

*На правах рукописи*

**РАХИМОВА Нахтия Одинаевна**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВО –  
БЕРИЛЛИЕВОГО СПЛАВА  $AlBe_1$  С ТИТАНОМ, ВАНАДИЕМ И  
НИОБИЕМ**

**Специальность 1.4.4 – физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**ДУШАНБЕ -2023**

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» ГНУ «Институт химии им. В.И.Никитина НАН Таджикистана»

**Научный руководитель:** кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой «Методики преподавания химии» Таджикского национального университета **Курбонова Мукадас Завайдовна**

**Официальные оппоненты:** **Мирсаидзода Илхом-** доктор технических наук, доцент, директор Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана

**Зоиров Хусейн Абдурахмонович** – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Общая и неорганическая химия» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими.

**Ведущая организация:** Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, кафедра «общая и неорганическая химия»

Защита состоится: «03» июля 2023 года в 11:00 на заседании диссертационного совета 73.1.002.03 при ГНУ «Институт химии имени В.И.Никитина НАН Таджикистана» по адресу: 734063, Республика Таджикистан, г.Душанбе, ул. Айни, 299/2, E-mail: [dissiovet@ikai.tj](mailto:dissiovet@ikai.tj)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института химии имени В.И. Никитина НАНТ [www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj)

Автореферат разослан “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат химических наук

Норова М.Т.

## Введение

**Актуальность исследования.** Современные методы защиты от коррозии и разумное конструирование состава сплавов являются основными путями, позволяющими значительно повысить сроки эксплуатации металлических конструкционных материалов. Однако, улучшение физико-химических свойств непосредственно самого металлического сплава, по-прежнему остается важнейшим фактором для достижения новых возможностей современной техники.

Ценные свойства цветных металлов как медь, алюминий, цинк, магний, титан и другие металлы и сплавы на их основе являются незаменимыми материалами для приборостроительной и электротехнической промышленности, самолетостроения и радиоэлектроники, ядерной и космической отраслей техники. Каждый из цветных металлов обладает рядом каких-либо ценных свойств. Это может быть высокая теплопроводность, малая плотность, низкая температура плавления, высокая коррозионная стойкость. Сплавы на основе легких и цветных металлов, благодаря своим характеристикам могут в значительной степени заменить сталь. Другой причиной развития производства цветных сплавов является то, что широко распространенные железные сплавы подвержены сильной коррозии.

По расчетам экспертов, почти все современные материалы будут заменены принципиально новыми в ближайшие 20 лет практически во всех отраслях техники. Металлы и сплавы были и остаются основными конструкционными материалами в производстве машин, конструкционных материалов, оборудования, приборов, строительных сооружений, средств транспорта и связи, хотя в последние десятилетия стремительно расширяется ассортимент новых товаров, главным образом, полимерных материалов.

Для обеспечения дальнейшего технического прогресса необходимо совершенствовать методы и средства борьбы с коррозией, для снижения экономических потерь от коррозии.

Настоящее исследование посвящено изучению влияния титана, ванадия и ниобия в качестве легирующих добавок на теплоемкость, термодинамические функции, кинетику окисления и электрохимическое поведение алюминиево-бериллиевого сплава  $AlBe1$  с целью разработки сплавов с особыми свойствами, которые могут быть эффективно использованы в различных отраслях промышленности.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

### **Задачи исследования:**

- Исследование температурной зависимости теплоемкости и изменения термодинамических функций алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием.
- Исследование кинетических и энергетических параметров процесса окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием и определение механизма их окисления в твердом состоянии.
- Определение фазового состава продуктов окисления сплавов и изучение их защитных свойств.
- Экспериментальное определение влияния титана, ванадия и ниобия на анодное поведение алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 в электролитической среде 0,03; 0,3 и 3,0% NaCl.
- Оптимизация состава тройных сплавов на основе установления их физико-химических свойств и определение возможных областей их использования.

**Объектом исследования** являются сплавы алюминия различных марок в том числе с бериллием эвтектического состава Al+1%Be (мас.%), а также металлическим титаном, ванадием и ниобием.

**Предметом исследования** являлся алюминиево-бериллиевый сплав AlBe1 на основе технических сортов алюминия, легированного титаном, ванадием и ниобием.

**Научная новизна исследования** заключается в установлении основных закономерностей температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия и энергия 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 титаном, ванадием и ниобием увеличиваются, а энергия Гиббса-уменьшается. С увеличением доли титана, ванадия и ниобия в алюминиевом сплаве AlBe1 энтропия и энтальпия уменьшаются, а значение энергии Гиббса увеличивается.

Показано, что скорость окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием в твердом состоянии увеличивается с повышением температуры. Константа скорости окисления находится в порядке  $10^{-4} \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Установлено, что окисление алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием подчиняется гиперболическому закону. Методами рентгенофазового анализа изучены оксидные плёнки, образующиеся на поверхности образцов при окислении, идентифицирован их фазовый состав, определена их роль в процессе окисления.

Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием изучено в среде 0,03; 0,3 и 3,0% - ного раствора хлорида натрия потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с. Установлено, что добавки легирующих элементов до 1,0 мас.% повышают коррозионную стойкость исходного алюминиевого сплава AlBe1 на 30-50%. При этом 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.

**Теоретическая ценность исследования.** В работе излагаются теоретические аспекты исследования влияния структуры и состава на температурную зависимость теплоемкости и изменения термодинамических функций, закономерности изменения кинетических и энергетических свойств, коррозионно-электрохимическое поведение алюминиево-бериллиевого сплава  $AlBe1$ , легированного титаном, ванадием и ниобием. Установлено влияние концентрации легирующих компонентов и коррозионной среды на изменения физико-химических свойств исходного сплава  $AlBe1$ .

**Практическая ценность исследования** состоит из определения оптимального состава алюминиевого-бериллиевого сплава  $AlBe1$ , легированного титаном, ванадием и ниобием устойчивого к электрохимической коррозии и окислению для нужд новой техники.

На основе проведенных исследований, отдельные составы алюминиевого сплава  $AlBe1$  с титаном, ванадием и ниобием защищены малыми патентами Республики Таджикистан (патент РТ №ТJ1123 «Алюминиевый сплав с бериллием» от 13.04.2020 г. и патент РТ №ТJ1276 «Сплав алюминия с бериллием» от 04.02.2022 г.).

***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 титаном, ванадием и ниобием, а также механизм окисления сплавов. Расшифрованы продукты окисления сплавов и выявлены их роли в формировании механизма окисления;
- зависимости анодных характеристик и скорости коррозии алюминиевого сплава  $AlBe1$  с титаном, ванадием и ниобием от концентрации легирующего компонента в среде электролита  $NaCl$  различной концентрации;
- оптимальные составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью и повышенной коррозионной стойкостью, представляющие интерес в качестве лёгких конструкционных материалов для ракетно-космической техники и авиации.

**Достоверность диссертационных результатов** подтверждены тем, что при исследовании использовались современные экспериментальные методы. Исследования алюминиевых сплавов с помощью модернизированных и усовершенствованных приборов и подтверждены достаточной воспроизводимостью и сравнением результатов с данными других авторов.

**Личный вклад соискателя** 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.

### **Апробация диссертации и информация об использовании её результатов.**

Основные результаты и отдельные положения диссертации обсуждались и доложены на следующих конференциях: первой межд. научно-прак. конф. “Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применений”, посвящ. памяти профессора Баситовой С. М., 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности д.х.н., профессора Азизкуловой О.А. (Душанбе, 2022), Респуб. научно-практической конференции «Современные проблемы естествознания в науке и образовательном процессе», посвящ. двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (Душанбе, 2022), Респ. научно-теор. конф. профес.-препод. состава и сотрудников ТНУ, посвященной «5500-летию выдающегося таджикского поэта Камола Худжанди» и «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040)» (Душанбе, 2020), Респ. научно-прак. конф. «Основы и перспективы развития химической науки в Республике Таджикистан», посвященная 60-летию химического факультета и чествованию памяти д.х.н., профессора, академика АН РТ Нуманова И.У. (Душанбе, 2020)

**Опубликование результатов диссертации.** По результатам исследований опубликованы 10 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Российской Федерации и 4 статей в материалах международных и республиканских конференций. Также получено 2 малых патента Республики Таджикистан и имеется один акт испытания.

**Структура и объем диссертации.** 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.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

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

**В первой главе** представлен обзор литературных данных в области применения алюминиевых сплавов с титаном, ванадием и ниобием; теплоёмкость и термодинамические функции алюминиевых сплавов с бериллием, титаном, ванадием и ниобием и сплавов с другими металлами; особенности высокотемпературного окисления алюминиевых сплавов; влияние 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 изучены, т.е. для данной группы сплавов имеются лишь скудные отрывочные сведения.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах алюминий-бериллиевых сплавов с титаном, ванадием и

ниобием последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

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

## **Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОЕМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВО-БЕРИЛЛИЕВОГО СПЛАВА AlBe1 С ТИТАНОМ, ВАНАДИЕМ И НИОБИЕМ**

В современном мире прогресс во многих областях науки, техники и особенно технологии практически невозможен без необходимых достоверных данных, используемых при постановке задач по исследованию, проектированию и эксплуатации материалов и изделий. В связи с этим, особую актуальность приобретают производство и использование алюминия и его сплавов, обладающих высокой механической прочностью и пластичностью, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью и рядом других свойств.

Теплофизические и механические свойства сплавов на основе алюминия как теплоемкость, линейное расширение, плотность, теплопроводность, температуропроводность являются важнейшими физическими характеристиками, определяющими закономерности поведения этих материалов при различных внешних воздействиях.

В рамках данной работы исследовано влияние титана, ванадия и ниобия на теплоемкость и изменений термодинамических функций алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 (Al+1мас.%Be).

Сплавы для исследования получали в шахтных лабораторных печах сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750 – 800<sup>0</sup>С из Al – марки А7 (ГОСТ11069-2001), Be – марки ХЧ (ГОСТ 4459-78), Ti – марки ХЧ (ГОСТ 4459-78), V – марки ХЧ (ГОСТ 4459-78), Nb – марки МЧ (ГОСТ 4459-78). Сначала готовили алюминиево-бериллиевый сплав AlBe1, затем сплавы AlBe1 легировали лигатурой с титана, ванадия и ниобия, которые предварительно синтезировались в вакуумной печи сопротивления. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Состав полученных сплавов выборочно контролировался химическим качественным анализом, а также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 1,5-2% (отн.).

Измерение теплоемкости синтезированных нами сплавов проводились на установке, схема которой подробно описана в диссертации. Для подтверждения такого допущения экспериментально были установлены теплоемкости алюминия и меди. Полученные значения теплоемкости хорошо согласуются с литературными данными. Температурный диапазон измерения - до 800 К. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 300 до 700 К составляла  $\pm 1\%$ . Погрешность измерения теплоемкости по данной методике не превышает 4-6%, в нашем случае он составил 1,2%.

Обработка результатов испытаний производилась с помощью программы MS Excel. Кривые охлаждения образцов от  $\tau(T=f(\tau))$  построили с помощью программы Sigma Plot. Коэффициент корреляции составлял величину  $R_{\text{корр.}} \leq 0.998$  подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции.

Температурную зависимость теплоемкости алюминиевого сплава AlBe1 с Ti, V, Nb изучали в режиме «охлаждения» в интервале температур 300-700К. Полученные в ходе эксперимента кривые зависимости температуры от времени охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, представлены на рисунке 1 и описываются уравнением вида

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

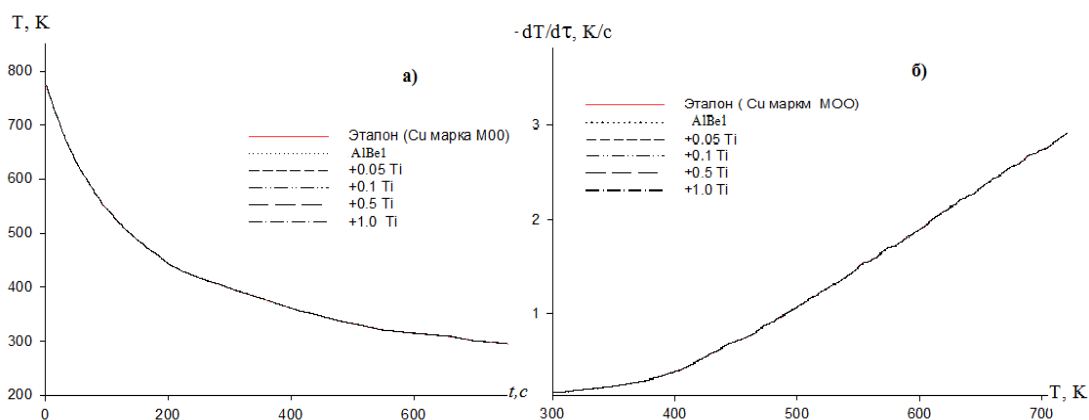
Дифференцируя уравнение (1) по  $\tau$ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов

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

По уравнению (2) нами рассчитаны скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона, которые графически представлены на рисунке 2. Значения коэффициентов  $a, b, p, k, ab, pk$  в уравнении (2) для исследованных сплавов приведены в таблице 1.

**Таблица 1** - Значения коэффициентов  $a, b, p, k, ab$  и  $pk$  в уравнении (2) для алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки M00)

Содержание титана в сплаве, мас. %	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	$p, K$	$k \cdot 10^{-4}, c^{-1}$	$a \cdot b, K \cdot c^{-1}$	$pk \cdot 10^{-2}, K \cdot c^{-1}$
0,00	326,86	9,62	446,95	5,78	3,15	2,58
0,05	326,87	9,62	447,14	5,78	3,15	2,58
0,10	326,84	9,62	487,18	6,76	3,15	2,58
0,50	326,85	9,62	446,86	5,78	3,15	2,58
1,00	326,87	9,62	447,05	5,78	3,15	2,58
Эталон	326,84	9,62	446,68	5,79	3,15	2,58



**Рисунок 1.** Зависимости температуры от времени охлаждения (а) и скорости охлаждения от температуры (б) для образцов из алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки M00)



Далее, используя рассчитанные значения величин скоростей охладений образцов из сплавов, по уравнению (3) была вычислена удельная теплоёмкость алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки M00).

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

где:  $m_1 = P_1 V_1$  - масса эталона;  
 $m_2 = P_2 V_2$  - масса исследуемого образца;

$\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ ,  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$  - скорости охлаждения образцов из сплавов и эталона при данной температуре. При этом использовалась программа SigmaPlot.

Путем проведения полиномиальной регрессии было получено следующее уравнение, описывающее температурную зависимость удельной теплоемкости сплава алюминия AlBe1 с титаном:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (4)$$

Результаты расчёта температурной зависимости удельной теплоёмкости сплавов по формулам (3) и (4) представлены на рис. 2а и в таблица 3. Как видно теплоемкость алюминиевого сплава AlBe1 от температуры увеличивается и с ростом содержания титана в сплаве уменьшается.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнении (4) полиномов температурной зависимости удельной теплоёмкости образцов из алюминиевого сплава AlBe1 с титаном.

**Таблица 2** – Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнении (4) для алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки M00)

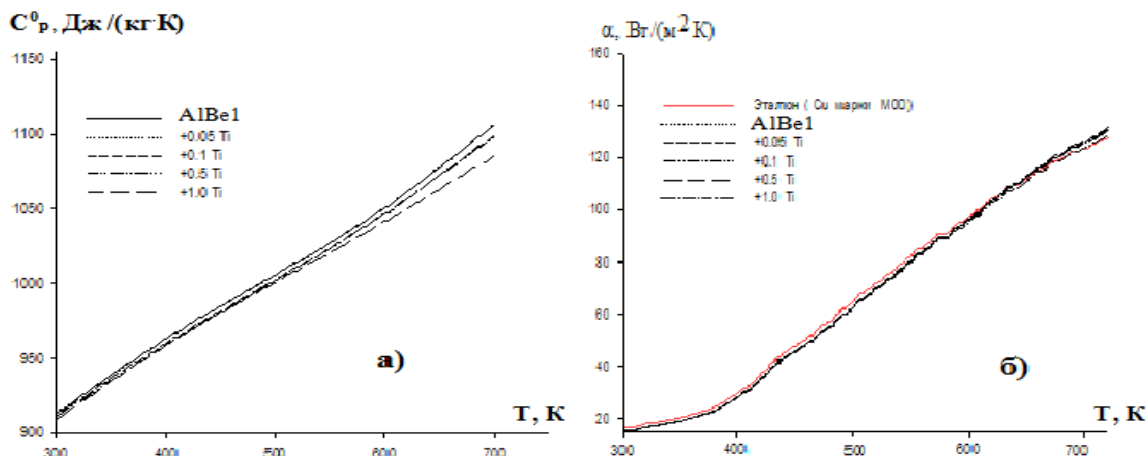
Содержание титана в сплаве, мас. %	$a$ , Дж/(кг·К)	$b$ , Дж/(кг·К <sup>2</sup> )	$c \cdot 10^{-5}$ , Дж/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-5}$ , Дж/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффициент корреляции, R, %
0,0	633,26	1,43	-2,10	1,470	0,9998
0,05	633,22	1,43	-2,11	1,470	0,9999
0,1	677,51	1,14	-1,51	1,060	0,9998
0,5	683,49	1,08	-1,36	0,948	0,9998
1,0	668,26	1,13	-1,38	0,863	0,9998
Эталон	324,45	0,27	-2,87	0,140	1,0000

Используя значения удельной теплоемкости алюминиевого сплава AlBe1, легированного титаном и экспериментально полученные значения скоростей охлаждения образцов из сплавов, вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплава AlBe1 с титаном по уравнению:

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

где:  $T$  и  $T_0$  – температура образца и окружающей среды, соответственно;  $S$ ,  $m$  – площадь поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость

коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава AlBe1 с титаном представлена на рисунке 2б.



**Рисунок 2.** Температурная зависимость теплоёмкости (а) и коэффициента теплоотдачи (б) алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталоном (Cu марки M00)

**Таблица 3** - Температурная зависимость удельной теплоёмкости (кДж/(кг·К)) алюминиевого сплава AlBe1 с 1,0 мас.% титаном, ванадием, ниобием и эталоном (Cu марки M00)

Содержание Ti, V, Nb в сплаве, мас.%	T, K				
	300	400	500	600	700
0,0	912,83	962,78	1005,81	1050,74	1106,39
1,0%Ti	909,15	958,42	1000,79	1041,45	1085,58
1,0%V	908,77	958,01	1000,37	1041,01	1085,12
1,0%Nb	906,27	953,25	995,46	1036,76	1081,01
Эталон	384,98	397,66	408,00	416,86	425,10

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

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

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

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

где  $T_0 = 298.15 \text{ K}$ .

Результаты расчёта температурной зависимости изменений термодинамических функций для алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки M00) через 100 K представлены в таблице 4. С помощью полученных полиномиальных зависимостей показано, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается.

Добавки титана в изученном концентрационном интервале (0,05–1,0 мас. %), увеличивают теплоемкость исходного сплава AlBe1. Энтальпия и энтропия исходного алюминиевого сплава AlBe1 от содержания титана уменьшается, а значение энергии Гиббса растёт. Указанные изменения теплофизических свойств и термодинамических функций алюминиевого эвтектического сплава AlBe1 при модифицировании его титаном связано с измельчением и ростом степени гетерогенности его структуры.

В таблице 5 обобщены результаты исследования теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевых сплавов AlBe1, на примере сплавов, содержащих 1,0 мас. % легирующего компонента. Видно, что при переходе от сплавов с титаном к сплавам с ванадием и ниобием энтальпия и энтропия сплавов уменьшаются. Значение энергии Гиббса имеет обратную зависимость.

**Таблица 4 - Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого сплава AlBe1 с титаном и эталона (Cu марки М00)**

Содержание титана в сплаве, мас.%	[ $H^0(T) - H^0(T_0^*)$ ], кДж/кг для сплавов				
	Т.К				
	300	400	500	600	700
0,0	1,6878	95,5632	194,0141	296,7896	404,5205
0,05	1,6876	95,5588	194,0055	296,7766	404,5033
0,1	1,6867	95,3523	193,4788	295,9084	403,1189
0,5	1,6839	95,2074	193,2487	295,6474	402,8119
1,0	1,6810	95,1390	193,1355	295,2406	401,5423
Эталон	0,7120	39,8675	80,1667	121,4190	163,5190
[ $S^0(T) - S^0(T_0^*)$ ], кДж/(кг·К) для сплавов					
0,0	0,0056	0,2754	0,4949	0,6821	0,8481
0,05	0,0056	0,2753	0,4948	0,6820	0,8481
0,1	0,0056	0,2747	0,4935	0,6802	0,8453
0,5	0,0056	0,2744	0,4929	0,6795	0,8446
1,0	0,0056	0,2741	0,4926	0,6787	0,8425
Эталон	0,0024	0,1149	0,2048	0,2800	0,3449
[ $G^0(T) - G^0(T_0^*)$ ], кДж/кг для сплавов					
0,0	-0,0052	-14,5817	-53,4216	-112,488	-189,141
0,05	-0,0052	-14,5811	-53,4191	-112,483	-189,132
0,1	-0,0052	-14,5564	-53,3001	-112,204	-188,625
0,5	-0,0052	-14,5331	-53,2234	-112,062	-188,414
1,0	-0,0052	-14,5183	-53,1848	-111,972	-188,184
Эталон	-0,0022	-6,10716	-22,2427	-46,5847	-77,9021

\*  $T_0 = 298,15 K$

**Таблица 5 - Зависимость изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса от температуры для алюминиевого сплава AlBe1 с 1,0 мас.% титаном, ванадием, ниобием и эталона (Cu марки М00)**

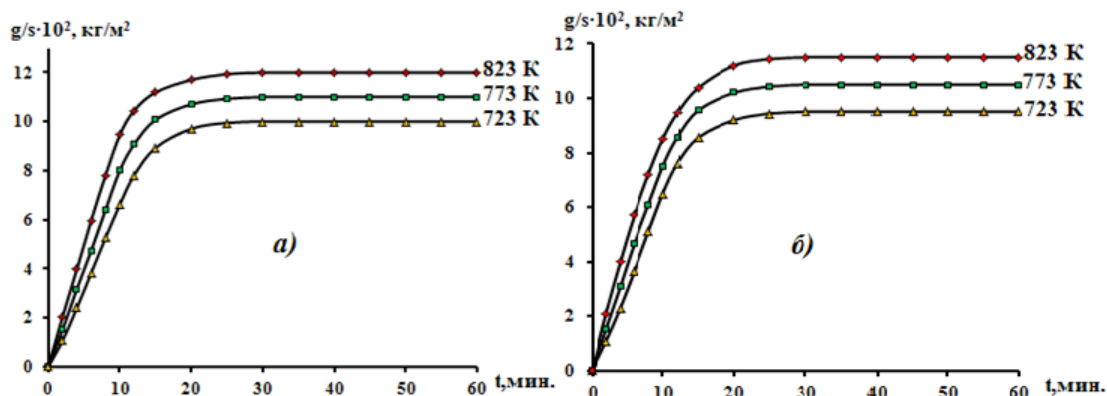
Содержание Ti, V, Nb в сплаве, мас.%	[H <sup>0</sup> (T) - H <sup>0</sup> (T <sub>0</sub> <sup>*</sup> )], кДж/кг· для сплавов				
	T, K				
	300	400	500	600	700
0,0	1,6878	95,5632	194,0141	296,7896	404,5205
1,0% Ti	1,6810	95,1390	193,1355	295,2406	401,5423
1,0% V	1,6810	95,1390	193,1355	295,2406	401,5423
1,0% Nb	1,6757	94,7078	192,1673	293,7705	399,6193
Эталон	0,7120	39,8675	80,1667	121,4190	163,5190
	[S <sup>0</sup> (T) - S <sup>0</sup> (T <sub>0</sub> <sup>*</sup> )], кДж/(кг·K) для сплавов				
0,0	0,0056	0,2754	0,4949	0,6821	0,8481
1,0% Ti	0,0056	0,2741	0,4926	0,6787	0,8425
1,0% V	0,0056	0,2741	0,4926	0,6787	0,8425
1,0% Nb	0,0056	0,2729	0,4902	0,6753	0,8384
Эталон	0,0024	0,1149	0,2048	0,2800	0,3449
	[G <sup>0</sup> (T) - G <sup>0</sup> (T <sub>0</sub> <sup>*</sup> )], кДж/кг· для сплавов				
0,0	-0,0052	-14,5817	-53,4216	-112,488	-189,141
1,0% Ti	-0,0052	-14,5183	-53,1848	-111,972	-188,184
1,0% V	-0,0052	-14,5183	-53,1848	-111,972	-188,184
1,0% Nb	-0,0051	-14,4586	-52,9406	-111,437	-187,279
Эталон	-0,0022	-6,1072	-22,2427	-46,584	-77,902

\* T<sub>0</sub> = 298,15 K

В целом, на основе выполненных экспериментальных исследований можно заключить, что полученные уравнения зависимостей теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса) от температуры для эвтектического алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием описывают свойства исследованных групп сплавов с точностью R<sub>корр.</sub> = 0.997 ÷ 0.999.

### Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВО-БЕРИЛЛИЕВОГО СПЛАВА AlBe1 С ТИТАНОМ, ВАНАДИЕМ И НИОБИЕМ

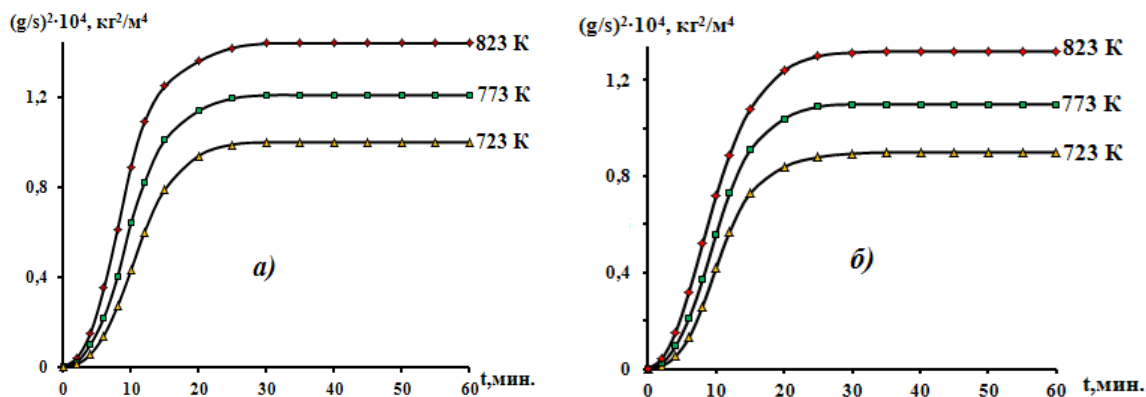
Кинетику окисления алюминиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием, в твердом состоянии изучали термогравиметрическим методом. Окисление алюминиевого сплава AlBe1 изучено на сплавах, содержащих: 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 мас.% титана. Состав сплавов исследовали качественным и количественным анализом. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов приведены в таблице 6 и на рисунках 3-6.



**Рисунок 3.** Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава AlBe1 (а) с 0,05 мас.% титаном (б)

Как видно из рисунка 3, кривые окисления алюминиевого сплава AlBe1 и сплава с 0,05 мас.% титаном имеют степенный характер с интенсивной начальной скоростью окисления в первые 10-20 минут и с последующим замедлением процесса. С увеличением температуры наблюдается рост скорости окисления.

Проведена математическая обработка кинетических кривых окисления алюминиевого сплава AlBe1, легированного титаном, в твёрдом состоянии. Кривые окисления подчиняются уравнению  $y = KX^n$ , в котором значение  $n$  меняется от 1 до 4 в зависимости от состава окисляемого сплава. Судя по нелинейной зависимости  $(g/s)^2-t$ , следует заключить, что характер окисления сплавов подчиняется гиперболической зависимости (рисунка 4 а,б).



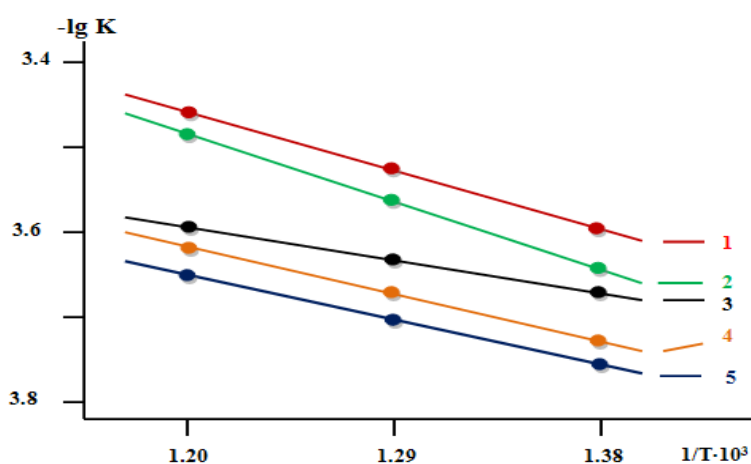
**Рисунок 4-** Квадратические кинетические кривые окисления алюминиевого сплава AlBe1 (а) и сплава с 0,05 мас.% титана (б)

В таблице 6 приведены значения кинетических и энергетических параметров процесса окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, в твердом состоянии. Как видно, что легирование алюминиевого сплава AlBe1 1,0 мас.% титаном способствует некоторому уменьшению истинной скорости окисления и соответственно увеличению энергии активации окисления по сравнению с исходным сплавом. Некоторое уменьшение истинной скорости окисления происходит при легировании алюминиевого сплава AlBe1 0,5 и 1,0 мас.% титаном.

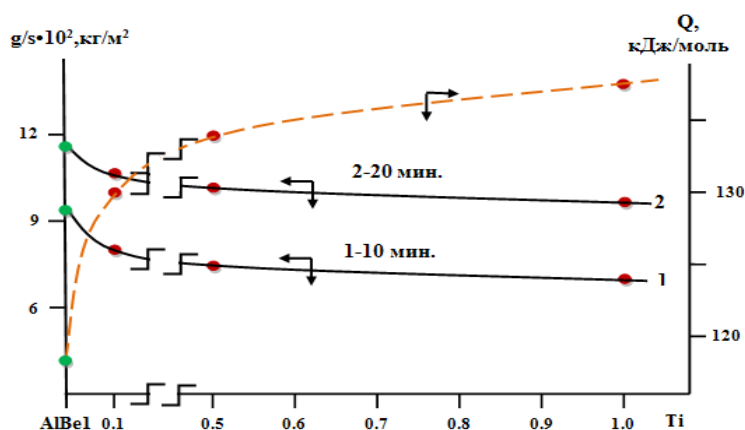
Приведенная на рисунке 5 зависимость  $-\lg K-1/T$  и изохронны окисления сплавов (рисунок 6) для алюминиевого сплава AlBe1, легированного титаном, показывают, что процесс окисления при исследованных температурах с ростом содержания титана в сплаве AlBe1 уменьшается.

**Таблица 6** - Кинетические параметры процесса окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, в твердом состоянии

Содержание титана 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, кДж/моль
0,0	723	3.67	118.5
	773	3.89	
	823	4.28	
0,05	723	3.63	126.1
	773	3.85	
	823	4.24	
0,1	723	3.59	130.0
	773	3.81	
	823	4.20	
0,5	723	3.55	133.9
	773	3.77	
	823	4.16	
1,0	723	3.51	137.5
	773	3.73	
	823	4.11	



**Рисунок 5.** Зависимость  $-\lg K$  от  $1/T$  для алюминиевого сплавов AlBe1 (1), легированного титаном, мас. %: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5)



**Рисунок 6.** Изохронны окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном при 823 К

Таким же образом была исследована кинетика окисления алюминиевого сплава AlBe1 с ванадием и ниобием. Результаты исследования приведены в таблице 7. Видно, что при переходе от сплавов с титаном к сплавам с ванадием и ниобием, окисление сплавов растёт, о чём свидетельствует уменьшение величины кажущейся энергии активации окисления сплавов.

Важную информацию о процессе окисления сплава AlBe1 с Ti, V и Nb можно получить, исследуя продукты их окисления. Продукты окисления сплавов в основном состоят из оксида алюминия, что подтверждено рентгенофазовым методом (427, 465, 615-670, 775-1100  $\text{см}^{-1}$ ). В сплавах с высоким содержанием легирующих добавок (1,0 мас.%) обнаружены полосы поглощения, относящиеся к оксидам легирующих металлов, как:  $\text{V}_2\text{O}_5$ ; (858  $\text{см}^{-1}$ );  $\text{VeO}$  (460, 475, 520-605, 770-1420  $\text{см}^{-1}$ );  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (402, 693, 860, 1060  $\text{см}^{-1}$ ). На штрих-дифрактограммах оксидов сплавов встречаются полосы поглощения, относящиеся к оксидам бериллия  $\text{BeO}$ ,  $\text{Be}_2\text{O}_3$ . Также встречаются отдельные полосы поглощения при 515, 788, 875, 1080, 1221  $\text{см}^{-1}$  и при 677, 850, 826  $\text{см}^{-1}$  и т.д., которые относятся к оксидам сложных составов типа шпинелей (рисунок 7).

**Таблица 7** - Кажущаяся энергии активации (кДж/моль) процесса окисления алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 от содержания титана, ванадия и ниобия, в твердом состоянии

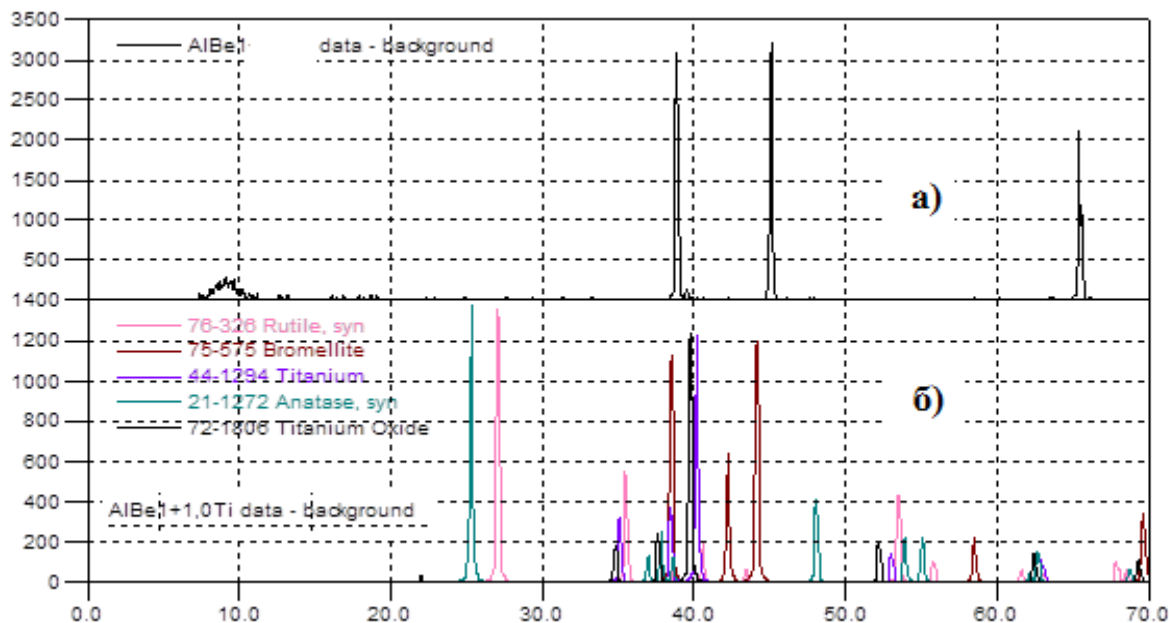
Легирующий компонент в сплаве, мас.%	Содержание добавки в сплаве, мас.%				
	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
Ti	118,5	126,1	130,0	133,9	137,5
V		124,0	128,6	132,1	135,9
Nb		121,9	125,5	129,9	133,0

Видно, что добавки Ti, V и Nb к алюминиевому сплаву AlBe1 приводят к образованию химически прочных оксидов, что способствуют повышению жаростойкости сплавов.

В целом, при экспериментальном исследовании кинетики окисления алюминиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием установлено, что



самые минимальные значения скорости окисления относятся к сплаву AlBe1 с титаном, а максимальные к сплавам с ниобием. Алюминиево-бериллиевый сплав AlBe1 с ванадием занимает промежуточное положение. Показано, что легирующие компоненты значительно уменьшают окисляемость исходного алюминиевого сплава AlBe1 (таблица 7).



**Рисунок 7.** Штрих дифрактограммы продуктов окисления алюминиевого сплава AlBe1 (а) и сплава с добавками 1,0 мас.% титана (б)

Таким образом, алюминиево-бериллиевый сплав AlBe1 с добавками титана, ванадия и ниобия рекомендуется для изготовления изделий, эксплуатирующихся при высоких температурах.

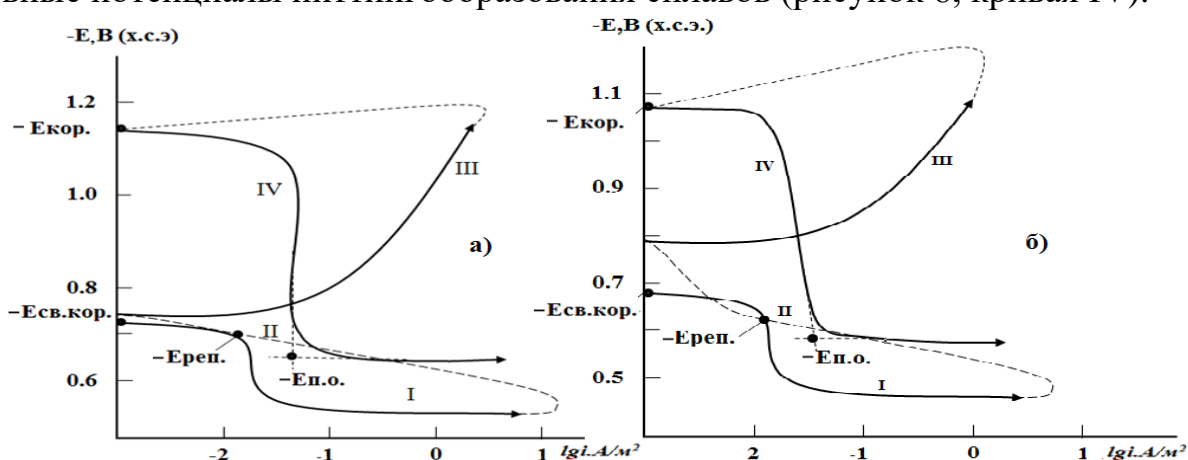
### **Глава 3. ВЛИЯНИЕ ТИТАНА, ВАНАДИЯ И НИОБИЯ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЕВО - БЕРИЛЛИЕВОГО СПЛАВА Al-Be1, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl**

В данном разделе представлены результаты исследования анодного поведения алюминиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием, в среде электролита 0,03, 0,3 и 3,0%-ного NaCl. Исследования проводили в потенциостатическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с, с программатором ПР-8 и самозаписью на ЛКД-4. Электродом сравнения служил хлорид – серебряный, а вспомогательным – платиновый. По ходу прохождения полной поляризационной кривой (рисунок 8) определяли следующие электрохимические параметры:  $E_{ст}$  или  $E_{св,кор}$  – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;  $E_{рп}$  – потенциал репассивации;  $E_{п.о.}$  – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя) после катодной поляризации;  $E_{кор}$  – потенциал коррозии;  $i_{кор.}$  – ток коррозии. Расчет тока коррозии, как основной электрохимической характеристики процесса коррозии, проводился по катодной кривой с учетом тафеловской константы  $v_k = 0,12В$ . Скорость



коррозии ( $K$ ) определяли по формуле  $K=i_{кор} \cdot k$ , где  $i_{кор}$  –плотность тока коррозии, а  $k = 0,335$  г/А час электрохимический эквивалент алюминия.

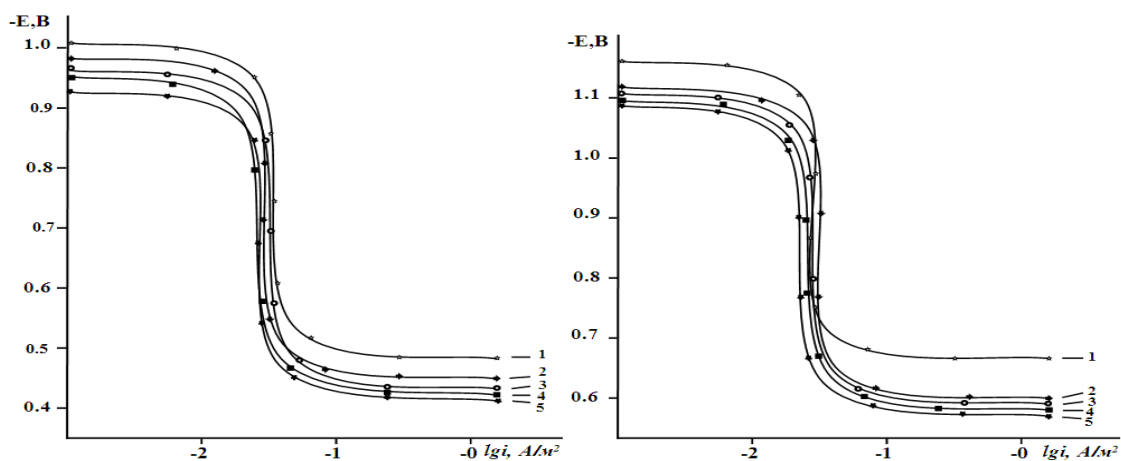
Для электрохимических исследований образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рисунок 8, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рисунок 8, кривая II) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее шли в катодную область до значения потенциала  $-1,2$ В для удаления оксидной плёнки с поверхности электрода (рисунок 8, кривая III) в результате подщелачивания приэлектродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодных кривых после катодной поляризации определяли основные потенциалы питтингообразования сплавов (рисунок 8, кривая IV).



**Рисунок 8.** Полная поляризационная (2мВ/с) кривая алюминиевого сплава AlBe1 (а) с добавками 1,0 мас.% титана (б), в среде электролита 3,0%-ного NaCl

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплава AlBe1 с титаном, в среде электролита хлорида натрия представлены в таблице 8. Исследования показывают, что добавки титана, ванадия и ниобия в пределах 0,05-1,0мас.% способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом потенциалы питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (таблица 8). Сплавы, легированные Ti, V и Nb характеризуются более низким значением скорости коррозии, чем исходный сплав AlBe1 (таблица 9).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0,05-1,0 % титана, ванадия и ниобия почти на 30-50% меньше, чем у исходного сплава (таблица 9). Добавки титана, ванадия и ниобия способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чём свидетельствует смещение анодных кривых сплавов в более положительную область потенциалов (рисунок 9). При этом по мере увеличения концентрации хлорид – иона в электролите NaCl скорость коррозии сплавов увеличивается независимо от содержания легирующего компонента.



**Рисунок 9.** Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые алюминиевого сплава AlBe1 (1), содержащего титан, мас. %: 0,05 (2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5), в среде 0,03(а) и 3,0%-ного (б) электролита NaCl

Применительно к настоящим исследованиям следует отметить, что в целом с ростом концентрации хлорид – иона в 10 (0,03% и 0,3% NaCl) и 100 (0,03% и 3,0% NaCl) раз потенциал питтингообразования алюминиевых сплавов с титаном, ванадием и ниобием смещается в отрицательную область значений.

Потенциал свободной коррозии алюминиевых сплавов с ростом концентрации титана, ванадия и ниобия изменяется в положительном направлении оси ординат. С увеличением концентрации хлорид – иона потенциал свободной коррозии сплавов уменьшается (таблица 8).

**Таблица 8** – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии (-Е<sub>св.кор.</sub>, В) и питтингообразования (-Е<sub>п.о.</sub>, В) алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание Ti, V, Nb в сплаве, мас.%	Сплавы с Ti		Сплавы с V		Сплавы с Nb	
		-Е <sub>св.кор.</sub>	-Е <sub>п.о.</sub>	-Е <sub>св.кор.</sub>	-Е <sub>п.о.</sub>	-Е <sub>св.кор.</sub>	-Е <sub>п.о.</sub>
0,03	0,0	0.560	0.490	0.560	0.490	0.560	0.490
	0,05	0.540	0.450	0.528	0.442	0.515	0.431
	0,1	0.530	0.442	0.516	0.431	0.506	0.419
	0,5	0.520	0.430	0.500	0.420	0.493	0.410
	1,0	0.512	0.420	0.490	0.409	0.480	0.400
0,3	0,0	0.600	0.560	0.560	0.490	0.600	0.560
	0,05	0.578	0.530	0.600	0.560	0.558	0.495
	0,1	0.570	0.515	0.570	0.506	0.547	0.483
	0,5	0.560	0.500	0.560	0.495	0.536	0.474
	1,0	0.550	0.490	0.550	0.483	0.525	0.463
3,0	0,0	0.728	0.640	0.728	0.670	0.728	0.670
	0,05	0.700	0.600	0.680	0.581	0.668	0.570
	0,1	0.688	0.588	0.670	0.572	0.654	0.562
	0,5	0.680	0.576	0.660	0.560	0.640	0.551
	1,0	0.673	0.570	0.649	0.550	0.628	0.542

Плотность тока коррозии и соответственно скорость коррозии алюминиевых сплавов с титаном, ванадием и ниобием с ростом концентрации хлорид-иона увеличиваются. Независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента, данная зависимость характерна для алюминиевого сплава AlBe1 с легирующими металлами.

Уменьшение скорости коррозии не коррелирует со свойствами самих переходных металлов при переходе от сплава AlBe1 с титаном к сплавам с ванадием и ниобием. С увеличением концентрации хлорид-иона в электролите NaCl также характерен рост скорости коррозии для алюминиевого сплава AlBe1 (таблица 9).

**Таблица 9** – Зависимость скорости коррозии алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание Ti, V, Nb в сплаве, мас. %	Сплавы с Ti		Сплавы с V		Сплавы с Nb	
		$i_{кор.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	K $10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{кор.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	K $10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{кор.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	K $10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·час
0,03	0,0	0.031	10.38	0.031	10.38	0.031	10.38
	0,05	0.026	8.71	0.025	8.37	0.023	7.70
	0,1	0.024	8.04	0.023	7.70	0.021	7.03
	0,5	0.022	7.37	0.021	7.03	0.019	6.30
	1,0	0.020	6.70	0.019	6.36	0.017	5.69
0,3	0,0	0.036	12.06	0.036	12.06	0.036	12.06
	0,05	0.032	10.72	0.031	10.38	0.029	9.71
	0,1	0.030	10.05	0.029	9.71	0.027	9.04
	0,5	0.028	9.38	0.027	9.04	0.025	8.37
	1,0	0.026	8.71	0.025	8.37	0.023	7.70
3,0	0,0	0.042	14.07	0.042	14.07	0.042	14.07
	0,05	0.037	12.39	0.036	12.06	0.034	11.39
	0,1	0.035	11.72	0.034	11.39	0.032	10.79
	0,5	0.033	11.05	0.032	10.72	0.030	10.05
	1,0	0.031	10.38	0.030	10.05	0.028	9.38

Таким образом, установлено, что легирование алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 до 1,0 мас. % Ti, V и Nb повышает его анодную устойчивость на 30-50 % в среде электролита NaCl.

## ВЫВОДЫ:

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость удельной теплоемкости алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием. Установлено, что с ростом температуры и содержания легирующего компонента теплоемкость сплавов увеличивается, а при переходе от сплавов с титаном к сплавам с ванадием и ниобием уменьшается.

2. Исследованиями термодинамических функций алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием показано, что при переходе от сплавов с титаном к сплавам с ниобием с ростом температуры увеличиваются значения энтальпии, энтропии и снижается величина энергии Гиббса. От содержания легирующих добавок энтальпия и энтропия сплавов уменьшается, значение энергии, Гиббса – растёт.

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4} \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ; выявлено, что минимальное значение кажущейся энергии активации относится к исходному сплаву AlBe1, а максимальные – относятся к сплаву, легированному 1,0 мас.% ниобием. Показано, что легирующие компоненты титан, ванадий и ниобий в пределах 0,05-1,0 мас. % повышает устойчивость исходного алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 к окислению.

4. Методом рентгенофазового анализа исследованы продукты окисления алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием и показано, что они состоят в основном из простых оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{BeO}$ ;  $\text{Be}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Ti}_2\text{O}$ ;  $\text{V}_2\text{O}$ ;  $\text{Nb}_2\text{O}$  и оксидов сложного состава типа:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}_{21.333}\text{O}_{32}$ ,  $(\text{Ti}_2\text{O})(\text{Al}_2\text{O}_3)_{11}(\text{H}_2\text{O})_{1.54}$ ;  $\text{TiAl}_2(\text{OH})_7(\text{H}_2\text{O})_2$ ,  $\text{V}_{1.44}\text{Al}_{10.88}\text{O}_{17.23}$ ,  $\text{V}(\text{H}_2\text{O})\text{OH}$ ,  $\text{Nb}_{2.74}\text{Al}_{22}\text{O}_{38}$ .

5. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1, легированного титаном, ванадием и ниобием, в среде электролита хлорида натрия. Установлено, что легирование указанными металлами алюминиевого сплава AlBe1 до 1,0 мас.% повышает его анодную устойчивость на 30-50% в среде электролита NaCl.

6. На основе проведенных исследований разработаны составы новых алюминиево-бериллиевых сплавов, легированных титаном, ванадием и ниобием, которые защищены двумя малыми патентами Республики Таджикистан (Патент №ТJ1123 от 13.04.2020г. и Патент № TJ1002 от 01.03.2022г.).

### Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Установленные физико-химические параметры алюминиево-бериллиевого сплава AlBe1 с титаном, ванадием и ниобием пополняют страницы соответствующих справочников.

2. Разработанные составы сплавов и способы их получения рекомендуются в качестве материала для использования в авиакосмических конструкциях и изделиях, работающих при высоких температурах.

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

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ**

**Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации**

1. **Рахимова, Н.О.** Влияние добавки титана на коррозионно-электрохимические свойства алюминиевого сплава АБ1 / Ганиев И.Н., Рахимова Н.О., Курбонова М.З., Давлатзода Ф.С., Якубов У.Ш. // Неорганические материалы.: Москва. -Т.58, -№8. -2022. -С.924–928 (**Scopus-Q2**). (**Rakhimova, N.O.** Effect of titanium additions on the corrosion and electrochemical properties of aluminum alloy AB1/ Ganiev, I.N., Rakhimova N.O., Kurbonova M.Z., Davlatzoda F. S., and U. Sh. Yakubov // ISSN 0020-1685, Inorganic Materials. - 2022.- Vol.58.-№8. PP.893–897. © Pleiades Publishing, Ltd.-2022. (**Scopus-Q2**)).

2. **Рахимова, Н.О.** Влияние титана, ванадия и ниобия на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава АБ1 / Курбонова М.З., Ганиев И.Н., Рахимова Н.О., Назарова М.Т. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. - 2020. -№1. -С.187-195.

3. **Рахимова, Н.О.** Влияние титана на коррозионно -электрохимические свойства алюминиевого сплава АБ1, в среде электролита 0,03%-ного NaCl / Рахимова Н.О. // Журнал: Наука и инновация. -2021. -№4. - С.139-146.

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

4. **Рахимова, Н.О.** Малый патент Республики Таджикистан №ТJ1123 от 13.04.2020 г. «Алюминиевый сплав с бериллием» / Курбонова М.З., Ганиев И.Н., **Рахимова Н.О.**, Назарова М.Т. // №1801241; заявл. 01.03.2019г., опубл. 13.04.2020.

5. **Рахимова, Н.О.** Малый патент Республики Таджикистан №ТJ1276. от 04.02.2022г «Сплав алюминий с бериллием» / Ганиев И.Н., Сафаров А.М., Курбонова М.З., Эмомов И.А., Исмонов Р.Д., Якубов У.Ш., **Рахимова Н.О.**, Абуали Элмурод//№1801241; заявл. 04.04.2022г., опубл. 04.02.2022.

6. Ганиев, И.Н. Акт испытания о использование алюминиевых сплавов в ОАО «Талко» / Ганиев И.Н., Курбонова М.З., Назарова М.Т., **Рахимова Н.О.**, Эмомов И.А.// РТ. Душанбе, Акт испытания от 28.06.2022г.

### **Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:**

7. **Рахимова, Н.О.** Влияние ванадия на анодное поведение алюминиевого сплава АБ1 в среде электролита 0,03%-ного NaCl / **Рахимова Н.О.**, Эмомов

И.А., Курбонова М.З., Ганиев И.Н., Назарова М.Т. // Мат. первой межд. научно-прак. конф. “Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применений”, посвящ. памяти профессора Баситовой С. М., 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности д.х.н., профессора Азизкуловой О.А. -Душанбе. -2022. - С.203-208.

8. **Рахимова, Н.О.** Электрохимические свойства алюминиевого сплава АБ1 с ниобием в среде электролита 0,03%-ного NaCl / **Рахимова Н.О.**, Эмомов И.А., Курбонова М.З., Ганиев И.Н., Назарова М.Т. // Мат. Респуб. научно-практической конференции «Современные проблемы естествознания в науке и образовательном процессе», посвящ. двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук (27 мая 2022 г.). -Душанбе. -2022. -С.140-142.

9. **Рахимова, Н.О.** Изучение механических свойств алюминиево-бериллиевых сплава (АБ1) с добавками титана / **Рахимова Н.О.**, Курбонова М.З., Ганиев И.Н., Назарова М.Т. // Мат. Респ. научно-теор. конф. профес.-препод. состава и сотрудников ТНУ, посвященной «5500-летию выдающегося таджикского поэта Камола Худжанди» и «20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования (2020-2040)» - Душанбе.- 2020.- С.234-235.

10. **Рахимова, Н.О.** Влияние ванадия на микроструктуру и механические свойства алюминиевого сплава АБ1/ **Рахимова Н.О.**, Курбонова М.З., Ганиев И.Н., Раджабалиев С.С. // Мат. Респ. научно-прак. конф. «Основы и перспективы развития химической науки в Республике Таджикистан», посвященная 60-летию химического факультета и чествованию памяти д.х.н., профессора, академика АНРТ Нуманова И.У. - Душанбе. -2020.- С.263-265.