

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

PHYSICAL CHARACTERISTICS AND THEIR STUDY

Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 4. С. 267–274.

DOI: 10.17073/1609-3577-2021-4-267-274

УДК 620.193+669.715

Влияние добавок кальция на анодное поведение проводников алюминевого сплава E–AlMgSi (алдрей), в среде электролита NaCl

© 2021 г. И. Н. Ганиев¹✉, Дж. Х. Джайлоев¹, Ё. Дж. Холов², Н. И. Ганиева³

¹ *Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана,
ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан*

² *Дангаринский государственный университет,
ул. Маркази, д. 25, Дангара, 735320, Таджикистан*

³ *Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими,
просп. Акад. Рахмоновых, д. 10, Душанбе, 734042, Таджикистан*

✉ Автор для переписки: ganiev48@mail.ru

Аннотация. При создании новых материалов, предназначенных для работы в особо жестких условиях, встает задача придания им коррозионной стойкости. Практическое решение проблемы связано с уровнем знаний в области противокоррозионной защиты металлов и сплавов. При использовании проводниковых алюминиевых сплавов для изготовления тонкой проволоки могут возникнуть определенные сложности. Это связано с их недостаточной прочностью и малым числом перегибов до разрушения. В последние годы разработаны новые алюминиевые сплавы, которые в мягком состоянии обладают удовлетворительными прочностными характеристиками, что позволяет использовать их в качестве проводникового материала. Одним из известных проводниковых сплавов является алюминиевый сплав E–AlMgSi (алдрей). Этот сплав относится к термоупрочняемым сплавам. Данный сплав отличается хорошей пластичностью и высокой прочностью. При соответствующей термической обработке сплав приобретает высокую электропроводность. Провода, изготовленные из него, используются почти исключительно для воздушных линий электропередач. В данной работе представлены результаты исследования коррозионного поведения алюминевого проводникового сплава E–AlMgSi (алдрей) с кальцием, в среде электролита 0,03, 0,3 и 3,0 % NaCl. Исследование анодного поведения сплавов проводилось потенциостатическим методом на потенциостате ПИ–50–1.1 при скорости развертки потенциала 2 мВ/с. Легирование алюминевого сплава E–AlMgSi (алдрей) кальцием повышает его коррозионную устойчивость на 15–20 %. Потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов, содержащих

© 2021 National University of Science and Technology MISiS.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

кальций смещаются в положительную область значений. От концентрации электролита хлорида натрия указанные потенциалы уменьшаются.

Ключевые слова: проводниковый алюминиевый сплав E–AlMgSi (алдрей), кальций, потенциостатический метод, электролит NaCl, скорость коррозии, потенциалы свободной коррозии и питтингообразования

Для цитирования: Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Холов Ё.Дж., Ганиева Н.И. Влияние добавок кальция на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E–AlMgSi (алдрей), в среде электролита NaCl. *Известия вузов. Материалы электрон. техники.* 2021; 24(4): 267–274. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-4-267-274>

Effect of calcium additives on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E–AlMgSi (Aldrey), in the medium of the NaCl electrolyte

I. N. Ganiev¹✉, J. H. Jayloev¹, E. J. Kholov², N. I. Ganieva¹

¹ *V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan*

² *Dangara State University, 25 Markazi Str., Dangara 735320, Tajikistan*

³ *Tajik Technical University named after academician M.S.Osimi, 10 Academicians Radjabov's Ave., Dushanbe 734042, Tajikistan*

✉ Corresponding author: ganiev48@mail.ru

Abstract. When creating new materials designed to work in particularly harsh conditions, the task of giving them corrosion resistance arises, the practical solution of which is associated with the level of knowledge in the field of high-temperature oxidation of metals and alloys. When using conductive aluminum alloys for the manufacture of thin wire, for example, winding wire, etc., certain difficulties may arise due to their insufficient strength and a small number of kinks before failure. In recent years, aluminum alloys have been developed, which even in a soft state have strength characteristics that allow them to be used as a conductor material. One of the conductive aluminum alloys is the E–AlMgSi alloy (Aldrey), which refers to thermally strengthened alloys. It is characterized by high strength and good ductility. This alloy under appropriate heat treatment acquires high electrical conductivity. The wires made from it are used almost exclusively for overhead power lines.

The results of the study of the anodic behavior of the aluminum conductor alloy E–AlMgSi (Aldrey) with calcium, in an electrolyte medium of 0.03; 0.3 and 3.0% NaCl are presented. Corrosion–electrochemical study of alloys was carried out by the potentiostatic method on the PI–5.0–1.1 potentiostat at a potential sweep rate of 2 mV/s. It is shown that alloying the aluminum alloy E–AlMgSi (Aldrey) with calcium increases its corrosion resistance by 20%. The potentials of corrosion, pitting and repassivation of alloys during doping with calcium are shifted to the positive range of values, and from the concentration of sodium chloride in the negative direction of the ordinate axis.

Keywords: aluminum conductor alloy E–AlMgSi (Aldrey), calcium, potentiostatic method, NaCl electrolyte, corrosion rate, free corrosion and pitting formation potentials

For citation: Ganiev I.N., Jayloev J.H., Kholov E.J., Ganiev N.I. Effect of calcium additives on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E–AlMgSi (Aldrey), in the medium of the NaCl electrolyte. *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering.* 2021; 24(4): 267–274. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-4-267-274>

Введение

В электротехнике алюминий и его сплавы широко применяют в качестве проводникового и конструкционного материала. Алюминий как проводниковый материал характеризуется высокой электропроводностью. После меди алюминий характеризуется максимальным уровнем электропроводности среди всех технически применяемых металлов. Он также отличается малой плотностью, высокой стойкостью против воздействия химических веществ, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях [1].

Другое его отличие заключается в том, что он проявляет нейтральное поведение по отношению к изоляционным материалам. Например, к маслам, лакам и термопластам он проявляет инертность, в том числе при повышенных температурах. Алюминий отличается от других металлов малой магнитной восприимчивостью. Он образует неэлектропроводный, легко устранимый порошкообразный продукт (Al_2O_3) в электрической дуге [2, 3].

Использование алюминия и его сплавов регламентируется особыми предписаниями или общими правилами конструирования, особенно, когда речь идет о материалах для коммутационных аппаратов, матч линии электропередач, корпусов электродвигателей и выключателей и т. д.

Наилучшим соотношением стоимости алюминия к стоимости меди объясняется экономическая

целесообразность применения алюминия в качестве проводникового материала. Следует учесть и тот фактор, что в течение многих лет стоимость алюминия практически не меняется [2].

При изготовлении тонкой проволоки, например, обмоточного провода и т. д. из проводниковых алюминиевых сплавов, могут возникнуть определенные сложности, связанные с их недостаточной прочностью и небольшим числом перегибов до разрушения [1].

Одним из проводниковых сплавов с высокой прочностью и хорошей пластичностью является алюминиевый сплав E-AlMgSi (алдрей). Данный сплав относится к термоупрочняемым сплавам, и при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность. Провода изготовленные из него используются почти исключительно для воздушных линий электропередач [1—3].

Вопросы повышения коррозионной стойкости сплавов алюминия являются актуальными, т. к. линии электропередачи из них эксплуатируются в открытой атмосфере [4—6].

Цель работы — исследование влияния добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей), химического состава, % (мас.): Si — 0,5; Mg — 0,5.

Экспериментальная часть

Синтез сплавов проводился в интервале температур 750—800 °C в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ. При получении алюминиевого сплава E-AlMgSi шихтой служил алюминий марки А6, который дополнительно легировался расчетным количеством кремния и магния. При легировании сплава кремнием учитывалось его количество равное 0,1 % (мас.) в составе первичного алюминия. Завернутый в алюминиевую фольгу металлический магний, вводился в расплав алюминия с помощью колокольчика. Кальций вводился в расплав в виде лигатуры с алюминием. Содержание кальция в лигатуре составило 10 % (мас.). Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводился в Центральной заводской лаборатории ГУП «Таджикская алюминиевая компания». Также контролировался состав сплавов взвешиванием шихты и полученных образцов. В случае отклонения веса образцов более чем на 1—2 % (отн.) их синтез проводился заново. Далее из расплава удалялся шлак и производилось литье образцов в графитовую изложницу для коррозионно-электрохимических исследований. Полученные образцы цилиндрической формы имели диаметр 8 мм и длину 140 мм.

Образцы для электрохимических исследований поляризовали в положительном направлении. При этом исходили от потенциала, установившегося при

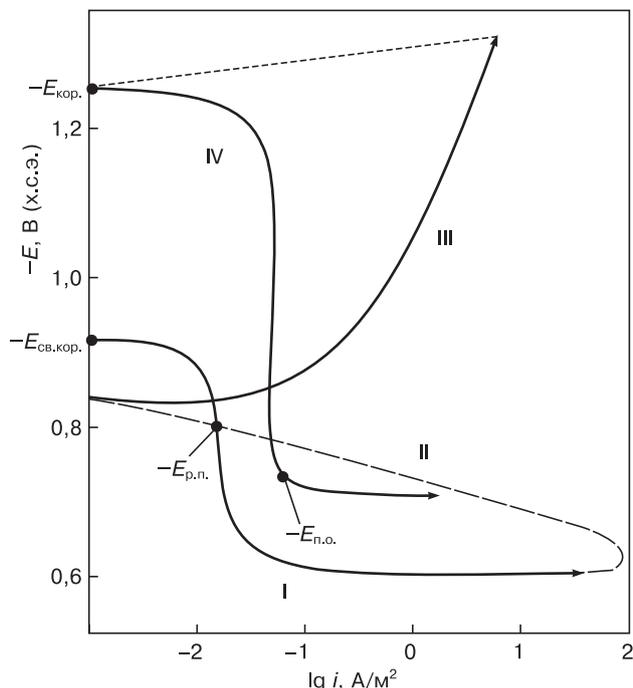


Рис. 1. Анодная и катодная поляризационная (2 мВ/с) кривые алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), в среде электролита 3 % NaCl

Fig. 1. Anode and cathode polarization (2 mV/s) curves of E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy in a 3% NaCl electrolyte medium

погружении в исследуемый раствор NaCl ($E_{\text{св.кор.}}$ — потенциал свободной коррозии или стационарный) до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока (рис. 1, кривая I). Затем, образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 1, кривые II и III) до значения потенциала $-1,3$ В. В результате происходило растворение пленки оксида. Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая IV). При этом, при переходе от катодного к анодному ходу, фиксировался потенциал питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$) сплавов.

Основные электрохимические потенциалы сплавов определялись на полученной таким образом поляризационных кривых: $-E_{\text{ст.}}$ или $-E_{\text{св.кор.}}$ — стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии; $-E_{\text{рп.}}$ — потенциал репассивации; $-E_{\text{п.о.}}$ — потенциал питтингообразования; $-E_{\text{кор.}}$ — потенциал коррозии; $i_{\text{кор.}}$ — ток коррозии.

Расчет тока коррозии проводили с учетом тафеловской наклонной $A = 0,12$ В по катодной кривой.

При этом имелось ввиду, что процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов, в нейтральных средах определяется катодной реакцией ионизации кислорода. В свою очередь, скорость коррозии являясь функцией тока коррозии вычисляется по формуле:

$$K = i_{\text{кор.}}k,$$

где $k = 0,335$ г/(А·ч) — электрохимический эквивалент алюминия.

Воспроизводимость измерения электрохимических потенциалов равнялась $\pm 1 \div \pm 2$ мВ, плотность тока коррозии составляла $(0,001—0,005) \cdot 10^{-2}$ А/м². Методика снятия поляризационных кривых сплавов подробно описан в работах [5—14].

Обсуждение результатов

Результаты коррозионно-электрохимических исследований, в среде электролита NaCl, алюминии-

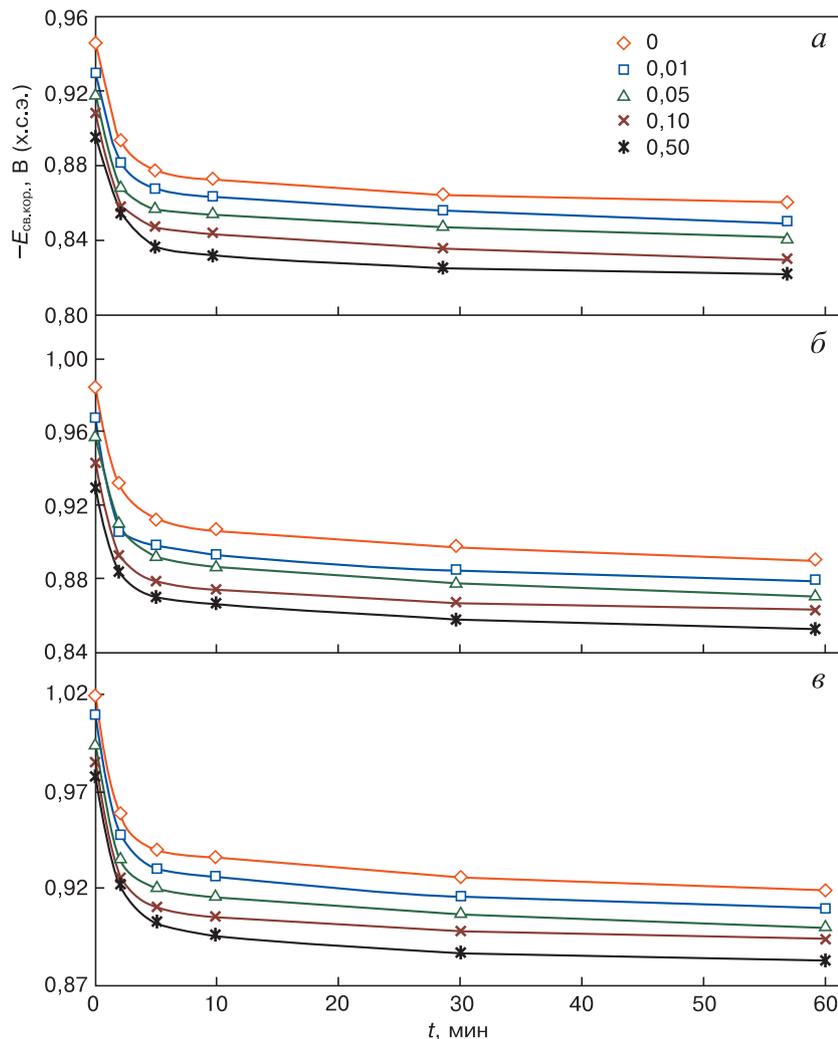


Рис. 2. Зависимость потенциала свободной коррозии алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), содержащего кальций, в среде электролита 0,03 % (а); 0,3 % (б) и 3,0%-ного (в) NaCl от времени

Fig. 2. Temporal dependence of the free corrosion potential of calcium-doped E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy in (a) 0.03%; (б) 0.3% and (в) 3.0% NaCl electrolyte media

Коррозионно–электрохимические характеристики алюминиевого сплава E–AlMgSi (алдрей) с кальцием, в среде электролита NaCl

Corrosion and electrochemical characteristics of calcium–doped E–AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy in NaCl electrolyte medium

Среда NaCl, % (мас.)	Содержание кальция в сплаве, % (мас.)	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{р.п.}$	$i_{кор.}, 10^2 \text{ А/м}^2$	$K, 10^3 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$
0,03	—	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0,01	0,850	1,088	0,590	0,715	0,046	15,41
	0,05	0,842	1,072	0,578	0,715	0,044	14,74
	0,10	0,830	1,055	0,566	0,710	0,041	13,73
	0,50	0,822	1,040	0,552	0,707	0,039	13,06
0,3	—	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0,01	0,878	1,169	0,664	0,760	0,064	21,44
	0,05	0,870	1,152	0,656	0,754	0,061	20,43
	0,10	0,863	1,137	0,647	0,750	0,058	19,43
	0,50	0,852	1,124	0,640	0,750	0,055	18,42
3,0	—	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0,01	0,910	1,230	0,724	0,785	0,079	26,46
	0,05	0,900	1,228	0,718	0,780	0,076	25,46
	0,10	0,894	1,216	0,710	0,780	0,074	24,71
	0,50	0,883	1,205	0,700	0,770	0,072	24,12

евого сплава E–AlMgSi (алдрей) с кальцием, представлены в таблице и на рис. 2—5. На рис. 2 приведена графическая зависимость потенциала свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) от времени для образцов из сплавов с кальцием, в среде электролита NaCl. Видно, что при погружении образцов в электролит NaCl происходит смещение потенциала $-E_{св.кор.}$ в положительную область.

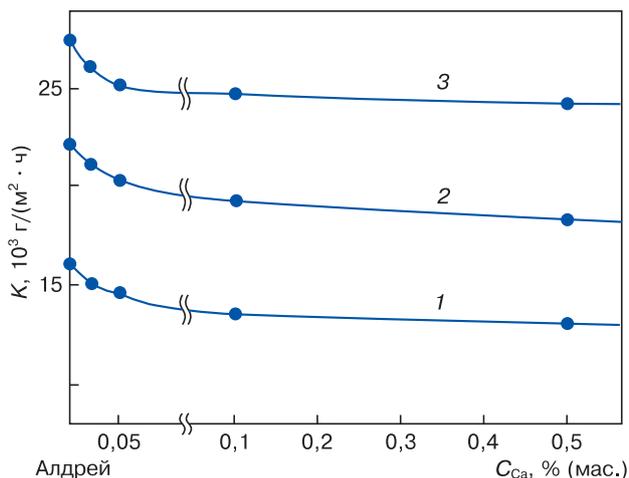


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава E–AlMgSi (алдрей) от концентрации кальция, в среде электролита 0,03 % (1); 0,3 % (2) и 3,0%-ного NaCl

Fig. 3. Corrosion rate of E–AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy as a function of calcium concentration in (1) 0.03%, (2) 0.3% and (3) 3.0% NaCl electrolyte medium

Из таблицы видно, что добавки кальция от 0,01 до 0,5 % (мас.) к исходному алюминиевому сплаву, в исследуемых средах сдвигают потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений. Одновременно с этим повышается стойкость сплавов к питтинговой коррозии.

На рис. 3 приведен зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава E–AlMgSi (алдрей) от содержания кальция, в среде электролита 0,03, 0,3 и 3,0%-ного NaCl. Добавки кальция к сплаву уменьшает на 15—20 % скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl.

Наряду с этим рост концентрации электролита NaCl (хлорид–иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рис. 4). При концентрации 0,5 % (мас.) кальция скорость коррозии и плотность тока коррозии алюминиевого сплава AlMgSi (алдрей) имеет минимальное значение. Следовательно, указанный состав сплавов является оптимальным в коррозионном отношении.

Анодные ветви поляризационных кривых алюминиевого сплава E–AlMgSi (алдрей) с кальцием, приведены на рис. 5. Как видно из хода кривых, рост содержания легирующего компонента — кальция, смещается в область положительных значений всех электрохимических потенциалов, в среде электролита NaCl. Это свидетельствует о снижении скоро-

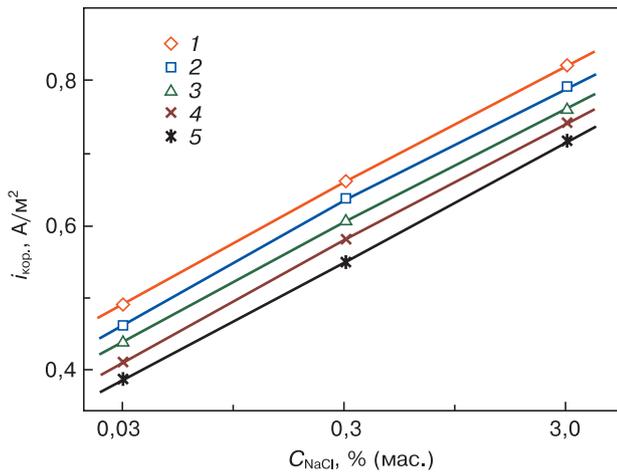


Рис. 4. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей) (1), содержащего кальций от концентрации NaCl, % (мас.): 2 — 0,01; 3 — 0,05; 4 — 0,1; 5 — 0,5

Fig. 4. Corrosion current density of (1) pure E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy and with calcium content, wt. %: (2) 0.01; (3) 0.05; (4) 0.1; (5) 0.5 as a function of NaCl concentration

сти анодного растворения легированных кальцием сплавов по сравнению с исходным сплавом.

Заключение

Потенциостатическим методом (при скорости развертки потенциала 2 мВ/с) в среде электролита NaCl исследовано анодное поведение алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей) с кальцием. Показано, что добавки кальция до 0,5 % (мас.) увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава. При этом, растет питтингоустойчивость сплавов, о чем свидетельствует сдвиг потенциалов питтингообразования и коррозии в положительную область значений.

Установлено, что с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите в 1,5 раза возрастает скорость коррозии сплавов.

Экспериментально выявлено, что добавки кальция в пределах 0,1—0,5 % (мас.) являются оптимальными в плане разработки состава новых композиций на основе сплава E-AlMgSi (алдрей).

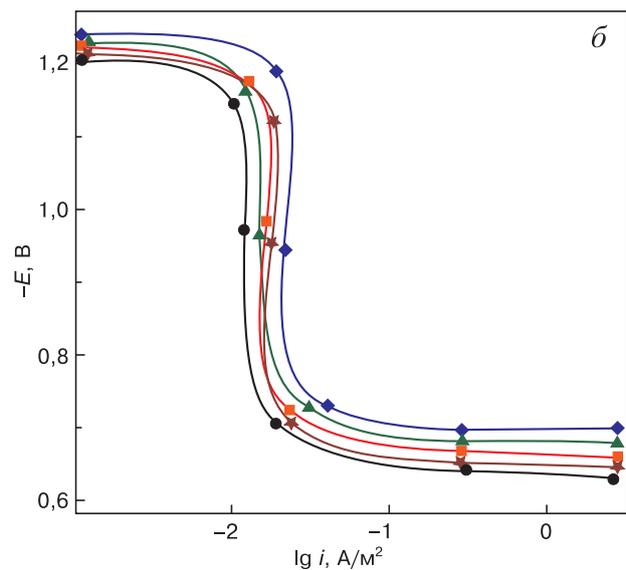
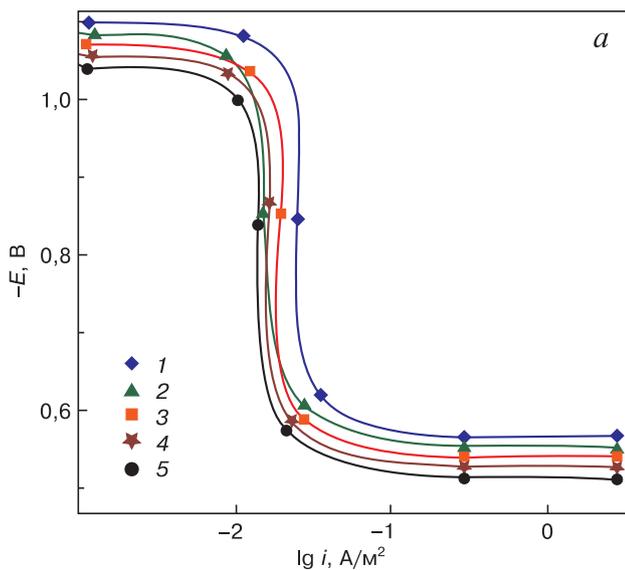


Рис. 5. Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей) (1), содержащего кальций, % (мас.): 2 — 0,01; 3 — 0,05; 4 — 0,1; 5 — 0,5, в среде электролита 0,03 % (а) и 3%-ного (б) NaCl

Fig. 5. Anodic polarization curves (2 mV/s) of (1) pure E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy and with calcium content, wt. %: (2) 0.01; (3) 0.05; (4) 0.1 and (5) 0.5 in (a) 0.03% and (б) 3% NaCl electrolyte medium

Библиографический список

1. Усов В.В., Займовский А.С. Материалы и сплавы в электротехнике. В 2 т. Т. 2. Проводниковые, реостатные и контактные материалы М.; Л.: Госэнергоиздат; 1957. 184 с.
2. Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение; под ред. Л.Х. Райтбарга, М.Е. Дрица. Пер. с нем. М.: Металлургия; 1979. 679 с.
3. Алиева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.Б. Промышленные алюминиевые сплавы: справ. 2-е изд. М.: Металлургия; 1984. 528 с.
4. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральной среде. Душанбе: Дониш; 2007. 237 с.
5. Ганиев И.Н., Алиев Ф.А., Одиназода Х.О., Сафаров А.М., Джайлоев Д.Х. Теплоемкость и термодинами-

ческие функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей), легированного галлием. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2019; 22(3): 219—227. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2019-3-219-227>

6. Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Иброхимов Н.Ф., Махмудов М. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций сплава АК1М2, легированного стронцием. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2018; 21(1): 35—42. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2018-1-35-42>

7. Ганиев И.Н., Абдулаков А.П., Джайлоев Д.Х., Алиев Ф.А., Рашидов А.Р. Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава

Е–AlMgSi (алдрей) с оловом в среде электролита NaCl. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. 2019; 22(2): 128–134. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2019-2-128-134>

8. Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Якубов У.Ш. Анодное поведение сплава Al + 2,18%Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2019; (1(27)): 42–46.

9. Ганиев И.Н., Абулаков А.П., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., Якубов У.Ш. Влияние добавок свинца на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E–AlMgSi («Алдрей»), в среде электролита NaCl. *Вестник Санкт–Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки*. 2020; (2): 109–113.

10. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Джайлоев Д.Х., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование сплавов свинца с теллуром, в среде электролита NaCl. *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2020; (2): 238–245. https://doi.org/10.51884/2413-452X_2020_2_238

11. Бокиев Л.А., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Якубов У.Ш. Потенциал свободной коррозии алюминиевого

сплава АЖ5К10 с литием, в среде электролита NaCl. В сб.: *Вопросы физической и коллоидной химии. Материалы IV Междунар. конф., посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Хамида Мухсиновича Якубова и Зухуриддина Нуриддиновича Юсуфова. 3–4 мая 2019 г., Таджикистан*. Таджикистан: Таджикский национальный университет; 2019. С. 107–111.

12. Бокиев Л.А., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И., Хакимов А.Х., Якубов У.Ш. Влияние лития на коррозионно–электрохимическое поведение алюминиевого сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия*. 2019; (3(37)): 79–89.

13. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Муллоева Н.М., Эшов Б.Б., Джайлоев Д.Х., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование свинцового сплава ССуЗ, легированного медью, в среде электролита NaCl. *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2019; (1): 206–213.

14. Ганиев И.Н., Джайлоев Д.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18%Fe, в нейтральной среде. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2017; (3(21)): 40–44.

References

1. Usov V.V., Zaimovskii A.S. Materials and alloys in electrical engineering. In 2 vol. Vol. 2. Conducting, rheostatic and contact materials. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat; 1957. 184 p. (In Russ.)

2. Reitbarg L.Kh., Drits M.E., eds. Aluminium–Taschenbuch. Düsseldorf; 1974. 689 p. (Russ. Transl.: Reitbarg L.Kh., Drits M.E., eds. Alyuminievye splavy: svoystva, obrabotka, primeneniye. Moscow: Metallurgy; 1979. 679 p.)

3. Alieva S.G., Al'tman M.B., Ambartsumyan S.B. Industrial aluminum alloys. 2nd ed. Moscow: Metallurgy; 1984. 528 p. (In Russ.)

4. Umarova T.M., Ganiev I.N. Corrosion of double aluminum alloys in neutral environments. Dushanbe: Donish; 2007. 237 p. (In Russ.)

5. Ganiev I.N., Aliev F.A., Odinzoda H.O., Safarov A.M., Jayloev J.H. Heat capacity and thermodynamic functions of aluminum conductive alloy E–AlMgSi (Aldrey) doped with gallium. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materialy Elektronnoi Tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2019; 22(3): 219–227. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2019-3-219-227>

6. Ganiev I.N., Otajonov S.E., Ibrohimov N.F., Mahmudov M. Temperature dependence of the specific heat and thermodynamic functions AK1M2 alloy, doped strontium. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materialy Elektronnoi Tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2018; 21(1): 35–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2018-1-35-42>

7. Ganiev I.N., Abulakov A.P., Jailoev J.H., Aliev F.A., Rashidov A.R. Corrosion–electrochemical behavior of an aluminum conductive E–AlMgSi alloy (aldrey) with tin in the environment of NaCl electrolyte. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materialy Elektronnoi Tekhniki = Materials of Electronics Engineering*. 2019; 22(2): 128–134. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2019-2-128-134>

8. Jailoyev J.Kh., Ganiev I.N., Amonov I.T., Yakubov U.Sh. Anodic behavior of the Al + 2.18% Fe alloy doped with strontium in the NaCl electrolyte environment. *Vestnik*

Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta = Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2019; (1(27)): 42–46. (In Russ.)

9. Ganiev I.N., Abulakov A.P., Jailoyev J.Kh., Ganieva N.I., Yakubov U.Sh. Influence of lead additions on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E–AlMgSi (“Aldrey”) in an electrolyte NaCl environment. *Vestnik Sankt–Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizaina. Seriya 1. Estestvennyye i tekhnicheskije nauki*. 2020; (2): 109–113. (In Russ.)

10. Khudoyberdizoda S.U., Ganiev I.N., Mulloeva N.M., Jailoev J.Kh., Yakubov U.Sh. Potentiodynamic study of alloys of lead with tellurium in the medium of electrolyte. *Vestnik Tadzhikskogo natsional'nogo universiteta. Seriya estestvennykh nauk = Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. 2020; (2): 238–245. (In Russ.). https://doi.org/10.51884/2413-452X_2020_2_238

11. Bokiev L.A., Ganiev I.N., Khakimov A.Kh., Yakubov U.Sh. Potential of free corrosion of the aluminum alloy AZh5K10 with lithium in an electrolyte NaCl environment. In: *Questions of physical and colloidal chemistry. Proceed. of the IV Inter. conf. dedicated to the memory of doctors of chemical sciences, professors Khamid Mukhsinovich Yakubov and Zukhuriddin Nuriddinovich Yusufov, May 3–4, 2019, Tajikistan*. Tajikistan: Tadjhikskii natsional'nyi universitet; 2019. P. 107–111. (In Russ.)

12. Bokiev L.A., Ganiev I.N., Ganieva N.I., Khakimov A.Kh., Yakubov U.Sh. The influence of lithium on the corrosion–electrochemical behavior of the AZh5K10 aluminum alloy in the NaCl electrolyte environment. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya = Bulletin of the Tver State University. Series: Chemistry*. 2019; (3(37)): 79–89. (In Russ.)

13. Khudoyberdizoda S.U., Ganiev I.N., Mulloeva N.M., Eshov B.B., Jailoyev J.Kh., Yakubov U.Sh. Potentiodynamic study of lead–antimony alloy, doped with copper, in the medium of electrolyte NaCl. *Vestnik Tadzhikskogo natsional'nogo universiteta. Seriya estestvennykh nauk = Bulletin of the*

Tajik National University. Series of Natural Sciences. 2019; (1): 206—213. (In Russ.)

14. Ganiev I.N., Jailoyev J.Kh., Amonov I.T., Esanov N.R. The influence of alkaline earth metals on the anodic behavior

of the Al + 2.18% Fe alloy, in a neutral environment. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta = Bulletin of the Siberian State Industrial University.* 2017; (3(21)): 40—44. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ганиев Изатулло Наврузович — доктор хим. наук, профессор, академик НАНТ, зав. лабораторией, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан; <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>; e-mail: ganievizatullo48@gmail.com, ganiev48@mail.ru

Джайлоев Джамшед Хусейнович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, ул. Садриддина Айни, д. 299/2, Душанбе, 734063, Таджикистан; e-mail: husenzod85@mail.ru

Холов Ёрмахмат Джонмахмадович — ассистент кафедры геологии и электроснабжения, Дангаринский государственный университет, ул. Маркази, д. 25, Дангара, 735320, Таджикистан

Ганиева Наргис Изатуллоевна — канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, металлургических машин и оборудования, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, просп. Акад. Раджабовых, д. 10, Душанбе, 734042, Таджикистан; e-mail: n.ganieva1977@mail.ru

Izatullo N. Ganiev — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Head of Laboratory, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan; <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>; e-mail: ganievizatullo48@gmail.com, ganiev48@mail.ru

Jamshed H. Jayloev — Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 299/2 Sadriddin Ayni Str., Dushanbe 734063, Tajikistan; e-mail: husenzod85@mail.ru

Ermakhmad J. Kholov — Assistant of the Department of Geology and Power Supply, Dangara State University, 25 Markazi Str., Dangara 735320, Tajikistan

Nargis I. Ganieva — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Materials Science, Metallurgical Machines and Equipment, Tajik Technical University named after academician M.S.Osimi, 10 Academicians Radjabov's Ave., Dushanbe 734042, Tajikistan; e-mail: n.ganieva1977@mail.ru

*Поступила в редакцию 04.10.2021; поступила после доработки 09.12.2021; принята к публикации 23.12.2021
Received 4 October 2021; Revised 09 December 2021; Accepted 23 December 2021*

* * *