

Оригинальная статья

УДК 669.017:620.197

DOI: 10.57070/2304-4497-2025-4(54)-75-82

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АЛЮМИНИЯ $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ (ДЮРАЛЮМИНА) С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ЛАНТАНА, ЦЕРИЯ И ПРАЗЕОДИМА В 0,3 %-НОМ РАСТВОРЕ NaCl

© 2025 г. С. У. Худойбердизода¹, С. С. Савдуллоева¹, И. Н. Ганиев¹, С. Ю. Киреев²

¹Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана (Республика Таджикистан, 734063, Душанбе, пр. С Айни, 299/2)

²Политехнический институт Пензенского государственного университета (Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40)

Аннотация. Широкое применение дюралюмина в авиационной, транспортной и других отраслях промышленности обусловлено его высокими прочностными характеристиками, низкой плотностью и хорошей технологичностью при литье и обработке давлением. Рассматриваемый сплав относится к классу структурных материалов на основе алюминия, упрочненных добавками меди, марганца, магния и лития. Его эксплуатационные свойства во многом определяются режимами термической обработки и составом легирующих элементов. Одним из ключевых факторов, ограничивающих долговечность дюралюмина в агрессивных средах, является склонность к локальной коррозии, в частности к питтингу, который в пресных водах оценивается, прежде всего, по глубине поражения. Представлены результаты комплексного исследования коррозионно-электрохимических характеристик сплава системы $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ (аналог дюралюмина), дополнительно легированного малыми добавками редкоземельных металлов (лантана, церия и празеодима). Эксперименты проводили в модельном 0,3 %-ном растворе NaCl с использованием потенциостатической методики в динамическом режиме при скорости поляризации 2 мВ/с. Методика включала регистрацию потенциала свободной коррозии, построение анодных и катодных поляризационных кривых, определение потенциалов питтингообразования и расчет плотности коррозионного тока. Установлено, что увеличение времени экспозиции образцов в электролите, а также повышение содержания в сплаве лантана, церия и празеодима приводит к значительному смещению стационарного потенциала коррозии в положительную область. Наиболее выраженный эффект наблюдался для празеодима. Одновременно отмечалось снижение плотности коррозионного тока. Модификация сплава редкоземельными элементами способствовала повышению его коррозионной стойкости в хлоридсодержащей среде на 10 – 20 % по сравнению с базовым составом. Полученные данные свидетельствуют о том, что введение La, Ce и Pr приводит к формированию более гетерогенной и пассивной поверхности, замедляющей анодные процессы растворения металла. Результаты работы имеют практическое значение для разработки новых коррозионностойких алюминиевых сплавов, предназначенных для работы в условиях воздействия морской воды и других хлоридсодержащих сред.

Ключевые слова: сплав алюминия $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ (дюралюмина), потенциостатическая методика, электрохимические свойства, потенциал коррозии в свободном состоянии, скорость коррозии

Для цитирования: Худойбердизода С.У., Савдуллоева С.С., Ганиев И.Н., Киреев С.Ю. Электрохимические и коррозионные свойства сплава алюминия $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ (дюралюмина) с включениями лантана, церия и празеодима в 0,3%-ном растворе NaCl . *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2025;4(54):75–82. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-4\(54\)-75-82](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-4(54)-75-82)

Original article

CORROSION-ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ALUMINUM ALLOY AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (DURALUMIN) WITH LANTHANUM, CERIUM, AND PRASEODYMIUM ADDITIONS IN 0.3% NaCl SOLUTION

© 2025 S. U. Khudoiberdizoda¹, S. S. Savdulloeva¹, I. N. Ganiev¹, S. Y. Kireev²¹Institute of Chemistry named after V.I. Nikitin of the National Academy of Sciences of Tajikistan (299/2 S. Aini Avenue, Dushanbe 734063, Republic of Tajikistan)²Polytechnic Institute of Penza State University (40 Red Street, Penza 440026, Russian Federation)

Abstract. The widespread use of duralumin in aviation, transportation and other industries is due to its high strength characteristics, low density and good manufacturability during casting and pressure treatment. The alloy under consideration belongs to the class of structural materials based on aluminum, reinforced with additives of copper, manganese, magnesium and lithium. Its operational properties are largely determined by the modes of heat treatment and the composition of the curing elements. One of the key factors limiting the durability of duralumin in aggressive environments is the tendency to local corrosion, in particular to pitting, which in freshwater is assessed primarily by the depth of damage. The results of a comprehensive study of the corrosion-electrochemical characteristics of an alloy of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 system (an analog of duralumin) additionally alloyed with small additives of rare-earth metals (lanthanum, cerium, and praseodymium) are presented. The experiments were performed in a model 0.3% NaCl solution using a potentiostatic technique in a dynamic mode at a polarization rate of 2 mV/s. The technique included recording the potential of free corrosion, constructing anode and cathode polarization curves, determining the potentials of pitting formation, and calculating the density of the corrosive current. It was found that an increase in the exposure time of the samples in the electrolyte, as well as an increase in the content of lanthanum, cerium, and praseodymium in the alloy, leads to a significant shift in the stationary corrosion potential to the positive region. The most pronounced effect was observed for praseodymium. At the same time, a decrease in the density of the corrosive current was noted. Modification of the alloy with rare earth elements contributed to an increase in its corrosion resistance in a chloride-containing environment by 10 – 20 % compared with the base composition. The data obtained indicate that the introduction of La, Ce, and Pr leads to the formation of a more heterogeneous and passive surface that slows down the anodic processes of metal dissolution. The results of the work are of practical importance for the development of new corrosion-resistant aluminum alloys designed to work in conditions of exposure to seawater and other chloride-containing media.

Keywords: aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin), potentiostatic method, electrochemical characteristics, 0.3 % NaCl water environment, free corrosion potential, corrosion speed

For citation: Khudoiberdizoda S.U., Savdulloeva S.S., Ganiev I.N., Kireev S.Y. Electrochemical and corrosion properties of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) with inclusions of lanthanum, cerium and praseodymium in a 0.3% NaCl solution. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2025;4(54):75–82. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-4\(54\)-75-82](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-4(54)-75-82)

Введение

Коррозионные реакции приводят к большим потерям металлов и материалов. Для борьбы с этим эффектом задействованы различные методы. Такие процессы обычно развиваются постепенно, поэтому техническое оборудование функционирует длительное время, не вызывая аварийных ситуаций в ближайшей перспективе. В то же время, отмечаются случаи крайне ускоренных реакций, превышающих стандартную коррозию в $10^3 - 10^9$ раз, со схожими условиями. Целесообразно углубленно проанализировать такие случаи, их динамику и физико-химические принципы. Остается важным моментом понимание ме-

ханизма коррозии, формирование методов ее подавления или блокировки, а в определенных случаях – и стимулирования. Коррозия подразумевает разложение металлов от окислительных процессов химического или электрохимического характера. Типичный вариант – ржавление, хотя форм коррозии известно много [1 – 3]. Французский специалист по химии и производству Анри Сент-Клер Девиль в середине XIX в. ввел доступный подход к извлечению алюминия, применив натрий взамен калия. «Серебро из глины» на парижской экспозиции того периода впечатлило аудиторию [4 – 6]. Наполеон III, предлагая алюминиевые предметы для почетных посетителей,

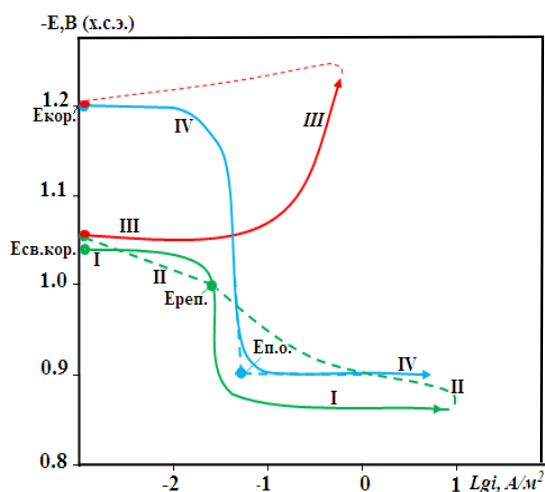


Рис. 1. Поляризационная зависимость сплава алюминия AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) в среде NaCl
Fig. 1. The electrochemical polarization behavior of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin-type) alloy in an aqueous NaCl solution

планировал снабдить войска легкими защитными элементами. Финансовая помощь Девилю позволила организовать производство. Все же металл был дорогостоящий и предназначался для элитных товаров и ювелирии. К концу века более продуктивный процесс получили независимо Ч. Холл из Америки и П. Эрру из Франции. Их метод электролиза с криолитом для плавки оксида алюминия показал эффективность, хотя нуждался в большом энергопотреблении. Первый производственный объект разместили близ Рейна в Швейцарии, используя энергию водопада. Австриец К.И. Байер, работающий в России, предложил технику добычи глинозема, снизившую расходы. Эти техники актуальны в современном производстве алюминия. Материал имел ряд достоинств, но для отдельных сфер чистый алюминий был недостаточно крепким. Немецкий исследователь А. Вильм тестировал комбинации алюминия с малыми содержанием магния, меди, марганца и получил повышение прочности после термической обработки [7 – 10]. В 1911 г. в немецком г. Дюрене синтезировали сплав повышенной твердости с меньшей массой, именуемый дюралюминием, а в 1919 г. собрали из него дебютный самолет [11 – 14]. Это стимулировало глобальное распространение алюминия. Целью настоящей работы является изучение влияния примесей La, Ce, Pr на электрохимическую коррозию сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) в среде NaCl.

Материалы и методика исследования

В процессе синтеза сплавов применяли алюминий марки А5N (ГОСТ 11069 – 2011), магний (ГОСТ 804 – 93), литий (ГОСТ 8775.0 – 87), цирконий (ГОСТ 25278.10 – 82), лантан (ГОСТ

23862.5 – 79), церий (ГОСТ 12364 – 84), празеодим (ГОСТ 23862.0 – 79). Лигатуры на базе алюминия с 2 мас. % Zr изготавливали предварительно в печах СШОЛ лабораторного типа. В расчетах шихты учитывали потери на испарение La, Mg, Li. Отклонение массы полученных сплавов не превосходило 2 %.

Для электрохимического тестирования сплавы формировали в виде стержней диаметром 8 мм и длиной 140 мм в графитовых формах. Неактивные зоны покрывали смоляной смесью (равные доли канифоли и парафина). Активной зоной приняли конец стержня, подвергавшийся шлифовке, полировке, обезжириванию, промывке спиртом перед размещением в 0,3 %-ном растворе NaCl (ГОСТ 4233 – 77).

Замеры выполняли на потенциостате ПИ-50.1.1 в режиме 2 мВ/с в 0,3 %-ном растворе NaCl. Регистрацию осуществляли через программатор ПР-8 и устройство ЛКД-4. Образцы выдерживали в среде до постоянства потенциала коррозии $E_{св.кор}$, фиксируя кривую E , В, от времени t , мин. Продолжительная выдержка (1 – 3 дня) подтверждала стабильность величины $E_{св.кор}$ [15 – 18].

На рис. 1 представлена схема фиксации поляризационных зависимостей для сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) в 0,3 %-ном растворе NaCl.

Во время экспериментов после погружения образцов в раствор осуществляли анодную поляризацию до 1 A/m^2 , провоцируя питтинг (рис. 1, зависимости I). Далее проводили катодную поляризацию (рис. 1, зависимости II, III), достигая 1,2 В для очистки от оксидов. В завершение повторяли анодную поляризацию (рис. 1, зависимость IV). На рис. 1 представлен весь цикл динамических кривых в 0,3 %-ном растворе NaCl при 2 мВ/с с выделением обратных ветвей штриховыми линиями.

Потенциал питтинга ($E_{п.о.}$) фиксировали по зависимости IV после катодного этапа, удаляющего оксидные покрытия.

Характеристики коррозии сплавов в нейтральных условиях определяли катодной стадией восстановления кислорода. Ток коррозии вычисляли по тафельской константе ($b_k = 0,12 \text{ В}$) на катодных сегментах кривых. Для сплавов алюминия питтинг ограничивался катодной деполяризацией кислородом.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Итоги оценки потенциала коррозии в свободном состоянии ($E_{св.кор}$) для сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина), модифицированного La, Ce, Pr, в 0,3 %-ном растворе NaCl представлены на рис. 2. Обработка полученных

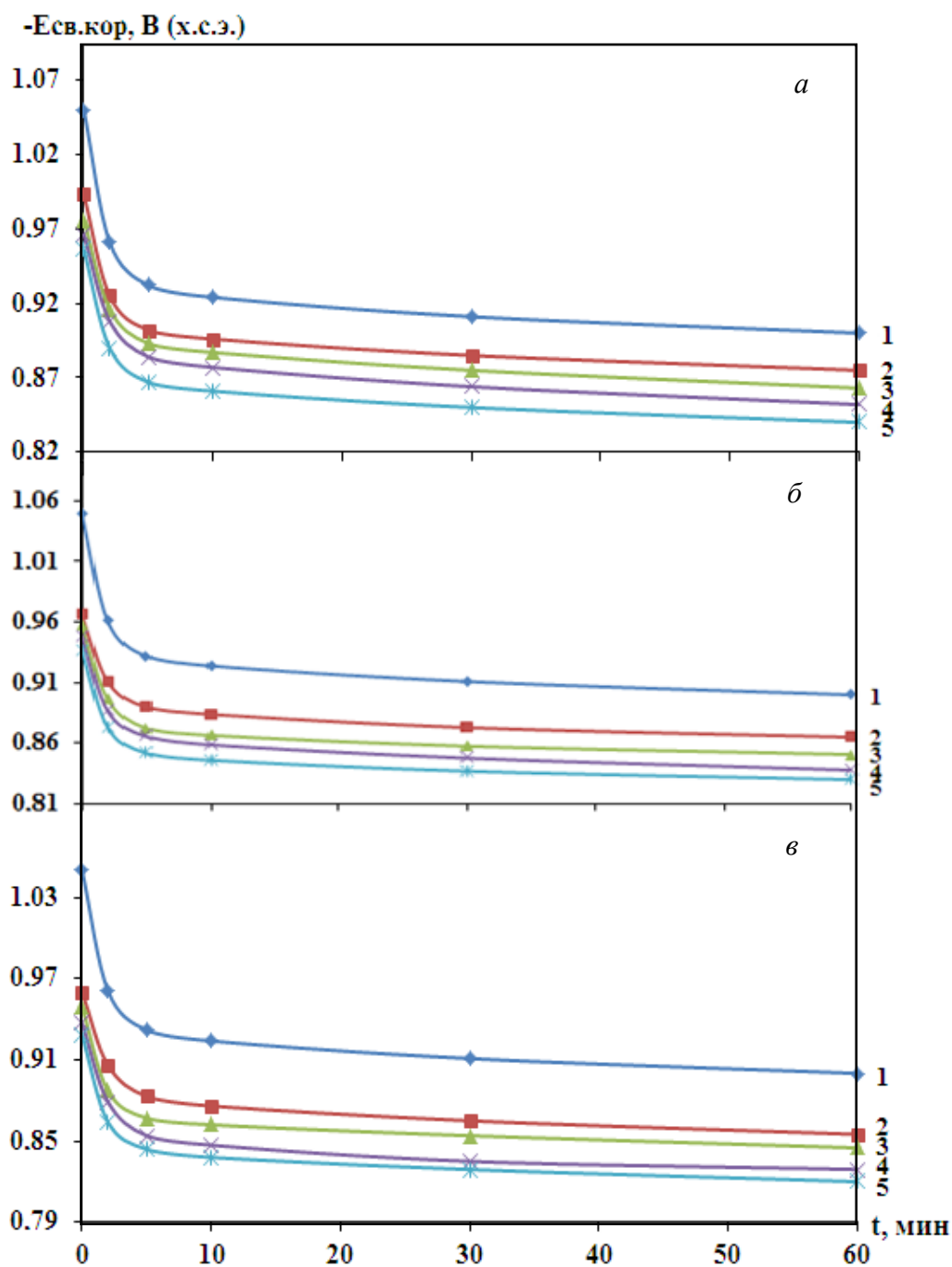


Рис. 2. Зависимость потенциала коррозии в свободном состоянии сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) от длительности контакта в 3,0 %-ном растворе NaCl; эффект примесей La (*a*), Ce (*б*), Pr (*в*) при концентрациях 0,01 (2), 0,1 (3), 0,5 (4), 1,0 мас. % (5)

Fig. 2. Dependence of the free corrosion potential of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) alloy on the exposure time in a 3.0 wt.% NaCl solution; effect of La (*a*), Ce (*b*), and Pr (*c*) additions at concentrations of 0.01 (2), 0.1 (3), 0.5 (4), and 1.0 wt.% (5)

результатов выявила сдвиг величины $E_{\text{св.кор}}$ в положительную область при росте длительности контакта и уровня легирующих примесей (La, Ce, Pr). Повышение содержания хлоридов снижало параметр $E_{\text{св.кор}}$.

Характеристики электрохимии сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 с примесью La, Ce, Pr в среде 0,3 %-ного раствора NaCl представлены в табл. 1 и 2. Увеличение пропорции La, Ce, Pr приводит к положительному смещению потенциалов свободной коррозии и питтингообразования.

Включение лантана, церия и празеодима в структуру сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмин) усиливает его сопротивление коррозии на 10 – 13, 13 – 16 и 16 – 20 % (рис. 3). Увеличение хлоридных ионов в 0,3 %-ном растворе NaCl тормозит коррозионные реакции в сплавах.

Эффект влияния La, Ce, Pr на плотность коррозионного тока для сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) представлен в табл. 2. Результаты показывают

**Потенциалы коррозии в свободном состоянии и питтингообразования сплава
AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина)**

Table 1. The free corrosion and pitting potentials of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) alloy

Легирующий компонент (La, Ce или Pr) в сплаве, мас. %	Сплавы с лантаном		Сплавы с церием		Сплавы с празеодимом	
	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
	В					
—	0,900	0,780	0,900	0,780	0,900	0,780
0,01	0,875	0,753	0,865	0,742	0,855	0,722
0,10	0,863	0,744	0,850	0,733	0,845	0,713
0,50	0,852	0,734	0,838	0,724	0,829	0,704
1,00	0,840	0,725	0,830	0,715	0,820	0,695

снижение плотности тока с повышением доли легирующих веществ.

На рис. 4 приводятся анодные сегменты динамических кривых сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) с лантаном (рис. 4, а), церием (рис. 4, б), празеодимом (рис. 4, в). Зависимость для модифицированных сплавов размещена левее, то есть в более положительном диапазоне относительно базовых значений, что указывает на снижение анодной коррозии при добавлении лантана, церия и празеодима. Такие паттерны сохраняются при других концентрациях NaCl.

Выводы

Изучение влияния лантана, церия и празеодима на электрохимические параметры сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) установило, что рост их содержания снижает скорость коррозии базового материала на 10 – 20 %. Это обусловлено: созданием гетерогенной структуры при модификации, усиливающей химическую устойчивость; перемещением потенциалов электродов в положительный диапазон, замедляющим анодное разложение в 0,3 %-ном растворе NaCl.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Perez N. Electrochemical corrosion. *Materials Science: Theory and Engineering*. – Cham: Springer Nature Switzerland. 2024;835–898.
2. Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (дата обращения: 09.01.2025).
3. Рындина Н.В. *Цветные и драгоценные металлы и их сплавы*. Москва: Высшая школа. 2008:193.
4. Синявский В.С., Калинин В.Д. Коррозия и способы защиты алюминиевых сплавов в морской воде соответственно их составу и структуре. *Защита металлов*. 2005;41(4):347–359.
5. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. *Коррозия и защита от коррозии*. Москва: Физмалит. 2010:416.
6. Inzelt G. Future of electrochemistry in light of history and the present conditions. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 2020;24(9):2089–2092.

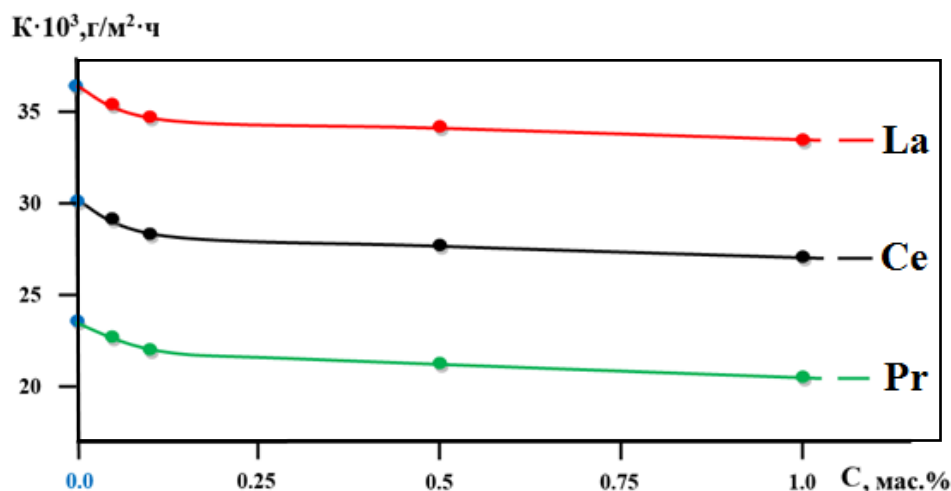


Рис. 3. Скорость коррозии сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) в 0,3 %-ном растворе NaCl в зависимости от содержания La, Ce, Pr

Fig. 3. Corrosion rate of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) alloy in a 0.3 wt.% NaCl solution depending on the content of La (1), Ce (2), and Pr (3)

Влияние примесей (La, Ce, Pr) на скорость коррозии сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмина) в 0,3 %-ном растворе NaCl

Table 2. Influence of additions (La, Ce, Pr) on the corrosion rate of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) alloy in a 0.3 wt.% NaCl solution

Легирующий компонент (La, Ce или Pr) в сплаве, мас. %	Сплавы с лантаном		Сплавы с церием		Сплавы с празеодимом	
	$i_{\text{кор}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч	$i_{\text{кор}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч	$i_{\text{кор}} \cdot 10^2$, А/м ²	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·ч
—	9,0	30,15	9,0	30,15	9,0	30,15
0,01	8,7	29,14	8,4	28,14	7,1	27,13
0,10	8,5	28,47	8,2	27,47	7,9	26,46
0,50	8,3	27,80	8,0	26,80	7,7	25,79
1,00	8,1	27,13	7,8	26,13	7,5	25,12

- Пожидаева С.Д., Иванов А.М., Макеева Т.В., Протасов М.А. Процессы быстрого и глубокого разрушения алюминия и его сплавов при температурах окружающей среды. *Технология металлов*. 2015;5:27–35.
- Основы химической технологии* / Под ред. И.П. Мухлёнова, перераб. и доп. Москва: Альянс. 2017:463.
- Андреева Л.Л., Лидин Р.А., Молочко В.А. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов: под ред. Р.А. Лидина. 3-е изд., испр. Москва: Химия, 2000:480.
- Kablov E.N. et al. Development and application prospects of aluminum–lithium alloys in aircraft and space technology. *Metallurgist*. 2021;65(1):72–81.
- Братухин А.Г. *Современные авиационные материалы: технологические и функциональные особенности*. Москва: АвиаТехИнформ. 2003:437.
- Тарасенко Л.В., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. Фазовый состав и механические свойства сплавов системы Al – Mg – Li – Me. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008;2:40–43.
- Hajjioui E. A. et al. A review of manufacturing processes, mechanical properties and precipitations for aluminum lithium alloys used in aeronautic applications. *Heliyon*. 2023;9(3).
- Киреев С.Ю., Синенкова С.Р., Киреева С.Н., Наумов Л.В., Козлов Г.В., Балыбердин А.С. Получение и свойства композиционных электрохимических покрытий индий-графит и никель-карбид вольфрама. *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2024;32(1-2):6–12. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2024_32_1-2_6
- Ганиев И.Н., Саидова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Джайлоев Д.Х. Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин, со стронцием в среде водного раствора NaCl. *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2024;32(1-2):13–19. https://doi.org/10.47188/0869-5326_2024_32_1-2_13
- Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Киреев С.Ю., Янгуразова А.З., Кирилина Ю.Н., Муллоева М.Н. Коррозионная стойкость свинца, легированного медью, в растворе хлорида натрия. *Практика противокоррозионной защиты*. 2025;30(2):56–63. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2025.116.2-5>
- Ганиев И.Н., Саидов М.М., Файзуллоев У.Н., Худойбердизода С.У. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024;1(161):23–33. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-1-23-33>
- Ганиев И.Н., Саидова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Савдуллоева С.С., Джайлоев Д.Х., Абулхаев В.Д. Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 легированного кальцием в среде электролита NaCl. *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2023;65(91):37–41. <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2023-65-91-37-41>

REFERENCES

- Perez N. Electrochemical corrosion. *Materials Science: Theory and Engineering*. – Cham: Springer Nature Switzerland. 2024;835–898.
- Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (accedess: 09.01.2025).
- Ryndina N.V. *Non-ferrous and precious metals and their alloys*. Moscow: Vysshaya shkola. 2008:193. (In Russ.).

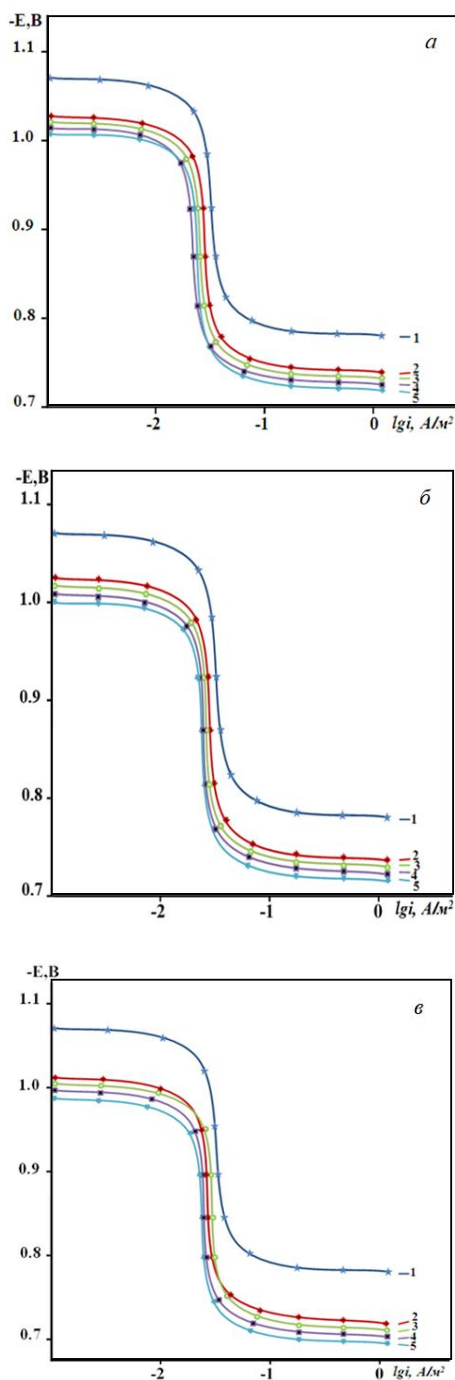


Рис. 4. Динамические анодные кривые поляризации (2 мВ/с) сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (дюралюмин) (1), с 0,01 мас. % La (2), 0,1 мас. % Ce (3), 0,5 мас. % (4) Pr; 1,0 мас. % (5) Pr в растворе NaCl

Fig. 4. Potentiodynamic anodic polarization curves (2 mV/s) of the AlMg5.5Li2.1Zr0.15 (duralumin) alloy (1) with 0.01 wt. % La (2), 0.1 wt. % Ce (3), 0.5 wt. % Pr (4); 1.0 wt. % Pr (5) in a NaCl solution

4. Sinyavskii B.S., Kalinin V.D. Corrosion and methods of protection of aluminum alloys in seawater, according to their composition and structure. *Zashchita metallov*. 2005;41(4):347–359. (In Russ.).
5. Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.V. *Corrosion and corrosion protection*. Moscow: Fizmalit, 2010:416. (In Russ.).
6. Inzelt G. Future of electrochemistry in light of history and the present conditions. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 2020;24(9):2089–2092.
7. Pozhidaeva S.D., Ivanov A.M., Makeeva T.V., Protasov M.A. Processes of rapid and deep destruction of aluminum and its alloys at ambient temperatures. *Tekhnologiya metallov*. 2015;5:27–35. (In Russ.).
8. Mukhlenov I.P. ed. *Fundamentals of chemical engineering*. Moscow: Vysshaya shkola. 2017:463. (In Russ.).
9. Andreeva L.L., Lidin R.A., Molochko V.A. Chemical properties of inorganic substances: *Textbook for universities*. Moscow: Khimiya, 2000:480. (In Russ.).
10. Kablov E.N. et al. Development and application prospects of aluminum-lithium alloys in aircraft and space technology. *Metallurgist*. 2021;65(1):72–81.
11. Bratukhin A.G. *Modern aviation materials: technological and functional features*. Moscow: AviaTekhInform. 2003:437. (In Russ.).
12. Tarasenko L.V., Kolobnev N.I., Khokhlatovala L.B. Phase composition and mechanical properties of alloys of the Al–Mg–Li–Me system. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. 2008;2:40–43. (In Russ.).
13. Hajjioui E. A. et al. A review of manufacturing processes, mechanical properties and precipitations for aluminum lithium alloys used in aeronautic applications. *Heliyon*. 2023;9(3).
14. Kireev S.Yu., Sinenkova S.R., Kireeva S.N., Naumov L.V., Kozlov G.V., Balyberdin A.S. Production and properties of composite electrochemical coatings of indium-graphite and nickel-tungsten carbide. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2024;32(1–2):6–12. (In Russ.).
https://doi.org/10.47188/0869-5326_2024_32_1-2_6
15. Ganiev I.N., Saidova F.R., Khudoiberdizoda S.U., Dzhaileov D.Kh. Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 of the duralumin type with strontium in an aqueous NaCl solution. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2024;32(1–2):13–19. (In Russ.).
https://doi.org/10.47188/0869-5326_2024_32_1-2_13
16. Khudoiberdizoda S.U., Ganiev I.N., Dzhaileov Dzh.Kh., Kireev S.Yu., Yangurazova A.Z., Kirilina Yu.N., Mulloeva M.N. Corrosion resistance of copper-alloyed lead in sodium chloride solution. *Praktika protivokorroziionnoi zashchity*. 2025; 30(2):56–63. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2025.116.2-5>
17. Ganiev I.N., Saidov M.M., Faizulloev U.N., Khudoiberdizoda S.U. Potentiostatic study of aluminum alloy AM4.5Mg1 of the duralumin

type with lanthanum in an aqueous NaCl solution. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024;1(161):23–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-1-23-33>

18. Ganiev I.N., Saidova F.R., Khudoiberdizoda S.U., Savdulloeva S.S., Dzhailev D.Kh., Abulkhaev V.D. Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 alloyed with calcium in NaCl electrolyte environment. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*. 2023;65(91):37–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.36807/1998-9849-2023-65-91-37-41>

Сведения об авторах:

Саидмири Убайдулло Худойбердизода, к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии В.И. Никитина НАН Таджикистана

E-mail: saidmir010992@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5797-2738

SPIN-код: 2848-0700

Салима Савдуллоевна Савдуллоева, научный сотрудник лаборатории «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии В.И. Никитина НАН Таджикистана

E-mail: salima10886@mail.ru

SPIN-код: 8131-9451

Изатулло Наврузович Ганиев, д.х.н., профессор, академик НАН Таджикистана, зав. лабораторией «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии В.И. Никитина НАН Таджикистана

E-mail: ganievizatullo48@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2791-6508

SPIN-код: 8683-2090

Сергей Юрьевич Киреев, д.т.н., профессор, декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта, Пензенский государственный университет

E-mail: dean_fptet@pnzgu.ru

ORCID: 0000-0002-3135-0893

SPIN-код: 3974-4769

Information about the authors:

Saidmiri U. Khudoiberdizoda, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Corrosion-Resistant Materials, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan

E-mail: saidmir010992@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5797-2738

SPIN-код: 2848-0700

Salima S. Savdulloeva, Researcher at the Laboratory of Corrosion-Resistant Materials, V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan

E-mail: salima10886@mail.ru

SPIN-код: 8131-9451

Izatullo N. Ganiev, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Head of the Laboratory «Corrosion-Resistant Materials», V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan

E-mail: ganievizatullo48@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2791-6508

SPIN-код: 8683-2090

Sergei Yu. Kireev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Industrial Technologies, Electric Power Engineering and Transport, Penza State University

E-mail: dean_fptet@pnzgu.ru

ORCID: 0000-0002-3135-0893

SPIN-код: 3974-4769

Поступила в редакцию 17.09.2025

После доработки 10.10.2025

Принята к публикации 15.10.2025

Received 17.09.2025

Revised 10.10.2025

Accepted 15.10.2025