-83;

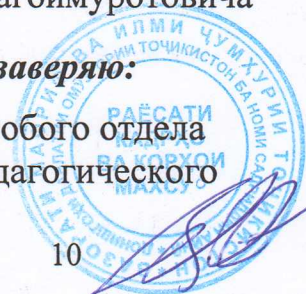
E-mail: [icohon@mail.ru](mailto:icohon@mail.ru) Тел: +992-935-07-55-58;

E-mail: [jumaev\\_m@dk.ru](mailto:jumaev_m@dk.ru) Тел: +992-904-44-41-00;

Подписи заведующего кафедрой общей и неорганической химии Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни, к.х.н., доцента Низомова Исохон Мусоевича и к.х.н., доцента этой же кафедры Жумаева Маъруфжона Тагоймуротовича

заверяю:

Начальник управления кадров и особого отдела  
Таджикского государственного педагогического  
университета им. С. Айни



Мустафозода А.