

— ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ —

Научная статья

УДК 669.017:620.197

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-1-46-55>

Потенциостатическое исследование алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном в среде раствора хлорида натрия

Изатулло Наврузович Ганиев¹, Дилафруз Киромиддиновна Азизова², Шахром Шукурбоевич Окилов¹, Хайрулло Махмудхонович Ходжаназаров¹

¹ Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан

² Физико-технический институт им. С.У. Умарова НАН Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация. В статье приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 с лантаном в среде водного раствора хлорида натрия с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 мас. %, при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Добавка лантана к алюминиевому сплаву AlV0.1 составляла 0,01–1,0 мас. %. Показано, что легирование лантаном указанного сплава снижает скорость его коррозии на 10–16 %, что сопровождается сдвигом электрохимических потенциалов в область положительных значений. Рост концентрации хлорида натрия в водном растворе способствует увеличению скорости коррозии сплавов не зависимо от их состава и смещению электрохимических потенциалов в отрицательном направлении оси ординат.

Ключевые слова: потенциостатический метод, алюминиевый проводниковый сплав AlV0.1, лантан, электрохимическое поведение, водный раствор NaCl, скорость коррозии, потенциал свободной коррозии

Для цитирования: Ганиев И.Н., Азизова Д.К., Окилов Ш.Ш., Ходжаназаров Х.М. Потенциостатическое исследование алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном в среде раствора хлорида натрия // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2025. Т. 15, № 1. С. 46–55. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-1-46-55>

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-1-46-55>

Potentiostatic study of aluminum conductor alloy AlV0.1 doped with lanthanum in sodium chloride solution

Izzatullo Ganiev¹, Dilafruz Azizova², Shahrom Okilov¹, Khayrullo Khodzhazarov¹

¹ V.I. Nikitin Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

² S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. The article presents the results of a potentiostatic study of the aluminum conductive alloy AlV0.1 with lanthanum in an aqueous sodium chloride solution with a concentration of 0,03; 0,3 and 3,0 wt. %, at a potential scan rate of 2 mV/s. The addition of lanthanum to the aluminum alloy AlV0.1 was 0,01–1,0 wt. %. It is shown that alloying this alloy with lanthanum reduces its corrosion rate by 10–16%, which is accompanied by a shift in electrochemical potentials toward positive values. An increase in the concentration of sodium chloride in an aqueous solution contributes to an increase in the corrosion rate of alloys regardless of their composition and a shift in electrochemical potentials in the negative direction of the ordinate axis.

Keywords: potentiostatic method, aluminum conductor alloy AlV0.1, lanthanum, electrochemical behavior, aqueous NaCl solution, corrosion rate, free corrosion potential

For citation: Ganiev, I.N., Azizova, D.K., Okilov, Sh.Sh. and Khodzhazarov, Kh.M. (2025) Potentiostatic study of aluminum conductor alloy AlV0.1 doped with lanthanum in sodium chloride solution, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 15, no. 1, pp. 46–55. (in Russ.) <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2025-1-46-55>



Наиболее важные области применения алюминиевых сплавов в настоящее время авиационная и ракетная техника. Алюминий – один из самых распространённых (8,8% в земной коре), а потому и доступных элементов. Он является первым металлом, который был использован в авиации в качестве конструкционного материала. В настоящее время алюминиевые сплавы в конструкции самолётов занимают около 60%. Производство алюминия и количество применяемых сплавов росло вместе с развитием авиации [1].

Одним из путей увеличения прочности алюминиевых проводов является их легирование. Легирующие элементы должны обеспечить рост прочности при достаточно высокой электропроводности. Как правило, примеси повышают прочность алюминия и в то же время понижают его электропроводность. Можно, конечно, выбрать примеси, которые, повышая механические свойства алюминия, мало снижают его проводимость, и вводить их с целью увеличения прочности алюминия [2].

Алюминий и сплавы на его основе являются конструкционными и проводниковыми материалами, и нашли широкое применение в электротехнике. Для алюминия, как проводникового материала, характерны такие характеристики, как тепло- и электропроводность, так как он является вторым наиболее широко технически применяемым металлом (на первом месте находится медь). Кроме того, известно, что у алюминия низкая плотность, высокая коррозионностойкость в атмосферных условиях, а также ему характерна высокая стойкость к воздействию агрессивных химических веществ [3,4].

В настоящее время применение алюминиевых сплавов становится всё более разнообраз-

ным. Неуклонно расширяется использование конструкционных сплавов в машиностроении, судостроении, на транспорте, в строительстве, и других отраслях. Чистый алюминий и малолегированные сплавы находят всё большее применение в электротехнике, быту, пищевой промышленности [5].

Ванадий вводят в сплавы алюминия с помощью лигатур, которые получают двумя основными способами: сплавлением чистых компонентов и восстановлением легирующего металла из его соединений [6].

Небольшие добавки ванадия к алюминию (0,1 мас. %) сдвигают стационарный потенциал алюминия в положительную область на 250 мВ. Потенциалы репассивации ($E_{pen.}$) и питтингообразование ($E_{n.o.}$) не меняются при легировании алюминиевая ванадием. При добавке до 3% ванадия несколько снижается значение тока коррозии и лишь при максимальной добавке 5% ванадия ток коррозии увеличивается до значения $0,007 \text{ А/м}^2$ [7].

В литературе имеются сведения о влиянии добавки ванадия на различные свойства алюминия. В справочнике [8] сообщается, об увеличении удельного электросопротивления в пределах области растворимости ванадия в алюминий причем прирост составляет $0,4-0,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ от каждого вводимого 0,1% ванадия. Описана температурная зависимость электросопротивления. Магнитная восприимчивость при добавке в сплав алюминия 1,0% ванадия уменьшается на 15%. Добавка ванадия существенно не повышает механические свойства, наблюдается небольшой прирост прочности от малых присадок ванадия, вероятно, вследствие измельчения зерна. Повышение жаропрочности объясняется, по-видимому, при-

сутствием тонкодисперсной окиси. Каждый вводимый 1% ванадия увеличивает модуль упругости на 2250 Мн/н^2 . Ванадий способствует повышению температуры рекристаллизации алюминия. Упрочняющее старение пересыщенных сплавов Al–V (полученных методом закалки из жидкого состояния) происходит только при повышенных температурах [7].

Растворимость лантана в твердом алюминии составляет 0,05 мас. % при 642°C , снижается до 0,03% при 627°C и менее чем до 0,01% при 527°C . Соединение LaAl_4 имеет две полиморфные формы, для которых предложено несколько кристаллических структур. Параметр решетки, электросопротивление твердость, прочность и относительное удлинение алюминия существенно не изменяются при введении добавок лантана, а термообработка не оказывает большого влияния на свойства [7].

Лантан, как и другие редкоземельные элементы, может оказывать значительное влияние на свойства алюминиевых сплавов. Лантан способствует снижению скорости коррозии алюминиевых сплавов, особенно в средах с высокой концентрацией хлоридов. Это связано с сдвигом электрохимических потенциалов в положительную область. Добавка лантана может улучшить прочность и ударную вязкость сплавов. Это связано с формированием новых фаз и улучшением микроструктуры. Лантан способствует формированию мелкозернистой структуры и улучшению однородности сплава. Это может улучшить пластические свойства и обрабатываемость материала. Лантан может снижать температуру, при которой происходит деформация сплава, что может быть полезно при термической обработке и обработке давлением. Эти свойства делают лантан ценным легирующим

элементом для различных применений алюминиевых сплавов, особенно в авиастроении и электротехнике [8, 9].

Целью данного сообщения является исследование анодного поведения сплава алюминия с 0,1 мас. % ванадием (AlV0.1), легированного лантаном в среде раствора хлорида натрия различной концентрации.

Материалы и методы исследования

Для получения тройных сплавов использован алюминиевый сплав AlV0.1, полученный из алюминия марки А6 (ГОСТ 21631-2019) и металлического ванадия марки ВМ-1 99,9% (ГОСТ ТУ 48-4-272-73), который легировали металлическим лантаном марки ЛаМ-1 (ГОСТ 48-4-218-72) в шахтной лабораторной печи типа СШОЛ при температуре $800\text{--}850^\circ\text{C}$. Содержание лантана в исходном сплаве варьировалось в пределах 0,01–1,0 мас. %. Химический анализ компонентов сплавов выполнялся в Центральной заводской лаборатории ОАО «ТалКо» (г. Турсунзоде, Республика Таджикистан). Из полученных сплавов для исследования электрохимических свойств отливались в графитовую изложницу цилиндрические образцы диаметром 8 мм, длиной 140 мм (рис. 1)



Рис. 1. Образцы из алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном

Для изучения электрохимических свойств сплавов применяли потенциостатический метод исследования, подробно описанный в работах [10–15]. Электрохимические испытания образцов проводили потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с, в среде раствора хлорида натрия. Электродом сравнения служил хлорид-серебряный, вспомогательным – платиновый.

Учитывая то, что на величину потенциала существенно влияет подготовка рабочей поверхности образцов (электрода), измерения потенциала во времени на объектах проводились при двух различных видах обработки.

При механической подготовке поверхность зачищалась наждачной бумагой, последовательно переходя от крупной к мелкой (№2-00), а затем промывалась дистиллированной водой, полировалась на влажной фильтровальной бумаге и сушилось на воздухе. По другой методике после механической обработки проводилась химическая обработка электрода, включающая в себя обезжиривание в 10 %-ной серной кислоте в течение 1 мин., а затем катодная поляризация в течение 20 мин. при плотности поляризующего тока 2 мА/см², с целью удаления оксидов с поверхности электрода.

При этом было показано, что через определённый промежуток времени потенциал свободной коррозии (бестоковый потенциал) принимает постоянное значение независимо от характера предварительной подготовки электрода.

Отсюда нами подготовка поверхности электрода проводилась первым методом, т.е. механической обработкой, при снятии потенциодинамических кривых, также проводилось катод-

ная поляризация поверхности электрода для удаления оксидов с поверхности. Ниже приводится подробная методика снятия поляризационных кривых сплавов в среде раствора хлорида натрия на примере алюминиевого сплава AlV0.1 в 3 %-ном растворе хлорида натрия (рис. 2).

При электрохимических испытаниях образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питингообразования (рис. 2, кривая I).

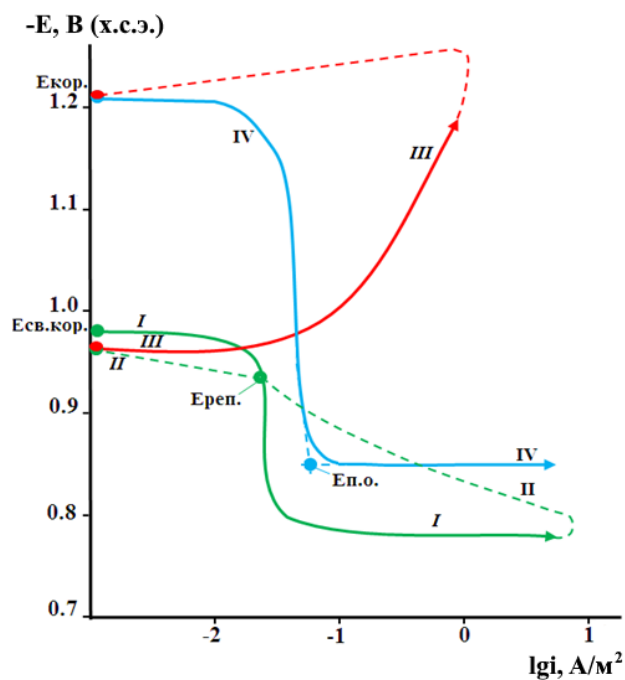


Рис. 2. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 в среде раствора 3,0%-ного NaCl

Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 2, кривые II и III) до потенциала (–1,2 В), в результате чего происходило растворение плёнки оксида.

Наконец, образцы поляризовали снова в положительном направлении, получив анодные поляризационные кривые сплавов (рис. 2, кри-

вая IV). По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

- $E_{ст.}$ или $E_{св.кор.}$ – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;
- $E_{р.п.}$ – потенциал репассивации;
- $E_{п.о.}$ – потенциал питтингообразования;
- $E_{кор.}$ – потенциал коррозии;
- $i_{кор.}$ – ток коррозии.

Учитывая, что в нейтральных средах процесс коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода, расчёт тока коррозии проводили из катодной ветви потенциодинамических кривых, с учётом тафеловской константы равной 0,12 В.

Скорость коррозии K определяли по току коррозии ($i_{кор.}$) по формуле

$$K = i_{кор.} \cdot k,$$

где $k = 0,335 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$ – электрохимический эквивалент алюминия.

Результаты и их обсуждение

Исследование коррозионно-электрохимических свойств сплавов проводили согласно рекомендациям ГОСТ 9.017-74 в среде раствора 3,0%-ного NaCl (заменилителя морской воды) с целью определения влияния хлорид-иона на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводниковой сплава AIV0.1, легированного лантаном.

Результаты исследования потенциала свободной коррозии алюминиевого проводниковой сплава AIV0.1, легированного лантаном, в трёх средах электролита NaCl представлены на рис. 3. Микролегирование алюминиевого проводниковой сплава AIV0.1 лантаном способствует смещению потенциала свободной коррозии в область положительных значений во всех трёх изученных средах электролита.

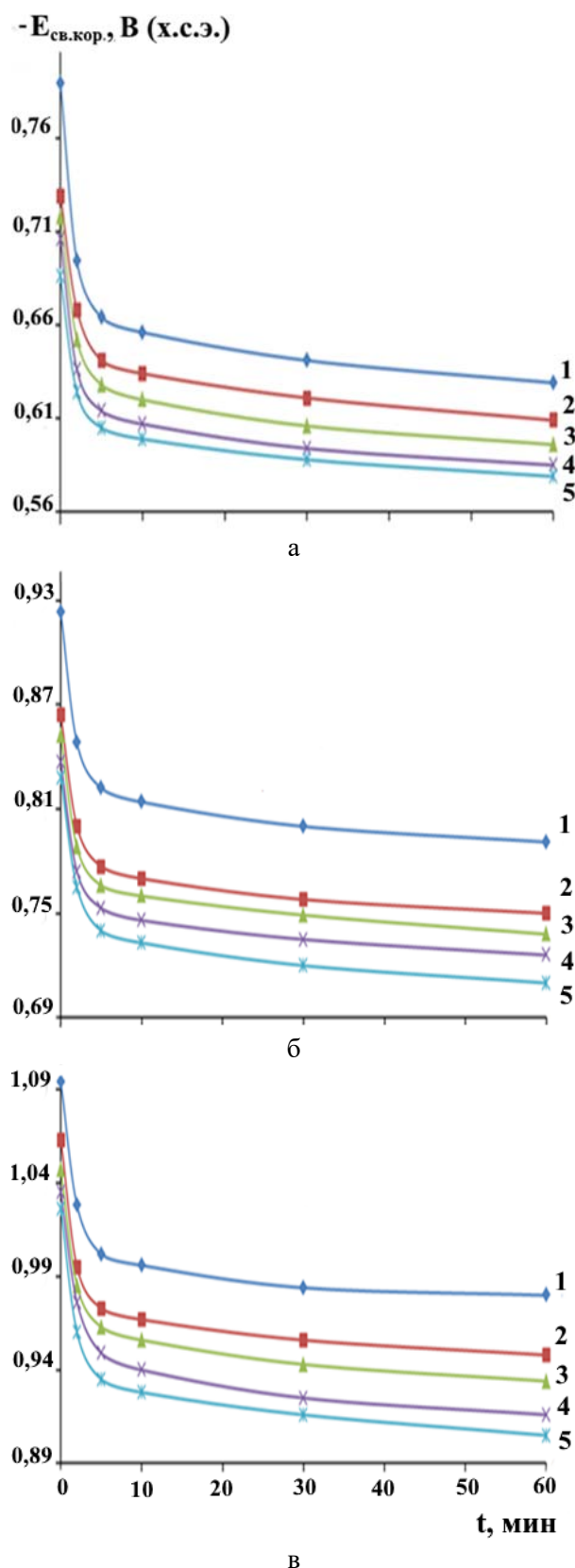


Рис. 3. Временная зависимость потенциала свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В), алюминиевого проводниковой сплава AIV0.1 (1), содержащего лантан, мас. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 1,0(5), в среде раствора 0,03% (а), 0,3% (б) и 3,0 % (в) NaCl

Особенно ускоренно потенциал свободной коррозии смещается в положительную область у легированных лантаном сплавов по сравнению с исходным алюминиевым проводниково-

го сплава AlV0.1 (рис. 3). Потенциал свободной коррозии алюминиевым проводниковым сплавом AlV0.1 от содержания лантана также смещается в положительную область.

Таблица.

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном, в среде раствора NaCl

Среда NaCl,	Содержание лантана в сплаве	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		– E _{св.кор.}	– E _{кор.}	– E _{п.о.}	– E _{р.п.}	i _{кор} ·10 ² , А/м ²	K·10 ³ , г/м ² ·ч
	мас. %						
0,03	A6	0,701	1,132	0,623	0,671	6,0	20,10
	-	0,629	1,150	0,650	0,760	6,1	20,43
	0,01	0,609	1,136	0,617	0,727	5,7	19,09
	0,1	0,596	1,127	0,608	0,718	5,5	18,42
	0,5	0,585	1,118	0,599	0,709	5,3	17,75
	1,0	0,579	1,109	0,590	0,700	5,1	17,08
0,3	A6	0,756	1,163	0,661	0,701	8,0	26,80
	-	0,791	1,186	0,740	0,810	8,1	27,13
	0,01	0,750	1,149	0,692	0,787	7,7	25,79
	0,1	0,738	1,140	0,683	0,778	7,5	25,12
	0,5	0,726	1,131	0,674	0,769	7,3	24,45
	1,0	0,710	1,122	0,665	0,760	7,1	23,78
3,0	A6	0,909	1,200	0,713	0,765	9,7	32,80
	-	0,980	1,210	0,850	0,940	9,8	32,83
	0,01	0,948	1,168	0,817	0,903	9,4	31,49
	0,1	0,934	1,159	0,808	0,895	9,2	30,82
	0,5	0,916	1,150	0,799	0,887	9,0	30,15
	1,0	0,905	1,141	0,790	0,879	8,8	29,48

Результаты коррозионно-электро-химического исследования влияния добавок лантана как модификатора структуры на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, в среде электролита NaCl обобщены в таблице. Во всех трёх исследованных средах раствора NaCl добавки лантана в сплав AlV0.1 до 1,0 мас. % способствует снижению его скорости коррозии на 10–16 %. Из таблицы также следует, что с ростом концентрации лантана в исходном сплаве и уменьшении концентрации хлорид-иона в электролите, потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в область более положительных значений.

Зависимость скорости коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 легированного лантаном, в среде раствора 0,03, 0,3 и 3,0 %-ного NaCl представлены на рис. 4.

Исследования показывают, что во всех изученных средах раствора NaCl добавка лантана уменьшает скорость коррозии исходного сплава AlV0.1. При этом рост концентрации раствора NaCl (хлорид-иона) способствует увеличению скорости коррозии сплавов (рис. 5).

Скорость коррозии и плотность тока коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 имеют минимальное значение при концентрации 1,0 мас. % лантаном.

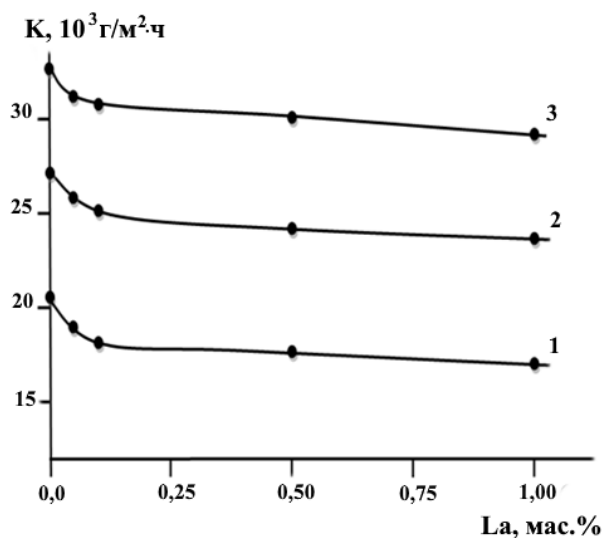


Рис. 4. Влияние добавки лантана на скорость коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1 в среде раствора 0,03 (1); 0,3 (2) и 3,0 (3) % NaCl

На рис. 5 представлены анодные ветви потенциодинамических кривых сплава AlV0.1, содержащего различное количество лантана. Видно, что анодные кривые, относящиеся к легированным лантаном сплавам, располагаются левее, т.е. положительнее анодной кривой исходного сплава, что свидетельствует о снижении скорости анодного растворения алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, при легировании его лантаном. При этом рост скорости коррозии сплавов коррелирует со сдвигом анодных кривых, в область положительных значений, в среде электролита NaCl.

Что касается алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном в твёрдом растворе алюминий с ванадием, коррози-

онная устойчивость исходного сплава при добавках лантана от 0.01 до 1.0 мас. % продолжает снижаться, в нейтральной среде электролита NaCl.

Заключение

Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlV0.1, легированного лантаном. Установлено, что легирование повышает коррозионную стойкость сплава на 10–16% в среде 0,03 %; 0,3 % и 3,0 %-ного NaCl. При этом увеличением содержания лантана наблюдается рост потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации.

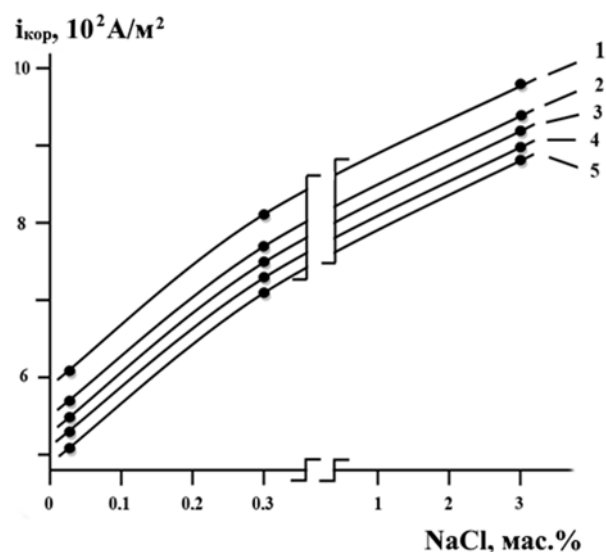


Рис. 5. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого проводникового сплава AlV0.1(1) с лантаном, мас. %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 1,0 (5) от концентрации раствора NaCl

Список источников

1. Усов В.В., Займовский А.С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы. Материалы и сплавы в электротехнике Том II. М.: Госэнергоиздат, 1957. 184 с.
2. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара, 2013. 81 с.
3. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Киев: Комитех, 2005. 365с.

4. *Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение.* М.: Металлургия, 1979. 679 с.
5. *Алиева С.Г. Промышленные алюминиевые сплавы.* М.: Металлургия, 1984. 528 с.
6. *Васильев Е.Б., Ленская Е.В. Тенденции развития кабельной промышленности в странах Юго-Восточной Азии (Заседание Генеральной Ассамблеи АWCCA 2020) // Кабели и провода. 2021. № 1 (387). С. 35–43.*
7. *Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов.* М: Металлургия. 1979. 640 с.
8. *Денисова Э.И., Карташов В.В., Рычков В.Н. Прикладное материаловедение: металлы и сплавы.* Екатеринбург, 2018. 214 с.
9. *Шеметев Г.Ф. Алюминиевые сплавы: составы, свойства, применение.* СПб., 2012. 155с.
10. *Ганиев И.Н., Окислов Ш.Ш., Эшов Б.Б., Муллоева Н.М., Джайлоев Ж.Х. Анодное поведение свинцово-сурьмяного сплава SSu_3 с калием в среде электролита NaCl // Материаловедение. 2022. № 12. С. 33–38.*
11. *Ганиев И.Н., Окислов Ш.Ш., Муллоева Н.М. Анодное поведение свинцово-сурьмяного сплава SSu_3 с литием в среде электролита NaCl // Неорганические материалы. 2023. Т. 59. № 3. С. 266–272.*
12. *Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., и др. Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (“Алдрей”) с кадмием в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2023. Т. 28, № 4. С. 22–29.*
13. *Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К., и др. Влияние добавок лития на коррозионно-электрохимическое поведение свинцового баббита БЛи ($PbSb_{15}Sn_{10}Li$) в среде электролита NaCl // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2022. № 1. С. 7–12.*
14. *Ходжаназаров Х.М., Ганиев И.Н., Ходжаев Ф.К. Потенциодинамическое исследование свинцового баббита БК($PbSb_{15}Sn_{10}K$) с калием в среде электролита 3%-го NaCl // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. №1 (92). С. 86–92.*
15. *Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К. Потенциодинамическое исследование свинцового баббита БТ ($PbSb_{15}Sn_{10}$) с натрием, в среде электролита NaCl // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 126–133.*

Информация об авторах

Ганиев Изатулло Наврузович, академик НАН Таджикистана, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» (734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2), ganievizatullo48@gmail.com.

Азизова Дилафруз Киромиддиновна, доктор философии, докторант, Физико-технический Институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана (734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/1).

Окислов Шахром Шукурбоевич, старший научный сотрудник, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» (734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2).

Ходжаназаров Хайрулло Махмудхонович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт химии В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана (734063, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2), khayrullo.khodzhanazarov@bk.ru.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 20 января 2025 г.; принята к публикации 27 февраля 2025 г.

References

1. Usov, V.V. and Zaimovsky, A.S. (1957) *Conductor, rheostatic and contact materials. Materials and alloys in electrical engineering*, Vol. II, Gosenergoizdat, Moscow. (in Russian).
2. Luts, A.R. and Suslina, A.A. (2013) *Aluminum and its alloys*, Samara. (in Russian).
3. Beletsky, V.M. and Krivov, G.A. (2005) *Aluminum alloys (Composition, properties, technology, application)*, Komitekh, Kiev. (in Russian).
4. Nilson, H. (Ed.) (1979) *Aluminum alloys: properties, processing, application*, Metallurgy, Moscow. (in Russian).
5. Alieva, S.G. (1984) *Industrial aluminum alloys*, Metallurgy, Moscow. (in Russian).
6. Vasiliev, E.B. and Lenskaya, E.V. (2021) Development Trends of the Cable Industry in Southeast Asia (AWCCA General Assembly Meeting 2020), *Cables and Wires*, no. 1, pp. 35–43. (in Russian).
7. Mondolfo, L.F. (1979) *Structure and Properties of Aluminum Alloys*, Metallurgy, Moscow. (in Russian).
8. Denisova, E.I., Kartashov, V.V. and Rychkov, V.N. (2018) *Applied Materials Science: Metals and Alloys*, Yekaterinburg. (in Russian).
9. Shemetev, G.F. (2012) *Aluminum Alloys: Compositions, Properties, Application*, St. Petersburg. (in Russian).
10. Ganiev, I.N., Okilov, Sh.Sh., Eshov, B.B., Mulloeva, N.M. and Dzhailev, Zh.Kh. (2022) Anodic behavior of lead-antimony alloy SSU3 with potassium in NaCl electrolyte medium, *Materials Science*, no. 12, pp. 33–38.
11. Ganiev, I.N., Okilov, Sh.Sh. and Mulloeva, N.M. (2023) Anodic behavior of lead-antimony alloy SSU3 with lithium in NaCl electrolyte medium, *Inorganic Materials*, vol. 59, no. 3, pp. 266–272.
12. Ganiev, I.N., Dzhailev, J.Kh., Ganieva, N.I., Khodzhanazarov, H.M., Kholov, E. Dzh. and Amonzoda, I.T. (2023) Anodic behavior of conductive aluminum alloy E-AlMgSi (“Aldrey”) with cadmium in NaCl solution, *Practice of Anticorrosive Protection*, vol. 28, no. 4, pp. 22–29.
13. Ganiev, I.N., Khodzhanazarov, H.M., Khodzhaev, F.K. and Yakubov, U.Sh. (2022) Effect of lithium additives on the corrosion-electrochemical behavior of lead babbitt BLi (PbSb15Sn10Li) in a NaCl electrolyte environment // *A.N. Tupolev Bulletin of Kazan State Technical University*, no. 1, pp. 7–12.
14. Khodzhanazarov, H.M., Ganiev, I.N. and Khodzhaev F.K. (2022) Potentiodynamic study of lead babbitt BK (PbSb15Sn10K) with potassium in a 3% NaCl electrolyte environment, *Bulletin of the Saratov State Technical University*, no. 1, pp. 86–92.
15. Ganiev, I.N., Khodzhanazarov, H.M. and Khodzhaev F.K. (2022) Potentiodynamic study of lead babbitt BT (PbSb15Sn10) with sodium, in a NaCl electrolyte environment, *Polzunov Bulletin*, no. 1, pp. 126–133.

Information about the authors

Izatullo Ganiev, Academic of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Laboratory, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/2, Ayni str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan), ganieviz-atullo48@gmail.com.

Dilafruz Azizova, Doctor of Philosophy, Doctoral Candidate, S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/1, Ayni str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan).

Shahrom Okilov, Senior Researcher, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/2, Ayni str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan).

Khayrullo Khodzhazarov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/2, Ayni str., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan), khayrullo.khodzhazarov@bk.ru.

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 20 January 2025; accepted 27 February 2025