



Научная статья  
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)  
УДК 669.715:541.127

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.020



## КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7 И КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ $Al-Al_2O_3$ («ОКСИДАЛЬ») В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Муъминджон Махмудзода <sup>1</sup>, Бахтиер Бадалович Эшов <sup>2</sup>,  
Иззатулло Наврузович Ганиев <sup>3</sup>, Джамшед Хусейнович Джайлоев <sup>4</sup>,  
Фируз Акбарович Рахимов <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 5</sup> Центр по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

<sup>3, 4</sup> Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

<sup>1</sup> m.mahmudzoda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8785-7418>

<sup>4</sup> husenzod85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9411-396X>

<sup>5</sup> r.f.a-040891@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0012-6052>

**Аннотация.** Коррозия и окисление сплавов являются одними из основных причин потери изделиями их свойств и функций. Использование материалов, обладающих высоким сопротивлением к окислению, может стать решением многих задач в использовании и эксплуатации современных технологий и техники в различных условиях. Поэтому исследование взаимодействия кислорода с металлами и сплавами, также выявление закономерности их взаимодействия приобрело большое значение в последнее время в связи с потребностью в новых материалах с особыми физико-химическими свойствами и широким применением таких материалов в различных областях науки и техники. Композиционные материалы на основе алюминия и различные добавки к сплавам алюминия могут стать основой для получения особых свойств.

Приведены результаты исследования процесса окисления алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала системы  $Al-Al_2O_3$  (Оксидаль). Необходимость исследования процесса окисления сплава АК7 и композиционного материала «Оксидаль» определяет возможность их использования в кислородсодержащих или насыщенных кислородом средах.

Исследования сплавов в изотермических условиях проводили термогравиметрическим методом в воздушной среде, регистрируя массу проб в течение часа при температуре 623; 773 и 823 К. При этом определялось увеличение удельного веса образцов. Окисление во времени определяли в зависимости от размера поверхности образцов.

На основании этих данных были построены кинетические кривые окисления, а также определены величины удельного увеличения массы образцов, то есть алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала «Оксидаль», в зависимости от времени и температуры.

В результате исследований было выяснено, что композиционный материал «Оксидаль» имеет меньшую скорость окисления по сравнению со сплавом АК7, т.к. величина энергии активации процесса окисления у «Оксидаля» выше, чем у алюминиевого сплава АК7.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав АК7, композиционный материал, «Оксидаль», термогравиметрический метод, кинетика окисления, истинная скорость окисления, энергия активации окисления, коррозия.

**Для цитирования:** Кинетика окисления алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала на основе алюминия  $Al-Al_2O_3$  («Оксидаль») в твердом состоянии / М. Махмудзода [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 2. С. 159–165. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.020. EDN: <https://elibrary.ru/PSTWCF>.

Original article

## OXIDATION KINETICS OF AK7 ALUMINUM ALLOY AND COMPOSITE MATERIAL BASED ON ALUMINUM Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> («OXIDALLE») IN THE SOLID STATE

Muminjon Mahmudzoda <sup>1</sup>, Bakhtiyor B. Eshov <sup>2</sup>, Izatullo N. Ganiev <sup>3</sup>,  
Jamshed H. Jailoev <sup>4</sup>, Firuz A. Rahimov <sup>5</sup>

<sup>1, 2, 5</sup> Research Center for Innovative Technologies NAST, Dushanbe, Tajikistan

<sup>3, 4</sup> Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

<sup>1</sup> m.mahmudzoda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8785-7418>

<sup>4</sup> husenzod85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9411-396X>

<sup>5</sup> r.f.a-040891@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0012-6052>

**Abstract.** Corrosion and oxidation of alloys are one of the main reasons why products lose their properties and functions. The use of materials with high resistance to oxidation can be a solution to many problems in the use and operation of modern technologies and equipment in various conditions. Therefore, the study of the interaction of oxygen with metals and alloys, as well as the identification of the patterns of their interaction, has become of great importance recently, due to the need for new materials with special physical and chemical properties, and the widespread use of such materials in various fields of science and technology. Composite materials based on aluminum and various additives to aluminum alloys can become the basis for obtaining special properties.

The results of the study of the process of oxidation of the aluminum alloy AK7 and the composite material of the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system (Oxidalle) are presented. The need to study the oxidation process of the AK7 alloy and the composite material determines the possibility of their use in oxygen-containing or oxygen-saturated media.

Studies of alloys under isothermal conditions were carried out by the thermogravimetric method in air, recording the mass of samples for an hour at a temperature of 623; 773 and 823K. In this case, the increase in the specific gravity of the samples was determined. Oxidation in time was determined depending on the size of the surface of the samples.

Based on these data, kinetic oxidation curves were constructed, and the values of the specific increase in the mass of the samples, that is, the AK7 aluminum alloy and the Oxidalle composite material, were determined depending on time and temperature.

Because of the research, it was found that the Oxidalle composite material has a lower oxidation rate compared to the AK7 alloy, because the value of the activation energy of the oxidation process in «Oxidalle» is higher than that of the aluminum alloy AK7.

**Keywords:** aluminum alloy AK7, composite material, "Oxidalle", thermogravimetric method, oxidation kinetics, true oxidation rate, activation energy of oxidation.

---

**For citation:** Mahmudzoda, M., Eshov, B. B., Ganiev, I. N., Jailoev, Ja. H. & Rahimov, F. A. (2022). Oxidation kinetics of AK7 aluminum alloy and composite material based on aluminum Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> («Oxidalle») in the solid state. *Polzunovskiy vestnik*, 4(2), 159-165. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.020. EDN: <https://elibrary.ru/PSTWCF>.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время использование вторичного алюминия является актуальной темой. Доля использования вторичного алюминия в промышленности составляет более 30 % и становится больше. По всему миру работает налаженная сеть сборщиков и пе-

реработчиков алюминиевого лома. Главным отличием вторичного алюминия от первичного является то, что в их составе содержится большее количество железа и других примесей, которые образуют различные интерметаллидные фазы. Известно, что интерметаллиды имеют неблагоприятную форму, играют роль концентраторов напряжений в металле и являются основной причиной более низкого

## КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7 И КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ $Al-Al_2O_3$ («ОКСИДАЛЬ») В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

качества вторичных алюминиевых сплавов по сравнению с их первичными аналогами [1].

Находящиеся в составе сплава примеси, в том числе железо, могут иметь различное происхождение. Какое-то количество примесей попадают из руды, могут входить в металл в процессе электролиза и не всегда полностью удаляются в процессе производства и рафинирования первичного алюминия. Примеси могут возникать в процессе плавления и разлива из-за загрязнения шихты, взаимодействия металла с футеровкой и флюсами, а также из-за растворения элементов литейного оборудования и литейного инструмента. Кроме того, большое количество примесей может поступать при переплавке алюминиевых отходов [1].

Из-за этого возникает потребность в исследовании и разработке технологий, которые бы позволяли перерабатывать этот лом и превратить в чистый алюминий, наиболее пригодный для использования в промышленности или получения сплавов на основе вторичного алюминия, которые позволят использовать без дополнительной очистки [1].

При изучении физико-химических свойств высокопрочных, высокопроводящих сплавов  $Al-Fe$  выявлено, что с ростом содержания железа повышается вязкость расплавов, снижается теплопроводность, увеличивается электросопротивление, значительно повышается предел ползучести, тогда как предел усталости снижается благодаря присутствию фазы  $FeAl_3$  [1].

Электродный потенциал меняется незначительно, поскольку потенциал фазы  $FeAl_3$  равен  $-0,4 \div -0,5$  В, а у алюминия  $-0,8$  В, разность потенциалов  $0,4$  В между алюминием (матрицей) и частицами фазы  $FeAl_3$  снижает коррозионную стойкость сплавов. Влияние фазы  $FeAl_3$  достаточно велико, т.к. несколько сотых долей % железа входят в состав твердого раствора, сегрегируя по границам зёрен и субзёрен, что может привести к межкристаллитной коррозии. Последующие добавки к сплавам  $Al-Fe$  образуют дисперсные частицы  $FeAl_3$  и тем самым меняют характер коррозии от межкристаллитной до питтинговой [1].

В работах [2, 3] было показано влияние чистоты алюминия на его коррозионную стойкость. Так, сравнительное исследование коррозионной стойкости алюминия марок А6 (99,6 % Al) и А995 (99,995 % Al) показало, что скорость коррозии металла марки А6 составляет  $8,04$  г/м<sup>2</sup>·час, а алюминия А995 –  $1,68$  г/м<sup>2</sup>·час в среде 3 %-ного NaCl.

По этой причине, изучение сплавов системы  $Al-Fe$  представляет большой практический интерес, поскольку можно разработать на его основе новые сплавы, которые могут использоваться в качестве гальванического анода – протектора. Высокое содержание железа в алюминии ухудшает его свойства и ограничивает сферу его применения. Низкосортный алюминий с повышенным содержанием железа практически не находит применения, за исключением его использования для дегазации и раскисления стали.

Цель наших исследований заключается в разработке сплавов на основе вторичного алюминия, чтобы превратить данный металл в сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследования был выбран алюминиевый сплав АК7 и композиционный материал, полученный на его основе «Оксидаль».

Одним из видов таких материалов является композиционный материал на основе системы  $Al-Al_2O_3$ , который получают из вторичного алюминия методом продувки расплава кислородом [5, 6]. В результате этого получается композиционный материал, обладающий высокой прочностью, малым удельным весом и низкой пластичностью.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение кинетики окисления металлов проводили, используя метод непрерывного взвешивания образцов, который применяется обычно при изучении высокотемпературной коррозии твердых металлов [6, 7].

Для проведения исследования был использован вторичный алюминиевый сплав марки АК7. На основе этого сплава был получен композиционный материал «Оксидаль», по технологии [5, 6]. Химический состав алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала системы  $Al-Al_2O_3$  («Оксидаль») определяли методом эмиссионного спектрального анализа с использованием прибора SPECTROMAXx в лаборатории материаловедения Уральского федерального университета (г. Екатеринбург).

Нами изучена кинетика окисления алюминиевого сплава АК7 и нового композиционного материала «Оксидаль» термогравиметрическим методом, кинетические и энергетические параметры процесса окисления данных сплавов приведены на рисунках 1–3 и в таблицах 1–2.

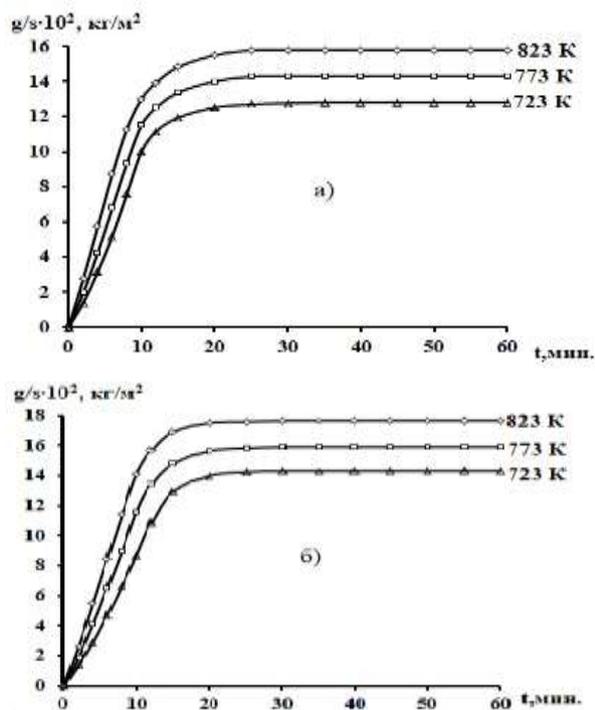


Рисунок 1 – Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АК7 (а) и композиционного материала «Оксидаль» (б)

Figure 1 - Kinetic curves of oxidation of aluminum alloy AK7 (a) and composite material "Oxidalle" (b)

Вид кинетических кривых окисления алюминиевого сплава АК7 показывает, что окисление в начальных стадиях протекает интенсивно, о чем свидетельствует рост величины удельной массы образцов. Истинная скорость окисления сплава АК7 в зависимости от температуры изменяется в пределах  $2,39 \cdot 10^{-4}$  до  $2,95 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  (рис. 1, а). Кажущаяся энергия активации процесса окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости  $-\lg K - 1/T$ , составляет  $106,5$   $\text{кДж/моль}$  (табл. 1).

Окисление алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала «Оксидаль» в твёрдом состоянии проводили при температурах 723 К, 773 К и 823 К. Кинетические кривые окисления сплава АК7 и композиционного материала «Оксидаль» приведены на рисунке 1. Скорость окисления сплава в зависимости от времени и температуры незначительно увеличивается. Однако рост величины удельной массы образца к 20 минутам приобретает постоянное значение, равное  $17,9 \cdot 10^{-2}$   $\text{кг/м}^2$  при 823 К. Кажущаяся энергия

активации процесса окисления составляет  $107,0$   $\text{кДж/моль}$  (табл. 1).

Трансформация алюминиевого сплава АК7 в композиционный материал  $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$  «Оксидаль» способствует некоторому уменьшению истинной скорости окисления и соответственно увеличению энергии активации окисления композиционного сплава «Оксидаль». Так, если при температурах 723 К, 773 К и 823 К значение истинной скорости окисления сплава АК7, изменяется от  $2,39 \cdot 10^{-4}$  до  $2,95 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  с энергией активации  $106,5$   $\text{кДж/моль}$ , то при этих же температурах скорость окисления композиционного материала «Оксидаль», характеризуется величинами  $2,36 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,61 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  и  $2,90 \cdot 10^{-4}$ ; при этом значение кажущейся энергии активации составляет  $107,0$   $\text{кДж/моль}$  (табл. 1).

При окислении сплавов наблюдается медленное, но плавное нарастание толщины оксидной плёнки, которая при 20 минутах полностью предотвращает процесс окисления. По мере роста толщины оксидной плёнки скорость процесса окисления резко затормаживается, а с увеличением температуры растёт.

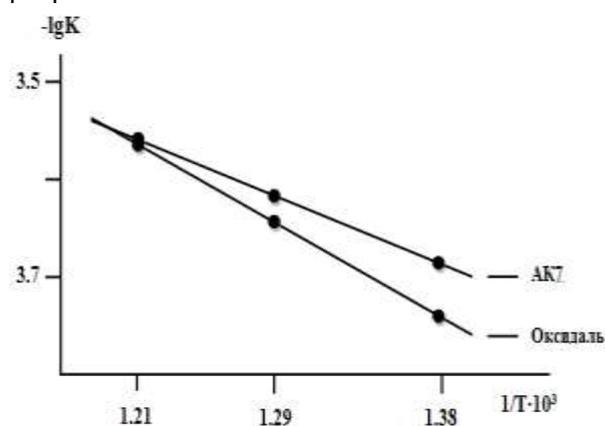


Рисунок 2 – Зависимость  $\lg K$  от  $1/T$  для алюминиевого сплава АК7 (а) и композиционного материала системы  $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$  «Оксидаль» (б)

Figure 2 - Dependence of  $\lg K$  on  $1/T$  for aluminum alloy AK7 (a) and composite material "Oxidalle" (b)

Приведенная на рисунке 2 зависимость  $-\lg K - 1/T$  для алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала системы  $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$  «Оксидаль» показывают, что с ростом температуры скорость окисления растёт. Также видно из графиков, что окисление сплава «Оксидаль» проходит менее активно.

**КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7 И КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> («ОКСИДАЛЬ») В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ**

Таблица 1 – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава АК7 и композиционного материала системы Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> «Оксидаль»

Table 1 - Kinetic and energy parameters of the process of oxidation of the AK7 alloy and the composite material of the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> "Oxidalle" system

| Материал   | Температура окисления, К | Истинная скорость окисления К·10 <sup>4</sup> , кг·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup> | Кажущаяся энергия активации, кДж/моль |
|------------|--------------------------|---|---------------------------------------|
| АК7        | 723                      | 2,39  | 106,5                                 |
|            | 773                      | 2,66  |                                       |
|            | 823                      | 2,95  |                                       |
| «Оксидаль» | 723                      | 2,36  | 107,0                                 |
|            | 773                      | 2,61  |                                       |
|            | 823                      | 2,90  |                                       |

Таблица 2 – Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления алюминиевого сплава АК7 (а) и композиционного материала системы Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> «Оксидаль» (б) в твёрдом состоянии

Table 2 - Polynomials of quadratic kinetic curves of oxidation of aluminum alloy AK7 (a) and composite material of the system Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> "Oxidalle" (b) in the solid state

| Материал   | Температура окисления, К | Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления сплавов                          | Коэффициент регрессии, R <sup>2</sup> |
|------------|--------------------------|--|---------------------------------------|
| АК7        | 723                      | $y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,6 \cdot 10^{-3}x^3 - 4,49 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,2937x$ | 0,978                                 |
|            | 773                      | $y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 1 \cdot 10^{-3}x^3 - 6,11 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,5809x$   | 0,987                                 |
|            | 823                      | $y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 1,5 \cdot 10^{-3}x^3 - 8,16 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,9187x$ | 0,994                                 |
| «Оксидаль» | 723                      | $y = -0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 3 \cdot 10^{-3}x^3 - 36 \cdot 10^{-2}x^2 + 0,737x$      | 0,990                                 |
|            | 773                      | $y = -0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 1 \cdot 10^{-3}x^3 - 0,6 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,281x$     | 0,991                                 |
|            | 823                      | $y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 2 \cdot 10^{-3}x^3 - 49 \cdot 10^{-2}x^2 + 1,815x$      | 0,993                                 |

y\* – удельный привес сплавов;

x\*\* – продолжительность окисления

В таблице 2 приведены результаты обработки квадратичных кривых окисления сплавов в виде зависимости (g/s)<sup>2</sup>-t (рис. 3) для алюминиевого сплава АК7 и компози-

онного материала системы Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> «Оксидаль». Следует заключить, что характер окисления сплавов подчиняется гиперболи-

ческой зависимости, т. к. в уравнение  $y = kx^n$ , значение  $n$  изменяется от 1 до 4 (табл. 2).

По результатам проведенных исследований установлено, что полученный композиционный материал характеризуется меньшим значением параметров окисления, чем исходный сплав марки АК7.

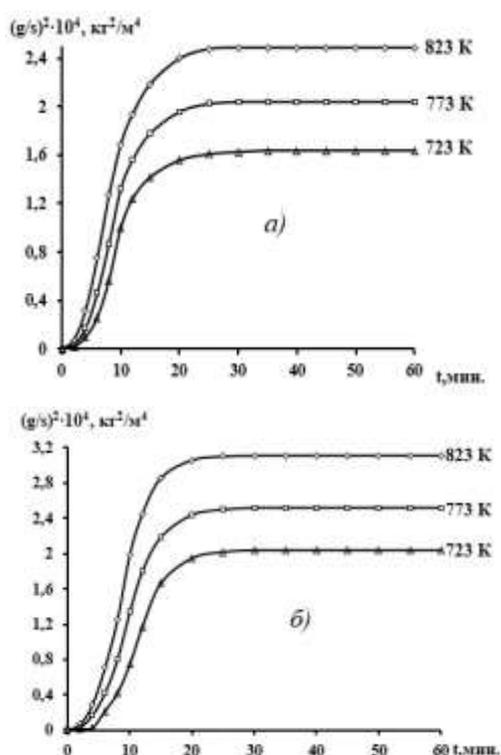


Рисунок 3 – Квадратические кривые окисления алюминиевого сплава АК7 (а) и композиционного материала системы Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> «Оксидаль» (б)

Figure 3 - Quadratic oxidation curves of aluminum alloy AK7 (a) and composite material of the system Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> "Oxidalle" (b)

### ВЫВОДЫ

Термогравиметрическим методом исследована сравнительная зависимость скорости окисления алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала «Оксидаль». Зависимость скорости окисления от температуры показывает, что с ростом температуры значения окисления увеличиваются, при этом скорость окисления алюминиевого сплава АК7 выше, чем у композиционного материала «Оксидаль». Получены полиномы кривых окисления сплавов и на их основе установле-

но, что окисление протекает по гиперболическому механизму.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов, Г.С., Бычков, Ю.Б. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья. – М., Металлургия, 1979 г. – 192 с.
2. Ганиев, И.Н., Умарова, Т.М., Обидов, З.Р. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах : монография. – Германия : Издательский дом LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011 – 198с.
3. Коррозионное и электрохимическое поведение алюминия различной степени чистоты в нейтральной среде 3%-ного NaCl / И.Н. Ганиев, Ф.У. Обидов, Т.М. Умарова [и др.] // Доклады. АН Республики Таджикистан. – 2003. – Т. 46. – № 1. – С. 53–57.
4. Коррозионное-электрохимическое поведение особо чистого алюминия и его сплава АК1, легированного скандием / И.Н. Ганиев // ЖПХ. – 2004. – Т. 77. – № 6. – С. 939–943.
5. Анодное поведение сплава Al+2.18%Fe, легированного барием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2012. – Т. 55. – № 9. – С. 747–749.
6. Finkelstein, A.B., Schaefer, A., Chikova, O.A. // Acta Metallurgica Slovaca. – 2017. – 23. – № 1. – Р. 4–11.
7. Chikova, O.A., Finkel'shtein, A.B., Shefer, A.A. // Physics of Metals and Metallography. – 2018. – 119. – № 7. – Р. 685–690.
8. Новый алюминиевый композит оксидаль / А.Б. Финкельштейн, О.А. Чикова, А.А. Шефер, М. Махмудзода // Литейное производство. – 2019. – № 7. – С. 6–8
9. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi ("алдрей") с кальцием, в твердом состоянии / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, Ё.Дж. Холов, Н.И. Ганиева // Известия НАН Таджикистан. Отд. Физ.-мат., хим., геол. и тех. наук. – 2021. – № 1. – С. 75–81
10. Кинетика окисления алюминиево-железовых сплавов, легированных кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири», Тюмень. – 2013. – С. 96–99.
11. Окисления алюминиево-железового сплава AL+2,18%Fe, легированного кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов [и др.] // Материалы Международной конференции: «Комплексные соединения и аспекты их применения». – Душанбе. – ТНУ. – 2013. – С. 27–28.

### Информация об авторах

М. Муъминдзон – старший научный сотрудник Центра по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана.

Б. Б. Эшов – д.х.н., профессор, директор Центра по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана.

# КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7 И КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ $Al-Al_2O_3$ («ОКСИДАЛЬ») В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

*И. Н. Ганиев – д.х.н., профессор, академик НАН Таджикистана, заведующий лабораторией Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана.*

*Дж. Х. Джайлоев – к.т.н., ведущий научный сотрудник Института химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана.*

*Ф. А. Рахимов – к.т.н., ведущий научный сотрудник Центра по исследованию инновационных технологий НАН Таджикистана.*

## REFERENCES

1. Ershov, G.S. & Bychkov, Yu.B. (1979). High-strength aluminum alloys based on recycled materials. M., Metallurgy (In Russ.).
2. Ganiev, I.N., Umarova, T.M. & Grievances, Z.R. (2011). Corrosion of double aluminum alloys in neutral media: monograph. Germany: Publishing. Home of LAP LAMBERT Academic Publishing. (In Russ.).
3. Ganiev, I.N., Obidov, F.U. & Umarova, T.M. (2003). Corrosion and electrochemical behavior of aluminum of varying degrees of purity in a neutral environment of 3 % NaCl. Reports. Academy of Sciences of the Republic. Tajikistan. 46(1). 53-57. (In Russ.).
4. Ganiev, I.N. (2004). Corrosion - electrochemical behavior of high-purity aluminum and its alloy AK1 alloyed with scandium. ZhPKh. 77(6). 939-943. (In Russ.).
5. Jailoev, J.H., Ganiev, I.N., Amonov, I.T. [and others] (2012). Anode behavior of Al+2,18 %Fe alloy doped with barium. Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. 55(9). 747-749. (In Russ.).
6. Finkelstein, A.B., Schaefer, A. & Chikova, O.A. (2017). Acta Metallurgica Slovaca. 23(1). 4-11.
7. Chikova, O.A., Finkel'shtein, A.B. & Shefer, A.A. (2018). Physics of Metals and Metallography. 119(7). 685-690.
8. Finkelstein, A.B., Chikova, O.A., Shefer, A.A. & Mahmudzoda, M. (2019). New aluminum composite Oxidal. Foundry production. (7) FROM. 6-8. (In Russ.).

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 15.12.2022.*

*The article was received by the editorial board on 10 Oct 2022; approved after editing on 30 Nov 2022; accepted for publication on 15 Dec 2022.*

9. Jailoev, J.H., Ganiev, I.N., Kholov, Y.J. & Ganieva, N.I. (2021). Oxidation kinetics of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi ("Aldrey") with calcium, in the solid state. Proceedings of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Dep. Phys.-Math., Chem., Geol. and those. Sciences. (1). FROM. 75-81. (In Russ.).

10. Jailoev, J.H., Ganiev, I.N., Amonov, I.T. [et al.] (2013). Oxidation kinetics of aluminum-iron alloys doped with calcium. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Oil and Gas of Western Siberia", Tyumen. 96-99. (In Russ.).

11. Jailoev, J.H., Ganiev, I.N., Amonov, I.T. [et al.] (2013). Oxidation of aluminum-iron alloy AL + 2.18 % Fe alloyed with calcium. Proceedings of the International Conference: "Complex compounds and aspects of their application". Dushanbe. TNU. 27-28. (In Russ.).

## Information about the authors

*M. Muminjon - Senior researcher at the Center for the Study of Innovative Technologies. National Academy of Sciences of Tajikistan.*

*B. B. Eshov - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Center for Research of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan.*

*I. N. Ganiev - Doctor of Chemistry, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of the Laboratory of the Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan.*

*Ja. H. Jailoev - Candidate of Technical Sciences, leading researcher of the Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan.*

*F. A. Rahimov - Ph.D., Leading Researcher of the Center for the Study of Innovative Technologies of the National Academy of Sciences of Tajikistan.*