

Электрохимическая энергетика. 2023. Т. 23, № 2. С. 87–94

*Electrochemical Energetics*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 87–94

<https://energetica.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-2-87-94>, EDN: UIZEQT

Научная статья

УДК 620.193+669.715

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГАЛЛИЯ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРОВОДНИКОВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА E-AlMgSi («алдрей») В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl**

**И. Н. Ганиев<sup>1✉</sup>, Ф. А. Алиев<sup>2</sup>, А. М. Сафаров<sup>3</sup>, А. П. Абулаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Таджикский технический университет им. М. С. Осими*

*Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, просп. академиков Раджабовых, д. 10*

<sup>2</sup>*Дангаринский государственный университет*

*Республика Таджикистан, 735320, г. Дангара, ул. Маркази, д. 25*

<sup>3</sup>*Институт химии им. В. И. Никитина Академии наук Республики Таджикистан*

*Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, д. 299/2*

**Ганиев Изатулло Наврузович**, профессор кафедры «Технология химических производств», [ganiev48@mail.ru](mailto:ganiev48@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>

**Алиев Фирдавс Алиевич**, ассистент кафедры «Технология химических производств», [firdavs.aliev.2016@mail.ru](mailto:firdavs.aliev.2016@mail.ru)

**Сафаров Ахрор Мирзоевич**, директор, [safarov-am@mail.ru](mailto:safarov-am@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3637-789X>

**Абулаков Аслам Пирович**, ассистент кафедры «Технология химических производств»

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования анодного поведения алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием в среде электролита 0.03, 0.3 и 3.0%-ного NaCl. Коррозионно-электрохимическое исследование сплавов проведено потенциостатическим методом. Показано, что легирование сплава E-AlMgSi («алдрей») галлием повышает его коррозионную устойчивость на 20%. Основные электрохимические потенциалы сплавов при легировании галлием смещаются в положительную область значений, а от концентрации хлорида натрия – в отрицательном направлении оси ординат.

**Ключевые слова:** сплав E-AlMgSi («алдрей»), галлий, потенциостатический метод, электролит NaCl, потенциал свободной коррозии, потенциал коррозии, потенциал питтингообразования, скорость коррозии

**Для цитирования:** Ганиев И. Н., Алиев Ф. А., Сафаров А. М., Абулаков А. П. Влияние добавок галлия на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») в среде электролита NaCl // Электрохимическая энергетика. 2023. Т. 23, № 2. С. 87–94. <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-2-87-94>, EDN: UIZEQT

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Influence of gallium additives on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E-AlMgSi (aldrey) in NaCl electrolyte medium**

**I. N. Ganiev<sup>1✉</sup>, F. A. Aliev<sup>2</sup>, A. M. Safarov<sup>3</sup>, A. P. Abulakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Tajik Technical University named after M. S. Osimi*

*10 Academic Rajabovich Ave., Dushanbe, 734042, Republic of Tajikistan*

<sup>2</sup>*Dangara State University*

*55 Markazi St., Dangara 735320, Republic of Tajikistan*

<sup>3</sup>*V. I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*

*299/2 Ayni St., Dushanbe 734063, Republic of Tajikistan*

**Izatullo N. Ganiev**, [ganiev48@mail.ru](mailto:ganiev48@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>

**Firdavs A. Aliev**, [firdavs.aliev.2016@mail.ru](mailto:firdavs.aliev.2016@mail.ru)

Akhror M. Safarov, safarov-am@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3637-789X>

Aslam P. Abdulakov

**Abstract.** The work presents the results of the study of the anodic behavior of aluminum alloy E-AlMgSi (aldrey) with gallium, in the medium of 0.03; 0.3 и 3.0% NaCl electrolyte. The corrosion-electrochemical study of alloys was carried out using the potentiostatic method. It was shown that doping E-AlMgSi (aldrey) with gallium increased its corrosion resistance by 20%. The main electrochemical potentials of the alloys when doping with gallium are shifted to the positive range of values, and at the concentration of sodium chloride to the negative values of the ordinate axis.

**Keywords:** E-AlMgSi (aldrey) alloy, gallium, potentiostatic method, electrolyte NaCl, free corrosion potential, corrosion potential, pitting potential, corrosion rate

**For citation:** Ganiev I. N., Aliev F. A., Safarov A. M., Abulakov A. P. Influence of gallium additives on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E-AlMgSi (aldrey) in NaCl electrolyte medium. *Electrochemical Energetics*, 2023, vol. 23, no. 2, pp. 87–94 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2023-23-2-87-94>, EDN: UIZEQT

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## ВВЕДЕНИЕ

Алюминий и его сплавы широко применяют в электротехнике в качестве проводникового и конструкционного материала. Как проводниковый материал алюминий характеризуется высокой электро- и теплопроводностью (после меди максимальный уровень среди всех технически применяемых металлов).

Другим преимуществом алюминия является то, что его отличает нейтральное поведение по отношению к изоляционным материалам, например к маслам, лакам и термoplastам, в том числе при повышенных температурах. Алюминий отличается от других металлов его малая магнитная восприимчивость, а также образование неэлектропроводного, легко устранимого порошкообразного продукта ( $Al_2O_3$ ) в электрической дуге [1–3].

Использование алюминия и его сплавов в качестве материала для коммутационных аппаратов, мачт линии электропередач, корпусов электродвигателей и выключателей и т. д. регламентируется особыми предписаниями или общими правилами конструирования.

Экономическая целесообразность применения алюминия в качестве проводникового материала объясняется низкой стоимостью по сравнению с медью. Кроме того,

следует учесть и тот фактор, что стоимость алюминия в течение многих лет практически не меняется.

В последние годы разработаны алюминийевые сплавы, которые даже в мягком состоянии обладают прочностными характеристиками, позволяющими использовать их в качестве проводникового материала.

Одним из проводниковых алюминийевых сплавов является сплав E-AlMgSi («алдрей»), который относится к термопрочным сплавам. Он отличается высокой прочностью и хорошей пластичностью. Данный сплав при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность [1–3].

Сплав «алдрей» лучше, чем алюминий, выдерживает токи короткого замыкания. Потеря прочности у проволоки из сплава «алдрей» наступает при температуре около 180–200°C. Предел вибрационной усталости у сплава «алдрей» в 1.5 раза выше, чем у алюминия.

Авторами [4] обобщены публикации последних 15 лет по практическим химическим источникам тока с отрицательным электродом на основе алюминия, в том числе источникам тока с кислородным (воздушным) положительным электродом, а также с положительными электродами на основе других окислителей.

В связи с этим вопросы повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов являются актуальными.

Целью настоящей работы является исследование влияния добавок галлия на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»).

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Синтез сплавов проводился в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 750–800°C. В качестве шихты при получении сплава E-AlMgSi использовали алюминий марки А6, который дополнительно легировался расчётным количеством кремния и магния. При легировании алюминия кремнием учитывался имеющийся в составе первичного алюминия кремний (0.1 мас.%) металлический. Магний, завернутый в алюминиевую фольгу, вводили в расплав алюминия с помощью колокольчика. Металлический галлий вводился в расплав завернутым в алюминиевую фольгу. Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводился в Центральной заводской лаборатории ГУП «Таджикская алюминиевая компания». Состав сплавов также контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1–2% относительно расчетного значения синтез сплавов проводился заново. Далее из расплава удалялся шлак и производилось литьё образцов для коррозионно-электрохимических исследований в графитовую изложницу. Образцы цилиндрической формы имели диаметр 10 мм и длину 140 мм.

Для электрохимических исследований образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении в исследуемый раствор ( $E_{св.к}$  – потенциал свободной коррозии или стационарный) до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока (рис. 1, кривая 1).

Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 1, кривые 2 и 3) до значения потенциала  $-1.3$  В, в результате чего происходило растворение плёнки оксида. Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая 4), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируется потенциал начала пассивации ( $E_{нп}$ ).

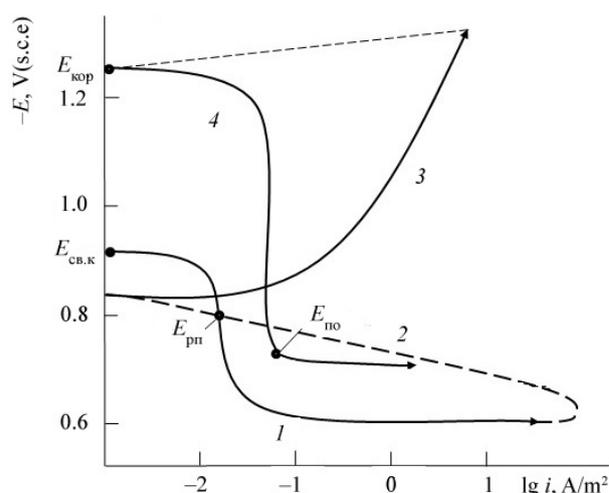


Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая сплава E-AlMgSi («алдрей») в среде электролита NaCl (3 мас.%)

Fig. 1. Full polarization curve (2 mV/s) of the alloy E-AlMgSi (aldrey), in the medium of 3% NaCl electrolyte

На полученной таким образом поляризационной кривой определялись основные электрохимические потенциалы сплавов:

- $E_{ст}$  или  $E_{св.к}$  – стационарный потенциал, или потенциал свободной коррозии;
- $E_{рп}$  – потенциал репассивации;
- $E_{по}$  – потенциал питтингообразования;
- $E_{кор}$  – потенциал коррозии;
- $i_{кор}$  – ток коррозии.

Расчёт тока коррозии проводили по катодной кривой (коэффициент  $b$  в уравнении Тафеля принимаем равным 0.12 В), так как процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов в нейтральных средах зависит от катодной реакции ионизации кислорода. В свою очередь, скорость коррозии считается функцией тока коррозии и вы-

числяется по формуле:

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

где  $k = 0.335$  г/А·ч для алюминия.

Подробная методика снятия поляризационных кривых сплавов представлены в работах [5–13].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, в среде электролита NaCl представлены в таблице и на рис. 2–5. На рис. 2 приведена графическая зависимость потенциала свободной коррозии ( $-E_{\text{св.к}}$ , В) от времени для образцов из сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием в среде электролита NaCl. Видно, что при погружении сплавов в электролит NaCl происходит смещение потенциала  $-E_{\text{св.к}}$  в положительную область.

Результаты исследований коррозионно-электрохимических свойств сплавов, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что добавки галлия от 0.05 и до 1.0 мас.% к исходному сплаву AlMgSi («алдрей») в исследуемых средах сдвигают потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений и одновременно с этим повышается стойкость сплавов к питтинговой коррозии.

Зависимость скорости коррозии сплава AlMgSi («алдрей») от содержания галлия в среде электролита 0.03, 0.3 и 3.0%-ного NaCl приведена на рис. 3. Добавки галлия к этому сплаву уменьшают скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl (рис. 3). При этом рост концентрации электролита NaCl (хлорид-иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рис. 4). Скорость

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием в среде электролита NaCl

Corrosion-electrochemical characteristics of the alloy E-AlMgSi (aldrey) with gallium, in the medium of NaCl electrolyte

Среда NaCl, мас.%	Содержание Ga в сплаве, мас.%	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.к}}$	$-E_{\text{кор}}$	$-E_{\text{по}}$	$-E_{\text{рп}}$	$i_{\text{кор}} \cdot 10^{-2}$ , А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ , г/м <sup>2</sup> ·ч
0.03	-	0.860	1.100	0.600	0.720	0.049	16.41
	0.05	0.844	1.082	0.595	0.710	0.047	15.74
	0.1	0.838	1.067	0.587	0.710	0.045	15.07
	0.5	0.827	1.050	0.579	0.704	0.043	14.40
	1.0	0.817	1.044	0.565	0.700	0.041	13.73
3.0	-	0.890	1.180	0.680	0.768	0.066	22.11
	0.05	0.870	1.164	0.660	0.756	0.065	21.77
	0.1	0.862	1.147	0.649	0.752	0.063	21.10
	0.5	0.850	1.132	0.642	0.748	0.060	20.10
	1.0	0.842	1.119	0.636	0.748	0.058	19.43
3.0	-	0.919	1.240	0.735	0.800	0.082	27.47
	0.05	0.902	1.224	0.720	0.780	0.080	26.80
	0.1	0.894	1.217	0.710	0.776	0.077	25.79
	0.5	0.886	1.210	0.704	0.769	0.075	25.12
	1.0	0.879	1.200	0.696	0.760	0.073	24.45

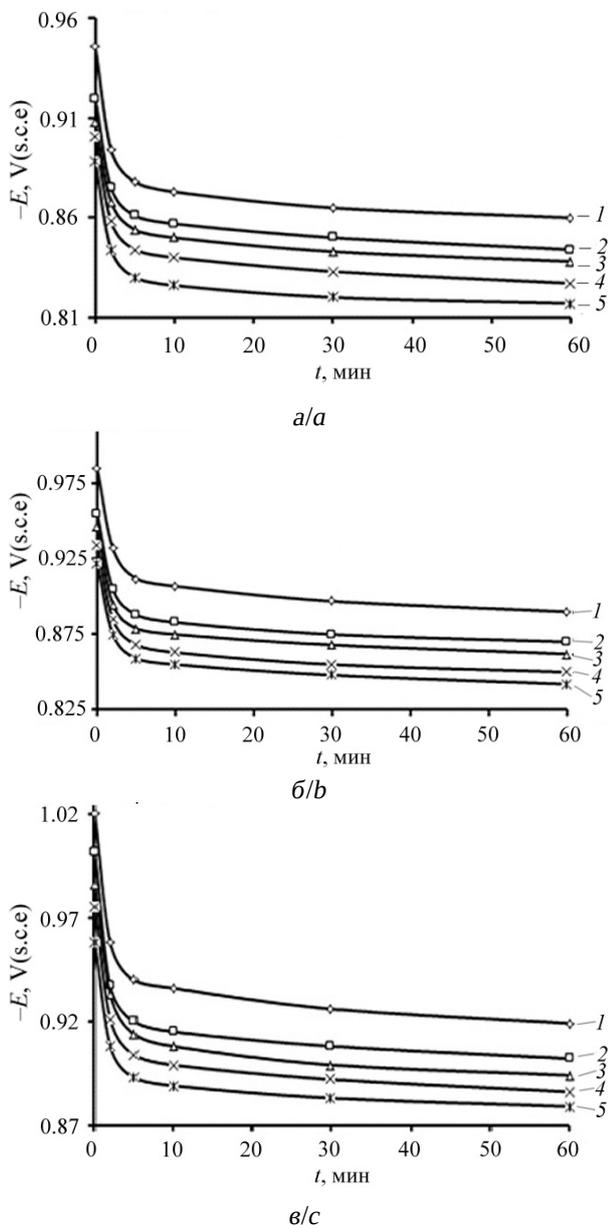


Рис. 2. Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{св.к}$ , В) сплава AlMgSi («алдрей») (1), содержащего галлий, мас.%.: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), в среде электролита 0.03% (а); 0.3% (б) и 3%-ного (в) NaCl

Fig. 2. Time dependence of the free corrosion potential (c.s.e.) ( $-E_{cor}$ , V) of the AlMgSi (aldrey) alloy (1), containing gallium, wt %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), in the medium of 0.03% (a); 0.3% (b) and 3% (c) NaCl electrolyte

коррозии и плотность тока коррозии сплава AlMgSi («алдрей») имеют минимальное значение при концентрации 1.0 мас.% галлия. Следовательно, указанный состав

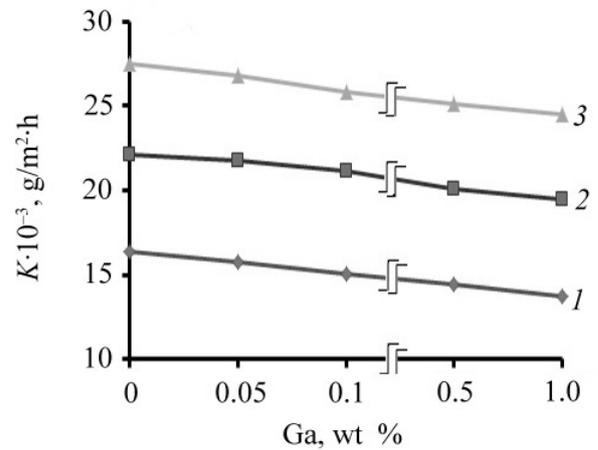


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии сплава AlMgSi («алдрей») от концентрации галлия в среде электролита 0.03% (1); 0.3% (2) и 3.0%-ного (3) NaCl

Fig. 3. Dependence of the corrosion rate of the AlMgSi (aldrey) alloy on the concentration of gallium, in the medium of 0.03% (1); 0.3% (2) and 3.0% (3) NaCl electrolyte

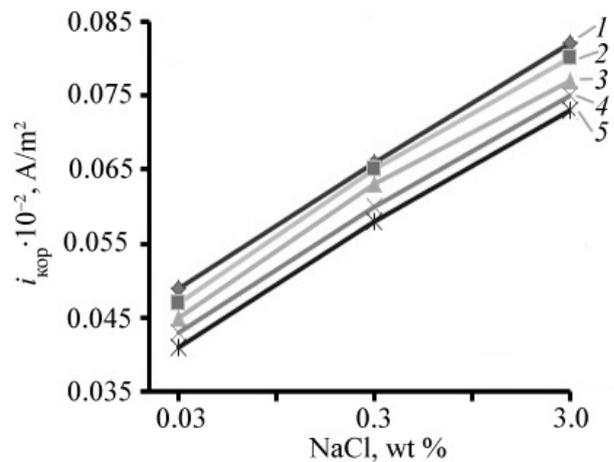
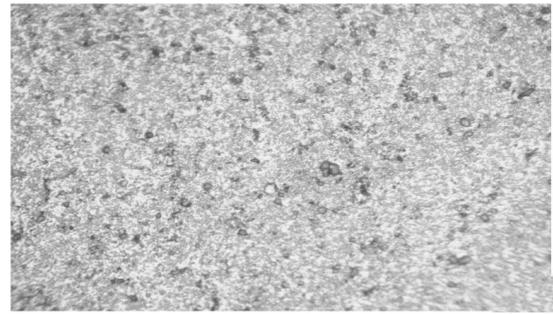
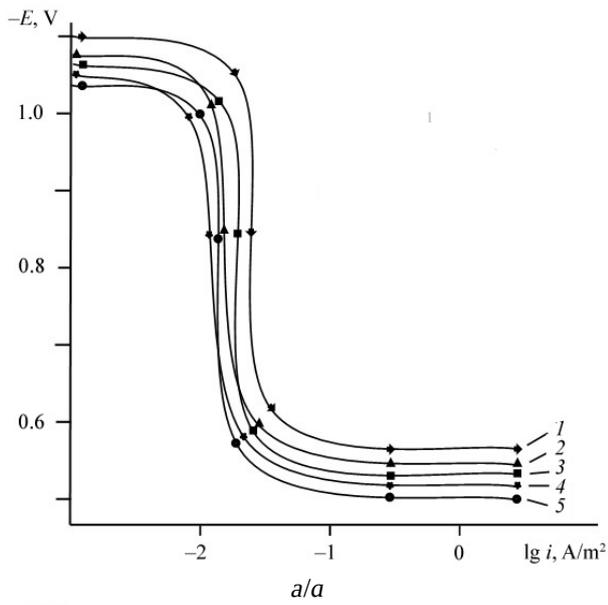


Рис. 4. Зависимость плотности тока коррозии сплава AlMgSi («алдрей») (1), содержащего галлий, мас.%.: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), от концентрации NaCl

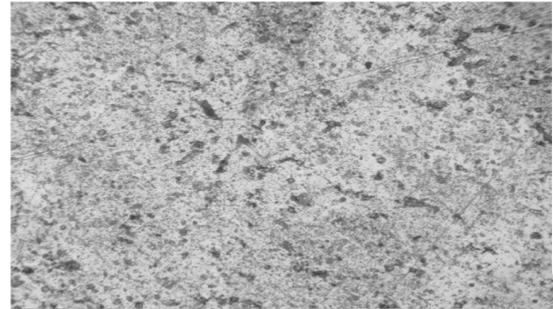
Fig. 4. Dependence of the corrosion current density of the AlMgSi (aldrey) alloy (1) containing gallium, wt %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5) of on NaCl concentration

сплавов является оптимальным в коррозионном отношении.

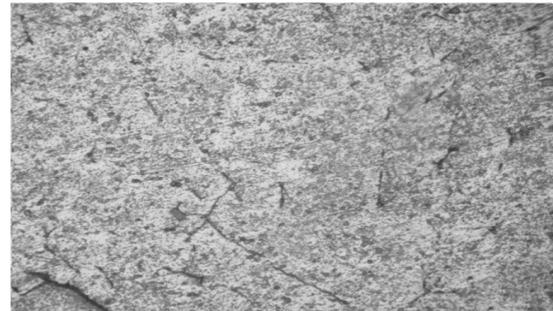
Анодные ветви поляризационных кривых сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, приведены на рис. 5. Как видно из хода



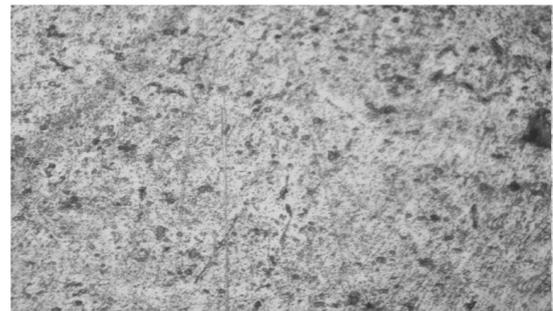
*a/a*



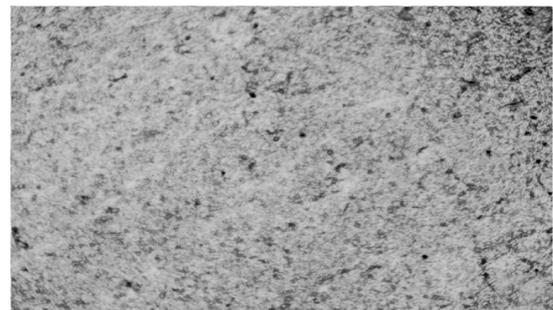
*б/б*



*в/с*



*г/д*



*д/е*

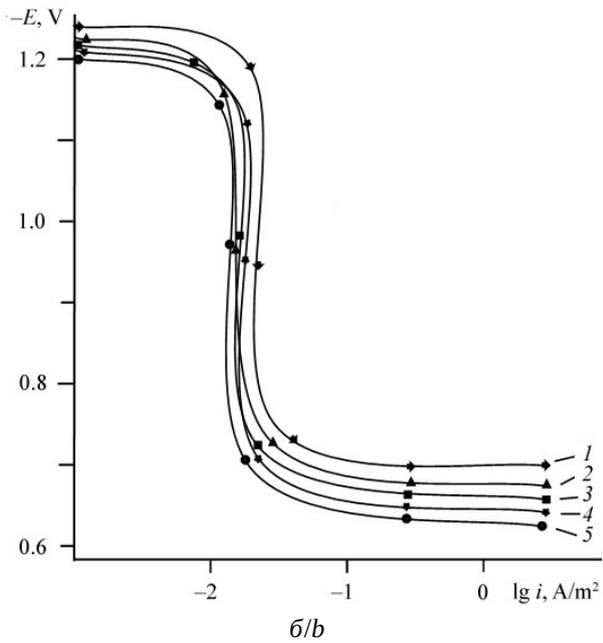


Рис. 5. Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые сплава E-AlMgSi («алдрей») (1), содержащего галлий, мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), в среде электролита 0.03% (а) и 3%-ного (б) NaCl

Fig. 5. Anodic polarization (2 mV/s) curves of the E-AlMgSi (aldrey) alloy (1) containing gallium, wt %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), in the medium of 0.03% (a) and 3% (b) NaCl electrolyte



Рис. 6. Микроструктуры (x650) сплава E-AlMgSi («алдрей») (а), легированного галлием, мас. %: 0.05 (б), 0.1 (в), 0.5 (г) и 1.0 (д)

Fig. 6. Microstructures (x650) of the E-AlMgSi (aldrey) alloy (a) doped with gallium, wt %: 0.05 (b), 0.1 (c), 0.5 (d) and 1.0 (e)

кривых, с повышением содержания третьего компонента – галлия – наблюдается смещение в область положительных значений всех электрохимических потенциалов в среде электролита NaCl, что свидетельствует о снижении скорости анодного растворения легированных сплавов.

Сдвиг в положительную область электрохимических потенциалов и снижение скорости коррозии сплава E-AlMgSi («алдрей») при легировании его галлием можно объяснить ростом степени гетерогенности структуры сплавов. Как видно из рис. 6, з, д, в микроструктуре сплава E-AlMgSi («алдрей»), содержащего 0.5 и 1.0 мас.% галлия, не наблюдается выделение фазы Mg<sub>2</sub>Si. Тогда как у исходного сплава (рис. 6, а) и малолегированных галлием сплавов имеет место кристаллизация игольчатой фазы Mg<sub>2</sub>Si на фоне твердого раствора алюминия (рис. 6, б, в).

## ВЫВОДЫ

1. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение сплава E-AlMgSi («алдрей») с галлием, в среде электролита NaCl.

2. Показано, что добавки галлия до 1.0 мас.% увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава E-AlMgSi («алдрей»). При этом, увеличивается питтингоустойчивость сплавов, о чем свидетельствует сдвиг потенциалов питтингообразования и коррозии в положительную область значений. В этом плане оптимальным являются добавки галлия в пределах 0.1–1.0 мас.%.

3. Установлено, что с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите в 1.5 раза возрастает скорость коррозии сплавов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усов В. В., Займовский А. С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы. Материалы и сплавы в электротехнике : в 2 т. М. : Госэнергоиздат, 1957. Т. 2. 184 с.
2. Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение / отв. ред. Л. Х. Райтбарг. Изд. 13-е, перераб. и доп. М. : Металлургия, 1979. 679 с.
3. Алиева С. Г., Альтман М. Б., Амбарцумян С. М. Промышленные алюминиевые сплавы. М. : Металлургия, 1984. 528 с.
4. Скундин А. М., Осетрова Н. В. Использование алюминия в низкотемпературных химических источниках тока // Электрохимическая энергетика. 2005. Т. 5, № 1. С. 3–15.
5. Якубов У. Ш., Ганиев И. Н., Сангов М. М., Ганиева Н. И. О коррозионном потенциале сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами, в среде электролита NaCl // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2018. Т. 16, № 3. С. 109–119.
6. Якубов У. Ш., Ганиев И. Н., Сангов М. М., Амини Р. Н. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10, в водных растворах NaCl // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2018. Т. 18, № 3. С. 5–15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14529/met180301>
7. Одинаев Ф. Р., Ганиев И. Н., Сафаров А. Г., Якубов У. Ш. Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава АЖ 4.5, легированного висмутом // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2017. № 38. С. 8–12.
8. Якубов У. Ш., Ганиев И. Н., Сангов М. М. Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2018. № 43 (69). С. 21–25.
9. Ганиев И. Н., Якубов У. Ш., Сангов М. М., Хакимов А. Х. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием в среде электролита NaCl // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 4 (22). С. 57–62.
10. Ганиев И. Н., Ниезов О. Х., Муллоева Н. М., Эшов Б. Б. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава ССуЗ в нейтральной среде электролита NaCl // Литье и металлургия. 2018. № 1 (90). С. 84–89. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-1-84-89>
11. Ганиев И. Н., Аминбекова М. С., Эшов Б. Б., Якубов У. Ш., Муллоева Н. М. Анодное поведение свинцового сплава ССуЗ с кадмием в среде электролита NaCl // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 1. С. 42–46.

12. 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). С. 42–46.

13. Ганиев И. Н., Джайлоев Дж. 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. С. 40–44.

## REFERENCES

1. Usov V. V., Zajmovskij A. S. *Provodnikovye, reostatnye i kontaktne materialy. Materialy i splavy v elektrotehnike: v 2 t. T. 2* [Conducting, rheostat and contact materials. Materials and alloys in electrical engineering: in 2 vols.]. Moscow, Gosenergoizdat, 1957. Vol. 2. 184 p. (in Russian).

2. *Alyuminievye splavy: svoystva, obrabotka, primeneniye*. Otv. red. L. Kh. Rajtbarga. Izd. 13-e, pererab. i dop. [Rajtbarga L. H., executive ed. Aluminum alloys: Properties, processing, application. 13th ed., revised and add.]. Moscow, Metallurgiya, 1979. 679 p. (in Russian).

3. Alieva S. G., Al'tman M. B. Ambarcumyan S. M. *Promyshlennyye alyuminievye splavy* [Industrial aluminum alloys]. Moscow, Metallurgiya, 1984. 528 p. (in Russian).

4. Skundin A. M., Osetrova N. V. Utilization of aluminum in low-temperature chemical power sources. *Electrochemical Energetics*, 2005, vol. 5, no. 1, pp. 3–15 (in Russian).

5. Yakubov U. Sh., Ganiev I. N., Sangov M. M., Ganieva N. I. On the corrosion potential of AlFe5Si10 alloy inoculated with alkaline-earth metals in the NaCl medium. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2018, vol. 16, no. 3, pp. 109–119 (in Russian).

6. Yakubov U. Sh., Ganiev I. N., Sangov M. M., Amini R. N. Influence addition of calcium on corrosion-electrochemical behavior of alloy AlFe5Si10 in aqueous solutions NaCl. *Bulletin of the South Ural State University. Series 'Metallurgy'*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 5–15 (in Russian) <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14529/met180301>

7. Odinaev F. R., Ganiev I. N., Safarov A. G., Yakubov U. Sh. Steady state potentials and anodic behaviour of the AlFe 4.5 alloy doped with bismuth. *Izvestiya SPbGTI* [Bulletin of the Saint Petersburg State

Institute of Technology (Technical University)], 2017, no. 38, pp. 8–12 (in Russian).

8. Yakubov U. Sh., Ganiev I. N., Sangov M. M. Electrochemical corrosion of the AlFe5Si10 alloy doped with barium in NaCl. *Izvestiya SPbGTI* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2018, no. 43 (69), pp. 21–25 (in Russian).

9. Ganiev I. N., Yakubov U. Sh., Sangov M. M., Khakimov A. Kh. Anodic behaviour of the AlFe5Si10 alloy doped with strontium in NaCl. *Vestnik SibGIU* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2017, no. 4 (22), pp. 57–62 (in Russian).

10. Ganiev I. N., Niyezov O. K., Mulloeva N. M., Eshov B. B. Influence of alkaline – earth metals on anodic behavior of alloy PbSb3 in neutral environment of the electrolyte NaCl. *Litiyo i Metallurgiya* [Foundry Production and Metallurgy], 2018, no. 1, pp. 84–89 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2018-1-84-89>

11. Ganiev I. N., Aminbekova M. S., Eshov B. B., Yakubov U. Sh., Mulloeva N. M. Anodic behavior of PbSb3 alloy with cadmium in NaCl medium. *Bulletin of the Technological University*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 42–46 (in Russian).

12. Dzhayloev Dzh. Kh., Ganiev I. N., Amonov I. T., Yakubov U. Sh. Anodic behavior of Al + 2.18 % Fe alloy doped with strontium in electrolyte medium NaCl. *Vestnik SibGIU* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2019, no. 1 (27), pp. 42–46 (in Russian).

13. Ganiev I. N., Dzhajloev Dzh. H., Amonov I. T., Esanov N. R. Influence of alkaline earth metals on the anode behavior of the alloy Al + 2.18%Fe in a neutral environment. *Vestnik SibGIU* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2017, no. 3, pp. 40–44 (in Russian).

Поступила в редакцию 18.11.2022; одобрена после рецензирования 18.12.2022; принята к публикации 20.06.2023  
The article was submitted 18.11.2022; approved after reviewing 18.12.2022; accepted for publication 20.06.2023