



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT FOR
CORROSION PROTECTION**

doi:10.31615/j.corros.prot.2023.110.4-3

**Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi
("алдрей") с кадмием в растворе NaCl**

**И.Н. Ганиев^{1✉}, Дж.Х. Джайлоев¹, Н.И. Ганиева²,
Х.М. Ходжаназаров², Ё.Дж. Холов³, И.Т. Амонзода⁴**

¹Институт химии имени В.И. Никитина Национальной Академии наук Таджикистана,
Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Садриддина Айни, д. 299/2

²Таджикский технический университет имени М.С. Осими,
Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Раджабовых, д. 10

³Дангаринский государственный университет,
Таджикистан, 735320, г. Дангара, ул. Маркази, д. 25

⁴Технологический университет Таджикистана,
Таджикистан, 734061, г. Душанбе, ул. Н. Карабоева, д. 63/3

e-mail: ganiev48@mail.ru

Аннотация. При создании новых материалов, предназначенных для работы в особо жёстких условиях, встаёт задача придания им коррозионной стойкости, практическое решение которой связано с уровнем знаний в области защиты металлов от коррозии. При использовании проводниковых алюминиевых сплавов для изготовления тонкой проволоки, например, обмоточного провода и т.д., могут возникнуть определённые сложности в связи с их недостаточной прочностью и малым числом перегибов до разрушения. В последние годы разработаны алюминиевые сплавы, которые даже в мягком состоянии обладают прочностными характеристиками, позволяющими использовать их в качестве проводникового материала. Одним из проводниковых алюминиевых сплавов является сплав E-AlMgSi ("алдрей"), который относится к термоупрочняемым сплавам. Он отличается высокой прочностью и хорошей пластичностью. Данный сплав при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность. Изготовленные из него провода используются почти исключительно для воздушных линий электропередач.

В работе приведены результаты исследования анодного поведения алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi с кадмием в 0,03; 0,3 и 3,0 % NaCl. Коррозионно-электрохимическое исследование сплавов проведено потенциостатическим методом с помощью потенциостата ПИ-50-1.1 при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Показано, что легирование алюминиевого сплава E-AlMgSi кадмием повышает его коррозионную стойкость на 20%. Потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов при легировании кадмием смещаются в положительную область значений, а при повышении концентрации хлорида натрия – в отрицательном направлении оси ординат.

Ключевые слова: алюминиевый сплав E-AlMgSi ("алдрей"), кадмий, потенциостатический метод, электролит NaCl, скорость коррозии, потенциалы коррозии и питтингообразования.

Для цитирования: Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., Ходжаназаров Х.М., Холов Ё.Дж., Амонзода И.Т. Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 22-29. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.110.4-3

Статья получена: 08.08.2023, опубликована 01.12.2023.

**Anode behavior of E-AlMgSi ("Aldrey") conductive aluminium alloy with
cadmium in NaCl solution**

**I.N. Ganiev^{1✉}, J.H. Jayloev¹, N.I. Ganieva²,
Kh.M. Khojanazarov², O.J. Kholov³, I.T. Amonzoda⁴**

¹V.I. Nikitin Chemistry Institute of the Tajikistan Academy of Sciences,
299/2, Sadriddin Aini st., Dushanbe, 734063, Tajikistan

²Tajik Technical University named after M.S. Osimi,
10, Radjabov st., Dushanbe, 734042, Tajikistan

³Dangara State University,
25, Markazi st., Dangara, 735320, Tajikistan

⁴Technological University of Tajikistan,
63/3, N. Karaboeva st. Dushanbe, 734061, Tajikistan

e-mail: ganiev48@mail.ru

Abstract. When creating new materials designed to work in particularly harsh conditions, the task arises of imparting corrosion resistance to them, the practical solution of which is associated with the level of knowledge in the field of protecting metals from corrosion. When using conductive aluminum alloys to make thin wire, such as 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 developed that, 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 E-AlMgSi («Aldrey»), which belongs to heat-strengthened alloys. It has high strength and good ductility. This alloy with appropriate heat treatment acquires a high electrical conductivity. Wires made from it used almost exclusively for overhead power lines.

The paper presents the results of a study of the anodic behavior of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi with cadmium, in an electrolyte medium of 0,03; 0,3 and 3,0% NaCl. The corrosion-electrochemical study of the alloys was carried out by the potentiostatic method on a PI-50-1.1 potentiostat at a potential sweep rate of 2 mV/s. It has been shown that alloying the E-AlMgSi aluminum alloy with cadmium increases its corrosion resistance by 20%. The potentials of corrosion, pitting formation and repassivation of alloys when alloyed with cadmium shifted to the positive range of values, and from the concentration of sodium chloride in the negative direction of the y-axis.

Keywords: aluminum alloy E-AlMgSi («Aldrey»), cadmium, potentiostatic method, electrolyte NaCl, corrosion rate, potentials of free corrosion and pitting.

For citation: Ganiev, I. N., Jayloev, J. H., Ganieva, N. I., Khojanazarov, Kh. M., Kholov, O. J. & Amonzoda, I. T. (2023). Anode behavior of E-AlMgSi (Aldrey) conductive aluminium alloy with cadmium in NaCl solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28(4), 22-29. doi:10.31615/j.corros.prot.2023.110.4-3

Received: August 08, 2023. Published: December 01, 2023.

Введение

Алюминий и его сплавы широко применяют в электротехнике в качестве проводникового и конструкционного материала. Как проводниковый материал, алюминий характеризуется высокой электропроводностью (после меди – максимальный уровень среди всех технически применяемых металлов). Алюминий также отличается малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, высокой стойкостью против воздействия химических веществ [1].

Другим преимуществом алюминия является то, что его отличает нейтральное поведение по отношению к изоляционным материалам, например, к маслам, лакам и термопластам, в том числе при повышенных температурах. Алюминий отличается от других металлов малой магнитной восприимчивостью, а также образованием неэлектропроводного, легко устранимого порошкообразного продукта (Al_2O_3) в электрической дуге [2, 3].

Использование алюминия и его сплавов в качестве материала для коммутационных ап-

паратов, 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 благоприятным соотношением его стоимости и стоимости меди. Кроме того, следует учесть и тот фактор, что стоимость алюминия в течение многих лет практически не меняется [2].

При использовании проводниковых алюминиевых сплавов для изготовления тонкой проволоки, например, обмоточного провода и т.д., могут возникнуть определённые сложности в связи с их недостаточной прочностью и малым числом перегибов до разрушения [1].

В последние годы разработаны алюминиевые сплавы, которые даже в мягком состоянии обладают прочностными характеристиками, позволяющими использовать их в качестве проводникового материала [1, 2].

Одним из проводниковых алюминиевых сплавов является сплав E-AlMgSi («алдрей»),

который относится к термоупрочняемым сплавам. Он отличается высокой прочностью и хорошей пластичностью. Данный сплав при соответствующей термической обработке приобретает высокую электропроводность. Изготовленные из него провода используются почти исключительно для воздушных линий электропередач [1, 2].

В связи с тем, что линии электропередачи из алюминия и его сплавов эксплуатируются в открытой атмосфере, вопросы повышения коррозионной стойкости сплавов являются актуальными [4].

Целью настоящей работы является исследование влияния добавок кадмия на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi, имеющего следующий химический состав, масс. %: Si – 0,5; Mg – 0,5; Al и примеси (остальное).

Материалы и методики исследования

Синтез сплавов проводился в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750...800 °С. В качестве шихты при получении алюминиевого 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 масс. %). Металлический магний, завернутый в алюминиевую фольгу, вводился в расплав алюминия с помощью колоколообразного держателя. Кадмий вводился в расплав в виде лигатуры с алюминием, с содержанием кадмия 10 масс. %. Химический анализ полученных сплавов на содержание кремния и магния проводился в Центральной заводской лаборатории ОАО «Таджикская алюминиевая компания». Состав сплавов также контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1...2% от веса шихты их синтез проводился заново. Далее из расплава удалялся шлак и производилось литьё образцов для коррозионно-электрохимических исследований в графитовую изложницу. Образцы цилиндрической формы имели диаметр 8 мм и длину 140 мм.

Для электрохимических исследований образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося

при погружении образца в исследуемый раствор NaCl ($E_{св.кор.}$ – 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 чего происходило растворение плёнки оксида. Далее, от значения $E_{кор.}$ образцы повторно поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая IV), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируется потенциал начала питтингообразования ($E_{п.о.}$).

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

- $E_{кор.}$ – потенциал коррозии;
- $i_{кор.}$ – ток коррозии;
- $E_{пен.}$ – потенциал репассивации;
- $E_{п.о.}$ – потенциал питтингообразования.

Расчёт тока коррозии проводили с учётом тафеловского коэффициента $b_k = 0,12$ В по катодной кривой, так как процесс питтин-

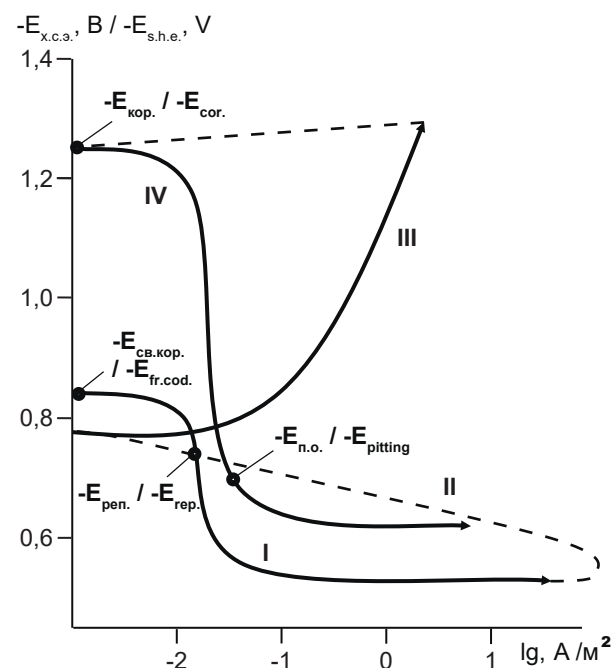


Рис. 1. Анодная и катодная поляризационные (2 мВ/с) кривые алюминиевого сплава E-AlMgSi в 3% растворе NaCl

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

говой коррозии алюминия и его сплавов в нейтральных средах определяется катодной реакцией ионизации кислорода. В свою очередь, скорость коррозии является функцией тока коррозии и вычисляется по формуле:

$$K = i_{cor} \cdot k,$$

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

Воспроизводимость измерения электрохимических потенциалов равнялась ± 2 мВ, а плотность тока коррозии составляла $(0,001 \dots 0,005) \cdot 10^{-2}$ А/м². Подробная методика снятия поляризационных кривых сплавов представлена в работах [5-8].

Экспериментальные результатов и их обсуждение

Результаты коррозионно-электрохимических исследований алюминиевого сплава E-AlMgSi с кадмием в 3% NaCl представлены в таблице и на рис. 2-5. На рис. 2 приведены зависимости потенциала коррозии ($-E_{св. кор.}$, В) от времени для образцов из алюминиевого сплава E-AlMgSi с кадмием в 3% NaCl. Видно, что при погружении сплавов в электролит происходит смещение потенциала $E_{св. кор.}$ в положительную область.

Результаты исследований коррозионно-электрохимических свойств сплавов, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что добавки кадмия от 0,01 до 0,5 масс.% к исходному алюминиево-

Таблица. Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi с кадмием в 3% растворе NaCl

Table. Corrosion and electrochemical characteristics of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi with cadmium in 3% solution NaCl

Среда NaCl / NaCl medium	Содержание кадмия в сплаве / Cadmium content in alloy	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.) / Electrochemical potentials, V				Скорость коррозии / Corrosion rate	
масс.% / mass. %		$-E_{св. кор.}$ / $-E_{fr. cor.}$	$-E_{кор.}$ / $-E_{cor.}$	$-E_{н.о.}$ / $-E_{pit.}$	$-E_{пен.}$ / $-E_{rep.}$	$I_{кор} \cdot 10^2$, А/м ² / $I_{cor} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·час / K , г/м ² ·h
0,03	0,0	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0,01	0,840	1,078	0,584	0,708	0,044	14,74
	0,05	0,832	1,065	0,572	0,700	0,041	13,73
	0,1	0,823	1,049	0,560	0,695	0,039	13,06
	0,5	0,815	1,036	0,547	0,695	0,037	12,40
0,3	0,0	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0,01	0,868	1,160	0,658	0,752	0,062	20,77
	0,05	0,860	1,146	0,646	0,747	0,059	19,76
	0,1	0,853	1,130	0,638	0,747	0,056	18,76
	0,5	0,844	1,117	0,630	0,740	0,053	17,75
3,0	0,0	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0,01	0,885	1,220	0,716	0,776	0,077	25,79
	0,05	0,878	1,213	0,708	0,776	0,075	25,12
	0,1	0,870	1,200	0,700	0,770	0,073	24,45
	0,5	0,86 2	1,192	0,692	0,764	0,070	23,45

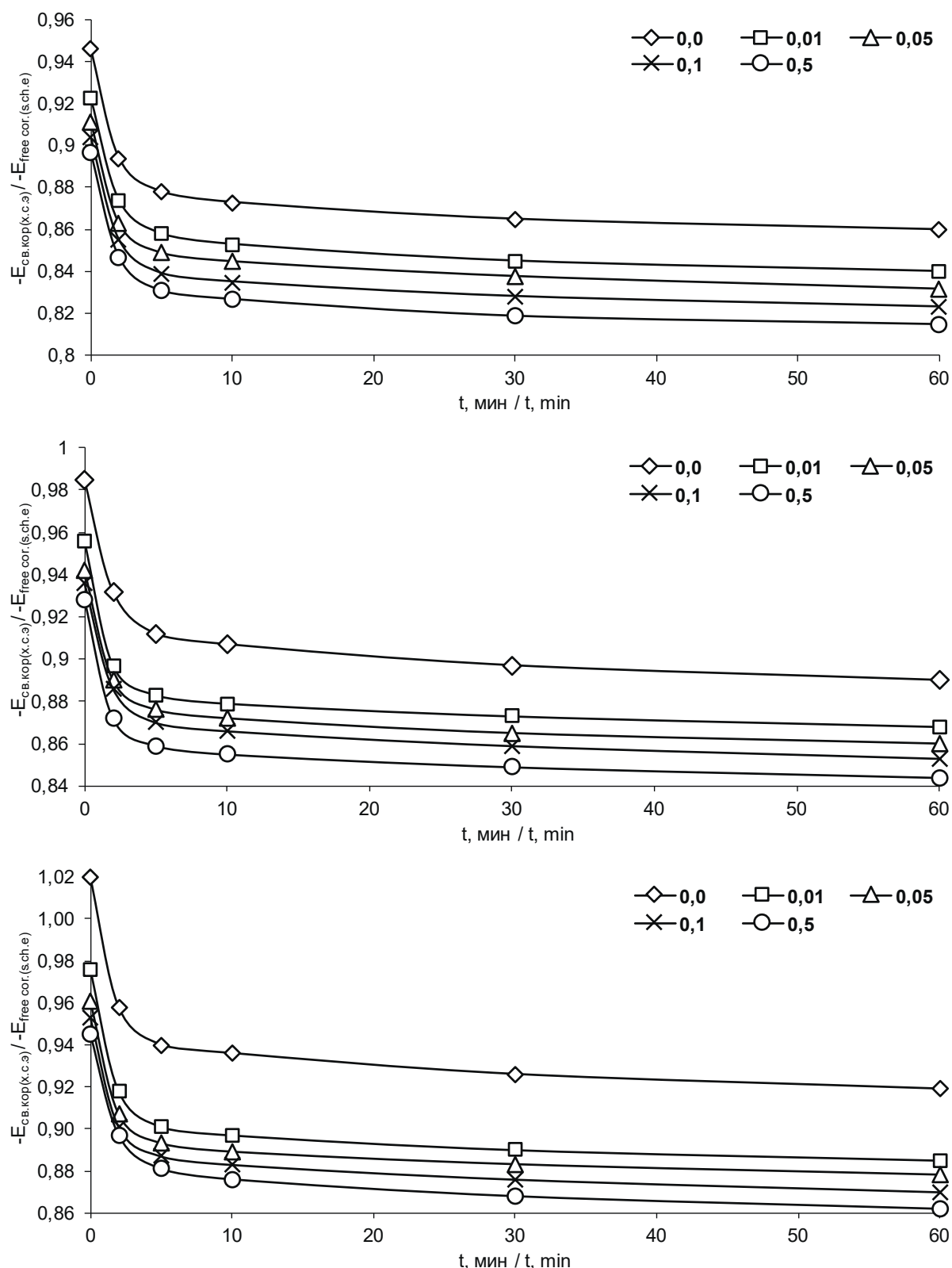


Рис. 2. Временная зависимость потенциала коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (1), содержащего кадмий, масс. %: 0,019 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) в 0,03% (а); 0,3% (б) и 3% (в) растворах NaCl

Fig. 2. Time dependence of the free corrosion potential ($-E_{\text{св.кор.}}$, V) of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi (1) containing cadmium, wt. %: 0,019 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) in an 0,03% (a); 0,3% (b) and 3% (c) NaCl solutions

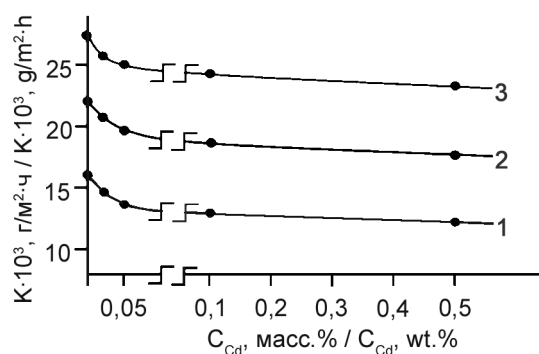


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi от концентрации кадмия в 0,03% (1); 0,3% (2) и 3,0% (3) растворах NaCl

Fig. 3. Dependence of the corrosion rate of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi on the concentration of cadmium in 0,03% (1); 0,3% (2) and 3,0% (3) NaCl solutions

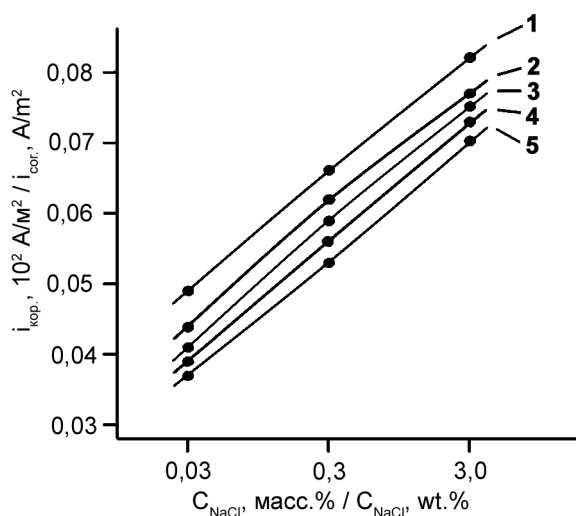
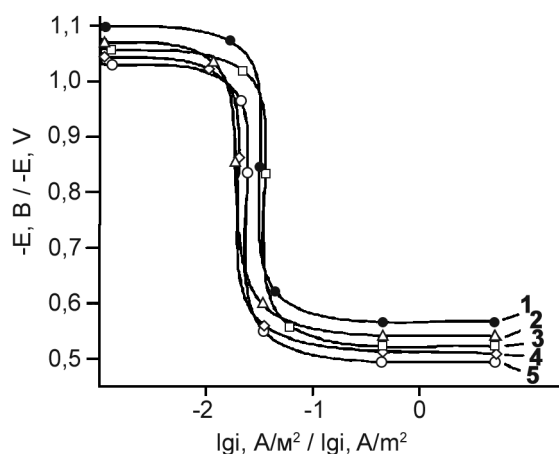
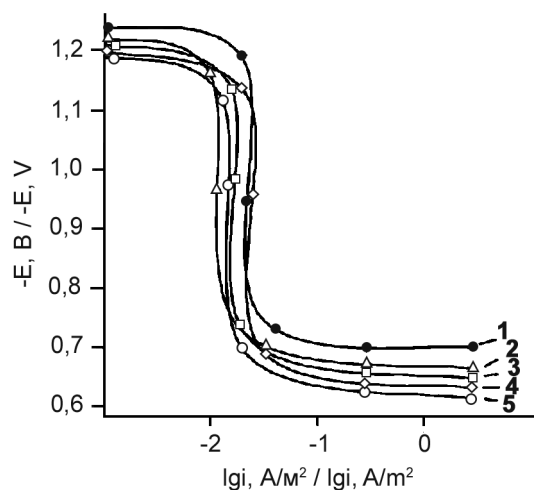


Рис. 4. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (1), содержащего кадмий, масс. %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) от концентрации NaCl

Fig. 4. Dependence of the corrosion current density of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi (1) containing cadmium, wt %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) from NaCl concentrations



a



b

Рис. 5. Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (1), содержащего кадмий, масс. %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5), в 0,03% (a) и 3% (b) растворах NaCl

Fig. 5. Anode polarization (2 mV/s) curves of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi (1) containing cadmium, wt %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5), in 0,03% (a) and 3% (b) NaCl solutions

му сплаву E-AlMgSi в исследуемых средах сдвигают потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений и одновременно с этим повышается стойкость сплавов к питтинговой коррозии.

Зависимости скорости коррозии алюми-

ниевом сплаве E-AlMgSi от содержания кадмия, в 0,03, 0,3 и 3,0% растворах NaCl приведены на рис. 3. Добавки кадмия к алюминиевому сплаву E-AlMgSi уменьшает скорость его коррозии во всех исследованных средах электролита NaCl.

При этом рост концентрации электролита NaCl (хлорид-иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рис. 4). Скорость коррозии и плотность тока коррозии алюминиевого сплава AlMgSi имеют минимальное значение при концентрации 0,5 масс.% кадмия. Следовательно, указанный состав сплавов является оптимальным в коррозионном отношении.

Анодные ветви поляризационных кривых алюминиевого сплава E-AlMgSi с кадмием приведены на рис. 5. Как видно из характера кривых, с повышением содержания легирующего компонента – кадмия – наблюдается смещение в область положительных значений всех электрохимических потенциалов в растворе NaCl, что свидетельствует о снижении скорости анодного растворения легированных кадмием сплавов по сравнению с исходным сплавом.

Повышение коррозионной стойкости сплава E-AlMgSi при легировании кадмием объясняется его модифицирующим действием на форму кристаллов интерметаллида Mg_2Si при кристаллизации сплавов.

Выводы

1. Потенциостатическим методом при скорости развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием в растворе NaCl.

2. Показано, что добавка кадмия до 0,5 масс.%, на 20% увеличивает коррозионную стойкость исходного сплава E-AlMgSi («алдрей»). При этом растёт питтингостойкость сплавов, о чем свидетельствует сдвиг потенциалов питтингообразования и коррозии в положительную область значений.

3. Установлено, что с увеличением концентрации хлорид-иона с 0,03 до 3% в растворе скорость коррозии сплавов возрастает в 1,5 раза.

4. Экспериментально выявлено, что до-

бавка кадмия в пределах 0,1...0,5 масс. % является оптимальной в плане разработки состава новых сплавов.

Литература

1. Усов В.В., Займовский А.С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы. Материалы и сплавы в электротехнике Том II. – М: Госэнергоиздата, 1957. – 184 с.

2. Райтбарг Л.Х. Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение. – Изд. 13-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1979. – 679 с.

3. Альтман М.Б. и др. Промышленные алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1984. – 528 с.

4. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. – Душанбе: Дониш, 2017. – 258с.

5. Бокиев Л.А., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Азимов Х.Х. Влияние магния на анодное поведение алюминиевого сплава АЖ5К10, в среде электролита NaCl // Вестник Сибирский государственный индустриальный университет. – 2019. – № 4 (30). – С. 45-50.

6. Ганиев И.Н., Абдулаков А.П., Джайлоев Дж.Х., Якубов У.Ш., Сафаров А.М., Абулхаев В.Д. Влияние добавок висмута на теплофизические и термодинамические свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2020. – Т. 23, № 1. – С. 86-93.

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. Ганиев И.Н., Абдулаков 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. – С. 109-113.

References

1. Usov, V. V., Zaimovsky, A. S. (1957). *Conductor, rheostatic and contact materials. Materials and alloys in electrical engineering Volume II*. Moscow: Gosenergoizdata.
2. Reitbarg, L. H. (1979). *Aluminum alloys: properties, processing, application*. Ed. 13th, revised and additional. Moscow: Metallurgy.
3. Altman, M. B. and others. (1984). *Industrial aluminum alloys*. Moscow: Metallurgy.
4. Umarova, T. M., Ganiev I. N. (2017). *Corrosion of double aluminum alloys in neutral environments*. Dushanbe: Donish.
5. Bokiev, L. A., Ganiev I. N., Khakimov A. Kh., & Azimov Kh. Kh. (2019). The influence of magnesium on the anodic behavior of the aluminum alloy AZh5K10 in a NaCl electrolyte environment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*, 4(30), 45-50.
6. Ganiev, I. N., Abdulakov, A. P., Dzhayloev, J. H., Yakubov, U. Sh., Safarov, A. M., & Abulkhaev, V. D. (2020). The influence of bismuth additives on the thermophysical and thermodynamic properties of the aluminum conductor alloy E-AlMgSi ("Aldrey"). *News of higher educational institutions. Electronic Engineering Materials*, 23(1), 86-93.
7. Odinaev, F. R., Ganiev, I. N., Safarov, A. G., & Yakubov, U. Sh. (2017). Stationary potentials and anodic behavior of the AZh 4.5 alloy doped with bismuth. *News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (38), 8-12.
8. Ganiev, I. N., Abdulakov, A. P., Dzhayloev, J. H., Ganieva, N. I., & Yakubov, U. Sh. (2020). The influence of lead additions on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E-AlMgSi ("Aldrey") in the NaCl electrolyte environment. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences*, 2, 109-113.

Информация об авторах

Ганиев Изатулло Наврузович, д.х.н., профессор, академик НАНТ, зав. лабораторией, Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Джайлоев Джамшед Хусейнович, к.т.н., с.н.с., Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ, г. Душанбе, Таджикистан

Ганиева Наргис Изатуллоевна, к.т.н., доцент, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими (ТТУ имени М.С. Осими), г. Душанбе, Таджикистан

Ходжаназаров Хайрулло Махмудович, ст. преподаватель, ТТУ имени М.С. Осими, г. Душанбе, Таджикистан

Холов Ёрмахмад Джонмахмадович, ассистент, Дангаринский государственный университет, г. Дангара Таджикистан

Амонзода Илхом Темур, д.т.н., доцент, Технологический университет Таджикистана, г. Душанбе, Таджикистан

Information about authors

Izatullo N. Ganiev, Doctor of Chemical Sciences, professor, academician of NAST, Head of Laboratory, Institute of Chemistry named after V.I. Nikitina NAST, Dushanbe, Tajikistan

Jamshed H. Dzhayloev, Ph.D. in Technical Sciences, senior researcher, Institute of Chemistry named after V.I. Nikitina NAST, Dushanbe, Tajikistan

Nargis I. Ganieva, Ph.D. in Technical Sciences, associate professor, Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi (TTU named after M.S. Osimi), Dushanbe, Tajikistan

Khairullo M. Khojanazarov, senior lecturer, TTU named after M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Yormahmad J. Kholov, assistant, Dangari State University, Dangara, Tajikistan

Ilkhom T. Amonzoda, Doctor of Technical Sciences, associate professor, Technological University of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan